

3次元形状データの統合処理の研究  
 — 断面形状のマッチングによる手法の開発 —

Reconstruction of 3D Range Data  
 — Method using Sections of Object Shapes —

阿南正明  
 機械電子部

Masaaki ANAN  
 Mechanics & Electronics Division

要旨

多視点形状データの統合問題について、計測対象の移動・回転が水平な台の上に拘束されている場合に限って実験を行った。3次元形状の断面をとり、断面形状から輪郭を抽出し、その共通部分を検索した結果、マネキンの頭部7方向からの多視点形状データをこの条件下で統合することができた。

1. はじめに

物体の3次元形状を非接触で計測するためのさまざまな装置（レンジファインダ）が開発されているが、将来自由に動き回るロボットの目としての応用を考える場合、ただ単に3次元形状を計測できるだけでなく、例えばある状況を前から見た場合の凹凸と、後ろに回り込んで見た場合の凹凸とを装置の内部で接合する処理が必要である。

この処理は「統合問題」と呼ばれ、特徴点をユーザが指定したり、あらかじめ領域分割されたデータを用いることにより、これまでも解法が試みられている。

本研究では装置を固定し、計測対象の移動、回転が水平な台の上に拘束されている条件下で、任意の形状を自動的に統合するような手法を求めた。装置に対する物体の移動、回転が水平面内に限られるため、3次元形状データの断面を取り、その輪郭から共通部分を検索することによって多視点データを統合することができる。

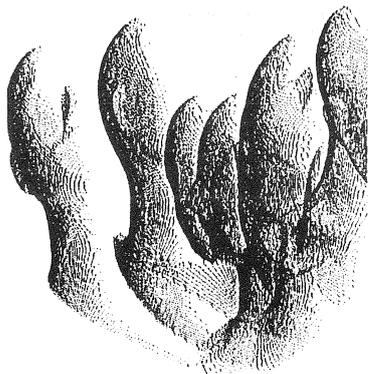


Fig. 1 多視点形状データ（入力）

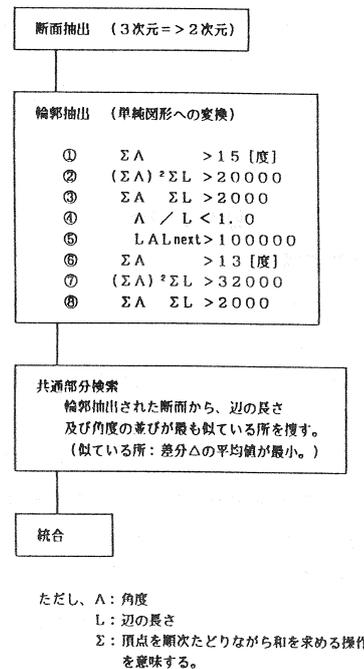


Fig. 2 統合処理の手順

2. 実験方法

まず複数視点からの3次元形状データを得るため、(株)オービス情報システム総研の3次元形状計測装置RFXIVを用い、マネキンの頭部形状を7つの「でたらめな」方向から計測した (Fig. 1)。ここで装置に対するマネキンの移動、回転はマネキンを不安定な台の上に乗せない限り、水平な面の上に制約される。

処理は Fig. 2 のような4つの手順に分かれる。

まず、7つの形状データの断面を取り出し、そこから図形の輪郭を抽出した。与えられるデータは計測点の厳

密な位置や、装置の死角による欠落部分が測定方向によって異なるため、これを統合処理に適した形にするためには輪郭抽出が必要である。ここでは、測定点同士の距離と頂点の角度に対し、いくつかの幾何学的なフィルターを組み合わせて、その出力がほぼ図形の頂点のみを示すよう、しきい値を調節した。Fig.2でLは測定点間の距離、Aは測定点を結ぶベクトルが隣のベクトルとなす角度を表す。データ点を端からたどりながら距離と角度をそれぞれ加算し、しきい値を越えた頂点を採用し、その時点で加算をリセットした。①～⑧のフィルターを順番に通していくことにより、図形の輪郭が得られる。

次に輪郭線から、共通部分を検索するため、それぞれの図形の辺の長さや角度を算出した。7つの形状データのあらゆる組合せについて、データを互いにずらしながら、角度、辺の長さの差分値 ( $\Delta A$ ,  $\Delta L$ ) を取り、それぞれ平均が最小となる位置を求めた。(実際の処理では  $\Delta\sqrt{L}$  の平均値があるしきい値以下になるような条件下で  $\Delta A$  の平均値が最小になる場所を捜した。また比較する辺は3つ以上と決め、2以下の辺数で統合したものは除外した。)

### 3. 結果と考察

#### 3.1 実験結果

$z = 1000$  (Fig.3)における断面を Fig.4 に、輪郭抽出の結果を Fig.5 に示す。

Fig.5の形状を使用して共通部分の検索を行なった結果を Table 1 にまとめる。

Table 1の結果から統合するものの組み合わせを枝構造のリストとして自動的に作成し、各回転量、平行移動量を積算させた結果が、Fig.6である。

#### 3.2 処理速度について

各段階の処理を経るたびにデータ量が減っていくようなアルゴリズムを取っているため、Fig.6の結果を得るまでの処理時間はきわめて高速である(数十秒)。最後にリファイン処理を行なう場合は、もとデータを再び扱う必要があり、ここで長い処理時間をとられることが予想される。高速なリファイン処理、もしくはリファイン処理を特に必要としないような応用面があれば高速性をメリットとして活かすことができる。

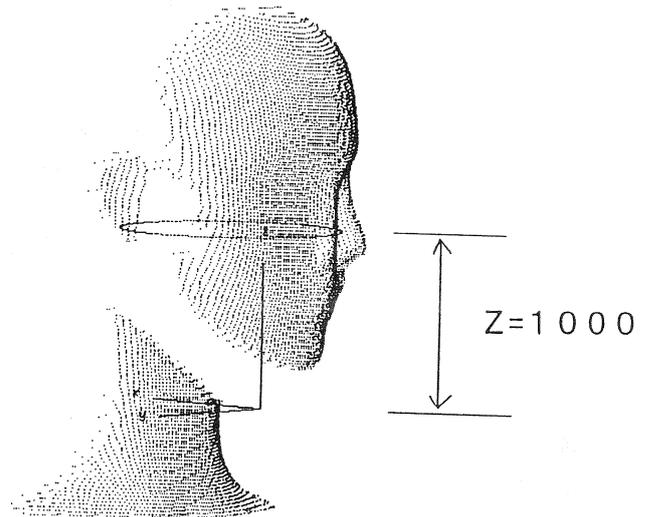


Fig.3 断面抽出位置

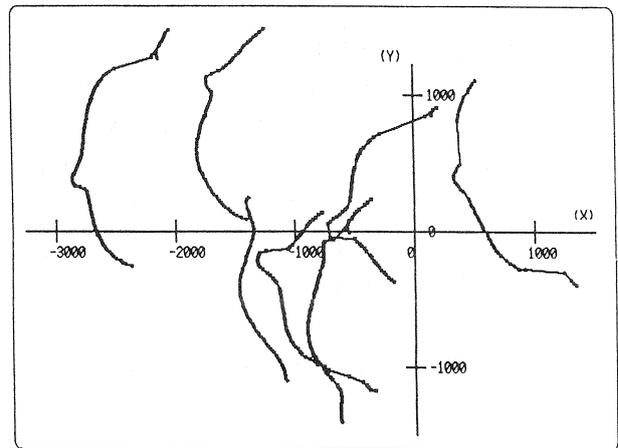


Fig.4 断面形状

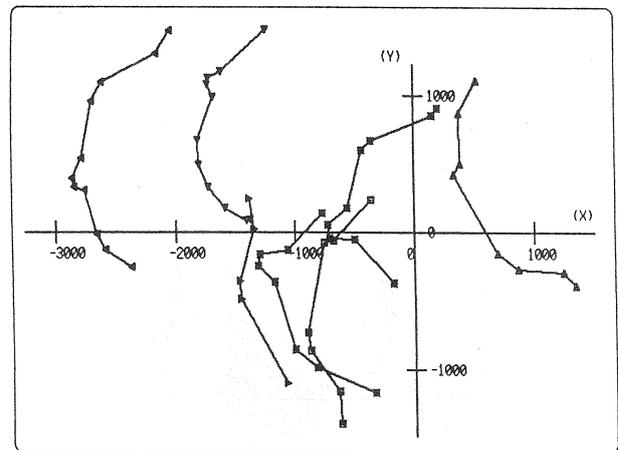


Fig.5 輪郭抽出の結果

Table 1 共通部分に関する情報

| 組合わせ   | $\Delta\sqrt{L}$ | $\Delta A$ | $\Delta\sqrt{L} < 2.0$ | $\Delta A < 30.0$ | AND | 正解 |
|--------|------------------|------------|------------------------|-------------------|-----|----|
| (h, i) | 1.43             | 24.6       | ○                      | ○                 | ○   | ○  |
| (h, j) | 2.24             | 25.8       |                        | ○                 |     |    |
| (h, k) | 5.88             | 17.1       |                        | ○                 |     |    |
| (h, l) | 2.21             | 12.9       |                        | ○                 |     |    |
| (h, m) | 3.50             | 3.8        |                        | ○                 |     |    |
| (h, n) | 1.10             | 12.4       | ○                      | ○                 | ○   | ○  |
| (i, j) | 0.95             | 2.7        | ○                      | ○                 | ○   | ○  |
| (i, k) | 6.54             | 27.0       |                        | ○                 |     |    |
| (i, l) | 2.75             | 34.2       |                        |                   |     |    |
| (i, m) | 4.08             | 33.6       |                        |                   |     |    |
| (i, n) | 5.81             | 35.8       |                        |                   |     |    |
| (j, k) | 4.81             | 24.7       |                        | ○                 |     | △  |
| (j, l) | 2.84             | 36.2       |                        |                   |     |    |
| (j, m) | 4.86             | 32.7       |                        |                   |     |    |
| (j, n) | 5.61             | 37.2       |                        |                   |     |    |
| (k, l) | 1.07             | 6.6        | ○                      | ○                 | ○   | ○  |
| (k, m) | 2.72             | 11.4       |                        | ○                 |     |    |
| (k, n) | 3.06             | 16.1       |                        | ○                 |     |    |
| (l, m) | 1.46             | 10.8       | ○                      | ○                 | ○   | ○  |
| (l, n) | 1.29             | 3.1        | ○                      | ○                 | ○   | ○  |
| (m, n) | 2.75             | 13.9       |                        | ○                 |     | △  |

△：統合すべき組合せだが、全体の統合に必ずしも必要ではない。

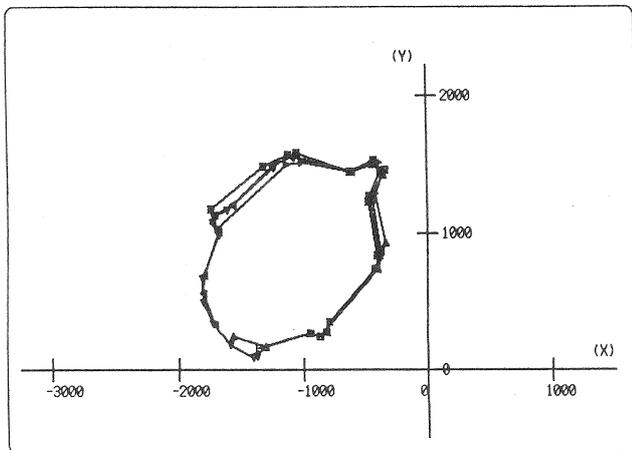


Fig.6 断面形状輪郭の統合結果

### 3.3 輪郭抽出について

輪郭抽出フィルターのしきい値および組み合わせ方は試行錯誤によって求めた。具体的には、Fig.5において、鼻の部分が4つの頂点に収束すること、右と左の頬のカーブがそれぞれ2つの頂点に収束することなどを目安に調整し、実際にその結果で統合が行えるかどうかを試験するという行為を繰り返した。

これに関して以下の2つの点を検討したい。

- ①シミュレーションによって、すべての組み合わせ、しきい値からより良いものを探す。
- ②統合処理をおこなう時点で、自動的にいろいろな値や組み合わせを試し、一番結果の良かったものを答とするような柔軟な対処を行なう。

### 3.4 共通部分の検索について

Table 1において後ろ頭の部分である(j, k)の組合せに共通部分が発見できない理由は、計測時の間隔がたまたま大きかったためであり、一方(h, n)の側(最後尾と先頭：鼻の部分)が正しく接合するため、全体の統合に関しては特に問題を生じない。

この表から、

$$\Delta\sqrt{L} < 2.0 \quad \text{AND} \quad \Delta A < 30.0$$

を条件とすれば、正しく統合しているもののみを選び出せることがわかる。(ΔA < 30.0の条件は補足的なもの。共通部分を検索する時点で、上記のようにΔAが最小である場所を選ぶことによって、ΔAの条件はすでに使用している。)

なお(m, n)の組合せは、図形の上では正しく統合されるが、この条件を満たさないために捨てられる。

### 3.5 統合結果について

Fig.6に示す結果は、輪郭抽出されたものに対する統合を表している。顔の左右が若干つぶれたように見えるのは、もともとのマネキンの顔形であるが、各所の細かいずれや3次元計測装置そのものが持っている周辺部のひずみ等については、算出された移動量を3次元データにもどしてからリファイン処理を行ない、再度検討する必要がある。

### 3.6 その他

そのほか今後の課題として、

- ①輪郭抽出のフィルターの組合せ方やしきい値に幾何学的な裏付けを与える。
  - ②輪郭抽出、および検索時に用いたしきい値等の自動設定法。
  - ③リファイン処理によるデータ点の完全な一致。微小移動・微小回転により、2乗距離が最小になる場所を捜す。
  - ④2次元の処理を3次元に拡張し、水平面内の拘束条件をはずす。
  - ⑤他の形状データについても実験し、システムの汎用性を高めること。
- 等を検討する。

## 4. まとめ

計測装置を固定し、計測対象の移動、回転が水平な台の上に制約される場合の統合処理について実験した。

形状データ断面から輪郭を抽出し、輪郭線の辺と角度について共通部分を検索した結果、この手法による断面形状の統合を行なうことができた。

リファイン処理、制約条件、汎用性などの問題について、今後の検討が必要である。