

仮想光源による距離画像分割

石山 豊* 富田 文明**

* スタンレー電気(株)技術研究所
横浜市緑区荏田西1-3-1

** 電子技術総合研究所
つくば市梅園1-1-4

あらまし 従来の距離画像を分割する方法として、画像の各点の定量的な局所の特徴に基づいて、局所の特徴が局所的に大きく変化する点を求めるエッジ検出法と、局所の特徴が局所的に類似する点を順次集める領域統合法がある。しかし、これらの局所の処理に基づく方法に共通する欠点として、局所の特徴の変化が小さい場合のしきい値の設定が困難であること、また、曲率のように、局所の特徴の値そのものがノイズに弱く信頼できないことが挙げられる。そこで、本論文では、従来の局所的定量的特徴に基づく方法とは異なる、大局的位相的特徴に基づく距離画像分割方法を提案する。大局的位相的特徴として、仮想的な平行光線によって生成される等輝度線の分布を利用する。そして、本方法が、レンジファインダによって得られる距離画像を入力データとする実験により、多面体と2次曲面だけでなく、自由曲面にも適用可能であることを示す。

キーワード：距離画像分割、仮想光源、等輝度線、曲面、領域拡張

Segmentation of Range Images by Virtual Lights

Yutaka Ishiyama* Fumiaki Tomita**

*Stanley Electric. Co., Ltd. R&D

1-3-1 Edanishi, Midori, Yokohama, Kanagawa 225, Japan

**Electrotechnical Laboratory

1-1-4 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

Abstract The usual methods to segment range images compute the local quantitative properties at each point in the image and detect edges at which the properties abruptly change or merge points which have similar properties in to regions. The common defect in these methods which are based on local processing is that it is difficult to set appropriate thresholds when the changes of the properties are small and that such local properties as curvatures are too sensitive to noise to be reliable. Then, we propose the new method to segment images based on the global topological property - the structures of the isoluminance contours generated by the virtual lights. We show the proposed method is useful to extract not only planar and quadric surfaces but also freely curved surfaces through the experiments which use the range images given by the rangefinder.

Key Words: Range Image Segmentation, Virtual Light, Isoluminance Contour, Curved Surface, Region Expansion

1. まえがき

3次元視覚は、コンピュータビジョン、ロボットの分野だけでなく、コンピュータグラフィクス、CAD等の分野でも必要とされている。3次元視覚の基本過程は、3次元情報入力、3次元特徴抽出、そして、3次元物体照合である。第1ステップの3次元情報入力に関しては多くの研究があり、能動法としてレンジファインダ⁽¹⁾、受動法としてステレオ⁽²⁾がある。

レンジファインダには、屋外（中距離）用のレーダ型レンジファインダと室内（近距離）用の光投影型レンジファインダがあり、いずれも高価ではあるが商品化までされている。

一方、ステレオは、装置としてテレビカメラを用いるだけではあるが、これまで、ソフトウェアの開発が不十分であったがために、その実用化が遅れている。しかし、ステレオは、人間の眼と同様に汎用性と融通性があり、将来の知能ロボットに共通的な眼として期待され、研究も盛んで、急速に進歩している。

この第1ステップで得られる距離情報は、通常、画像の形式すなわち距離画像として出力される。距離画像の各点は、その点に投影された3次元空間の点の3次元座標である。第2ステップの3次元特徴抽出では、距離画像を分割して、物体を構成する境界線や面を抽出する。従来の方法として、画像の各点の定量的な局所の特徴に基づいて、局所の特徴が局所的に大きく変化する点を求めるエッジ検出法⁽³⁾と、局所の特徴が局所的に類似する点を順次集める領域統合法⁽⁴⁾がある。局所の特徴としては、距離と法線方向の他、最近では曲率⁽⁵⁾が利用されている。しかし、これらの局所処理に基づく方法に共通する欠点として、局所の特徴の変化が小さい場合のしきい値の設定が困難であること、また、曲率のように、局所の特徴の値そのものがノイズに弱く信頼できないことが挙げられる。

そこで、本論文では、従来の局所的定量的特徴に基づく方法とは異なる、大局的位相的特徴に基

づく距離画像分割方法を提案する。大局的位相的特徴として、仮想的な平行光線によって生成される等輝度線の分布を利用する。そして、本方法が、レンジファインダによって得られる距離画像を入力データとする実験により、多面体と2次曲面だけでなく、自由曲面にも適用可能であることを示す。

2. 等輝度線の生成

今回の実験では、入力データとして、スリット光投影型レンジファインダ⁽⁶⁾によって得られる距離画像（512×480）を使用している。図1にスリット像の例を示す。画像の各点は、3次元座標（ x, y, z ）の値を持つ。

まず、距離画像の各点において局所的に2次曲面を当てはめ、各点における面の法線方向を計算する（法線方向は安定して得られる）。

いま、面を完全なランバート面として、仮想的に任意の方向から平行光線 I_1 を照射した場合を考える。2次反射はないとすると、画像の各点の輝度値 I は、次のように、各点の面の法線方向と光線の照射方向とのなす角度 α で定まる。

$$I = I_1 \cos \alpha$$

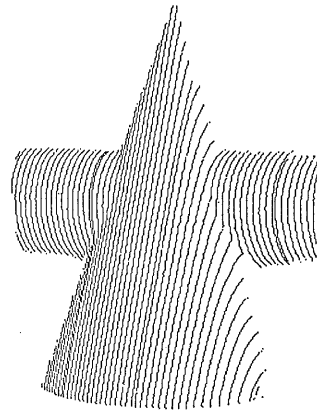


図1 距離画像（円錐と円柱）

その結果、図2のように、シェイディングのある輝度画像が得られる。この輝度画像から各輝度 t の等輝度線とその構造を以下の手順によって求める。

- (1) 画像の輝度 t の切断面として、輝度 t 以上の領域をしきい処理によって抽出する。この領域の境界線が等輝度線である。
- (2) 各連結領域をラベル付けすると同時に、各領域を包含する輝度 $t-1$ の切断面の領域のラベル番号を調べ、異なる輝度の等輝度線間の包含関係を表す木構造を作成する(図3)。

図4に、生成された等輝度線の例を示す。

等輝度線には、「光線の照射方向から見て単調に変化する面の等輝度線の間には包含関係がある。」という性質がある。この性質を利用して、距離画像を単調な凸面(凹面)に分割することができる。

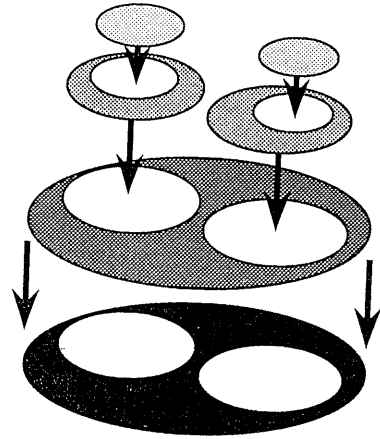


図3 包含関係

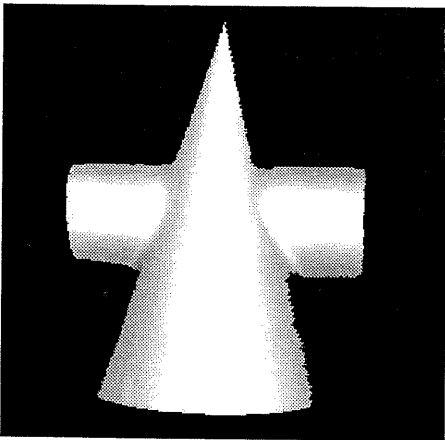


図2 輝度画像

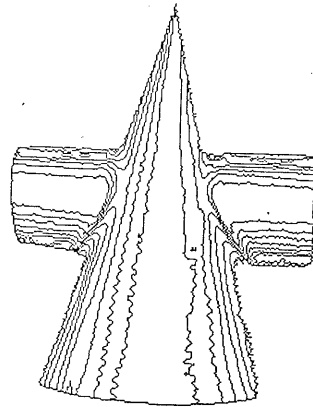


図4 等輝度線図

3. 距離画像分割

3.1 核領域の抽出

まず、仮想光線を用いて各面の核領域を抽出する。仮想光線の照射方向の数は、面抽出に要求される分解能に依存するが、少なくとも平面の抽出には3方向の光線が必要である。そこで、本論文では、最初から、図5のように、勾配空間(p, q)上で固定した3方向の仮想光線を利用し、必要に応じて光線の方向を増加する方法を採用している。

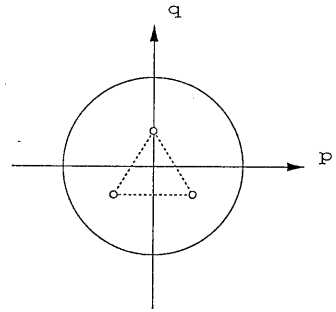


図5 勾配空間における3つの仮想光線の照射方向

各仮想光線から2章の方法にしたがって等輝度線とその包含関係を求めた後、各核領域候補を抽出する過程は以下の通りである。

(1) 最大輝度 t_s から始めて、輝度 t の等輝度線と輝度 $t-1$ の等輝度線の包含関係を調べ、次のいずれかの条件を満足する輝度値 (あるいは最小輝度値) t_e まで輝度値を下げる。

- (a) 輝度 t_e-1 の等輝度線が輝度 t_e の等輝度線を複数個包含する。
- (b) 等輝度線の面積が変化しない (等輝度線が面の法線方向が急変するエッジ上に存在する場合に相当する)。

(2) 包含関係にある輝度 t_s から t_e までの輝度線の領域を1つの核領域候補として抽出する。

そして、各仮想光線から得られた3つの核領域候補の論理積を核領域とする。

例として、図6に、3つの仮想光線のそれぞれから得られた核領域候補を示す。また、図7に、これらの核領域候補の論理積である核領域を示す。

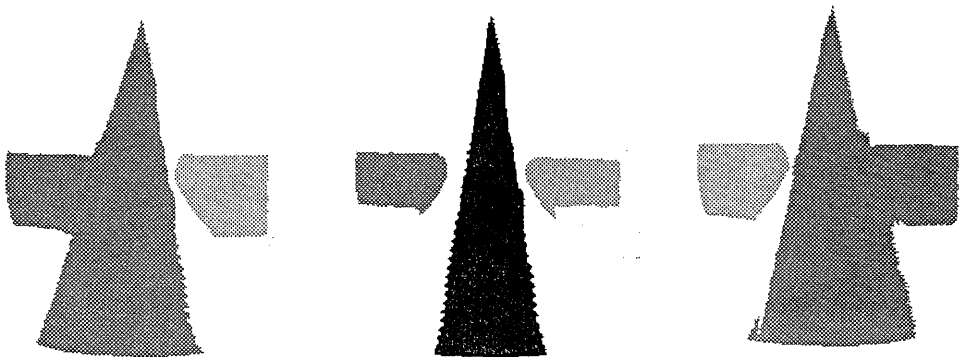


図6 各核領域候補

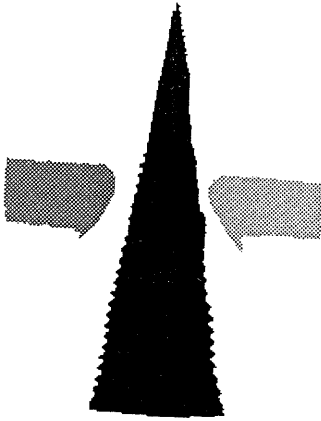


図7 核領域

3. 2 核領域の拡張

次に、核領域によって定義される面に存在する点を順次求めることによって、核領域を拡張し、結果として距離画像の分割を行なう。核領域を拡張する過程は以下の通りである。

- (1)各核領域の3次元の点集合に対して、平面と曲面の関数方程式を当てはめる。今回の実験では、次の平面と2次曲面の方程式を利用した。

$$\text{平面： } ax + by + cz = 1$$

$$\text{曲面： } ax^2 + by^2 + cz^2 + dxy + eyz + fzx \\ + gx + hy + iz = 1$$

その結果、誤差の大きい関数は採用しない。但し、両方の誤差が小さい場合は、後に結果として得られる領域の大きい方を選択する。

- (2)両方の誤差が大きい場合は、核領域の中に異なる面が混在している可能性がある。そこで、当該核領域に対してだけ、光線の照射方向を変えて、より信頼性の高い核領域の再抽出を行ない、(1)からの処理を繰り返す。しかし、

既定回数の変更を行なっても改善されない場合は、利用している関数による当てはめが不可能な自由曲面の領域として、処理対象から除く。

- (3)当該領域と当該領域から一定の距離内にある点から、求めた面の方程式を一定誤差以内で満足する点の領域を抽出する。
- (4)抽出された領域の中で、核領域を含む領域を新核領域とする。核領域の面積が拡大する場合は、(1)からの処理を繰り返す。
- (5)面積が変化しない核領域は、分割が確定した領域として以降の処理対象から除く。但し、双曲面が当てはめられている場合は、各漸近面に近い点には平面を当てはめる。

そして、核領域抽出過程において、 t_0 が最小輝度値でない場合は、残りの領域に対して、 $t_s = t_0 - 1$ として、核領域抽出処理を繰り返す。

図8に、核領域拡張の例を示す。また、図9に、距離画像分割の最終結果を示す。

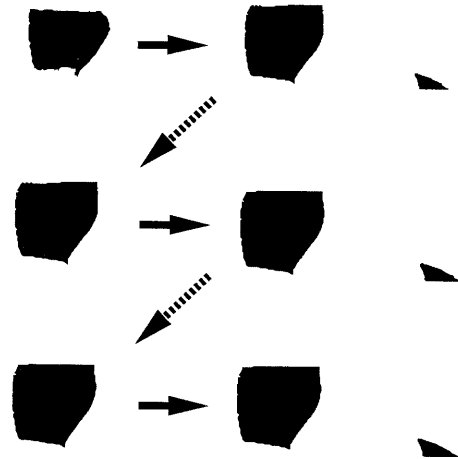


図8 核領域拡張

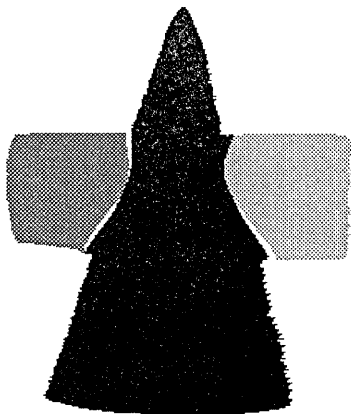


図9 最終結果

4. 実験結果

その他の実験例として、多面体（図10）の分割結果を図11に、平面と曲面の混在する物体（図12）の分割結果を図13にそれぞれ示す。また、自由曲面で構成された石膏像（図14）に対して、核領域を抽出した結果を図15に示す。この結果から、自由曲面に対しても核領域抽出過程が有効であることがわかる。

以上いずれの場合も、最初の3方向の光線だけで正しい核領域が得られており、核領域拡張過程の(2)において、新たな方向からの光線の照射による核領域の再抽出処理は不要となっている。

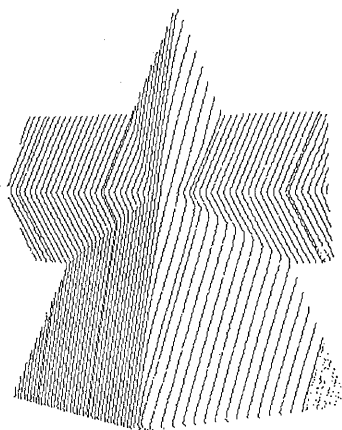


図10 距離画像（多面体）

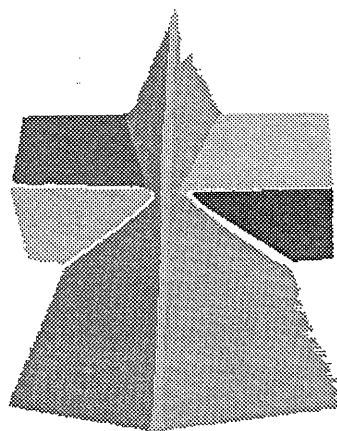


図11 分割結果（多面体）

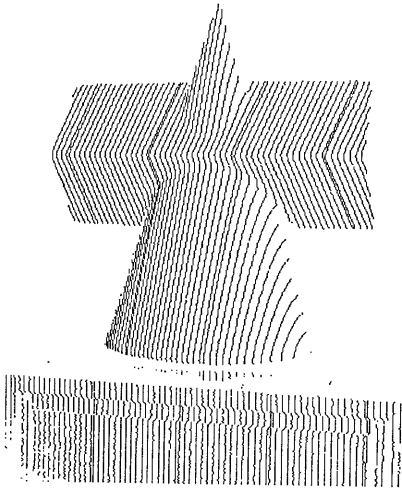


図 1 2 距離画像 (円錐と多面体)

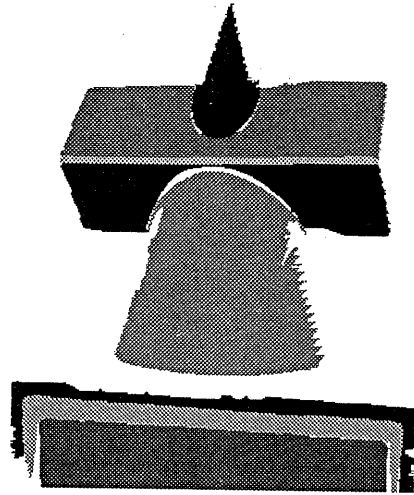


図 1 3 分割結果 (円錐と多面体)



図 1 4 距離画像 (石膏像)



図 1 5 核領域分割結果 (石膏像)

5. あとがき

仮想光線によって生成される等輝度線から距離画像を異なる面に分割する方法を提案した。本方法は、等輝度線の包含関係という大局的位相的特徴に基づいており、従来の局所的定量的特徴に基づく方法に比べてノイズの影響も少なく、また微妙なしきい値の設定を必要としないなどの利点がある。

今後の課題として、法線分布から最適な光線の照射方向を決定する方法と、自由曲面の核領域を拡張する方法を開発する予定である。

参考文献

- (1)井口征二: "最近の三次元画像センシング技術の動向", 第4回産業における画像センシング技術シンポジウム講演論文集, pp. 201-210 (1989).
- (2)富田文明: "知能ロボットのためのステレオビジョン", 第22回画像工学コンファレンス論文集, pp. 113-118 (1991).
- (3)富田文明: "3次元物体の境界線に基づく記述の生成と認識", 信学論, J71-D, 2, pp.343-349 (1988).
- (4)Oshima, M. and Shirai, Y.: "A Scene Description Method Using 3-D Information", Pattern Recog., 11, pp.9-17 (1979).
- (5)Besl B. J., Jain, R. C.: "Invariant Surface Characteristics for 3D Object Recognition in Range Images", CVGIP, 33, 1, pp. 107-114 (1986).
- (6)吉見 隆, 植芝俊夫, 大島正毅: "複数光源によるレンジファインダシステム", 日本ロボット学会誌, 9, 7, pp. 803-812 (1991).