

複数視点からの距離画像を用いた高速表面再構築法

— ロボット用実時間空間再構成の研究 (その5) —

東京大学情報工学専攻 佐川 立昌 岡田 慧 加賀美 聡 稲葉 雅幸 井上 博允

Fast Surface Reconstruction Algorithm using Range Images from Multiple Viewpoints

Information Engineering Dept., Univ. of Tokyo : R.Sagawa, K.Okada, S.Kagami, M.Inaba and H.Inoue

Abstract : This paper describes the algorithm to reconstruct surface of objects by 2 steps: 1) Generate range images using multiple images, 2) Integrate polygonized surface with multiple range images. With reduction of computation, the fast surface reconstruction system is developed.

1 はじめに

3次元物体の形状の認識において、ロボットの利点はロボット自身が移動し様々な視点から観測できることである。本稿では、物体を周囲から観測して距離計測を行ない、3次元モデルの再構成を行なうシステムを提案する。提案する再構成の手法の処理は次の2段階からなる。

1. ステレオ視を用いて距離計測し、距離画像を得る。
2. 複数の距離画像を統合することにより、観測対象のモデルを高速に再構成する。

1. では、多数の画像を用いて信頼性、距離計測精度の向上をはかったこれまでの研究^{1, 2)}をふまえ、カメラの移動と共に得られる時系列画像から、ステレオ視を用いてカメラから観測対象までの距離を計測する。2. では、コンピュータグラフィックスの分野で実世界の物体の3次元モデリングに用いられている Marching Cubes Algorithm³⁾と、符号付き距離 (Signed Distance)^{4, 5, 6)}を応用し、1. における距離計測により再構成される観測対象の部分的な3次元モデルを統合し、観測対象全体の3次元モデルを再構成する。

3次元形状の再構成に関するこれまでの研究では、処理の実時間性は考慮されていない。本稿では、符号付き距離計算を効率化し、インクリメンタル性をもつアルゴリズムを用いることにより、高速に3次元形状の再構成を行なうロボット用視覚について説明する。

2 多数の画像を用いたステレオ視距離計測

3節において説明する再構成の手法では、複数の視点からの距離画像を統合するため、正確なモデリングを行なうためには輪郭部分の正確な距離計測と、サブピクセル精度の距離計測が必要である。この2つの問題を解決するために、本稿ではカメラの移動と共に得られる多数の時系列画像を用いて距離計測を行なう。多数の画像を用いる距離計測は、2枚の画像を用いたステレオ視と比べて次のような利点がある。

- マッチングに用いるウインドウのサイズを小さくしても、対応点探索が可能である。
- 狭いベースラインからの観測でも、サブピクセル精度の距離計測が可能である。

3 距離画像からの高速3次元モデリング

3.1 Marching Cubes Algorithm

Lorenson と Cline³⁾は3次元空間に配置された格子点 x に対して陰関数 $f(x)$ を定義し、閾値 $f(x) = f_0$ を満たす同位面 (isosurface) を計算し、観測対象の表面をポリゴンの集合でモデリングする手法 (Marching Cubes Algorithm) を提案した。

3.2 符号付き距離

3.1節で述べた $f(x)$ を与える方法として、いくつかの研究で符号付き距離 (Signed Distance) を用いている。本稿では、インクリメンタルな更新が可能であること、レーザーレンジファインダなどに比べて距離計測能力の低いステレオ視を用いてもロバストであることから、Curless と Levoy⁴⁾の手法を採用した。

3.3 符号付き距離計算の効率化

$M \times M \times M$ 個の ボクセルについて符号付き距離を計算し、Marching Cubes Algorithm を適用する場合を考える。その全てのボクセルについて調べた場合、計算量は $O(M^3)$ となる。しかし、実際に $f(x) = 0$ の同位面が存在するのは距離画像面付近のボクセルのみである。明らかに距離画像面から遠いボクセルについては符号付き距離を計算するまでもなく、同位面が存在しないことを決定できる。距離画像面付近のボクセルの個数を $O(M^2)$ と仮定すると、距離画像面付近のボクセルについてのみ調べた場合の計算量は $O(M^2)$ になると期待できる。⁵⁾

本稿では、データ構造として oct-tree を用いてボクセルの集合を表現し、距離画像から得られる3次元点がどのボクセルの内部にあるかを再帰的に分類することによって、距離画像面付近のボクセルを決定する。ここで、分類においてボクセル内部に存在する点の数に閾値を設け、閾値以上の点が存在するボクセルのみについて調べる。なぜなら、距離画像のノイズを除去すると同時に、カメラからの距離に応じてボクセルの大きさを変化をつけ、カメラに近い対象は微視的に観測し、遠い対象は巨視的に観測するためである。

3.4 インクリメンタル性

分類すべき3次元点の個数は距離画像の画素数に等しいので定数であり、インクリメンタルに画像が加えられてもその各段階における計算量は距離画像のデータに関わらず定数オーダーである。したがって、例えばロボットが1つの観測対象をじっくり観察することによって無

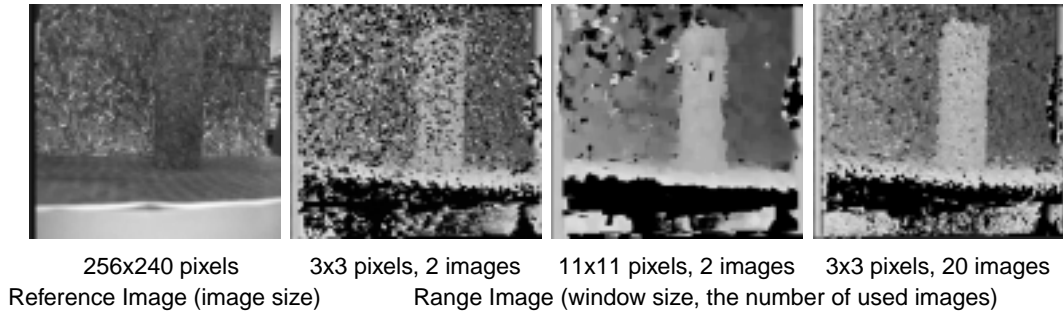


Fig. 1 : Compare range images

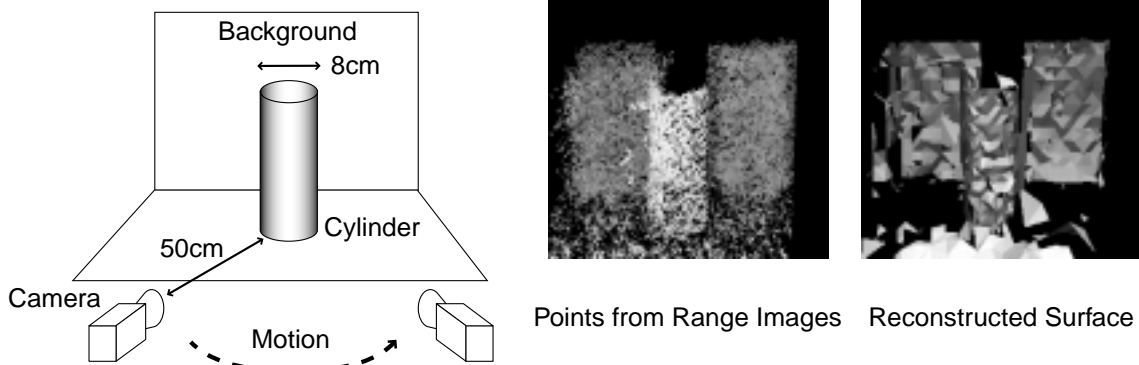


Fig. 2 : Reconstruction of the object surface from multiple range images

数の距離画像の時系列データが得られたとしても、計算量が爆発することなく、しだいに正確な3次元モデルを再構成することができる。

4 実験

距離計測にはカメラ間の相対位置を知ることが必要であるが、本稿の実験では、カメラにボヒマスセンサを取りつけることにより、位置の計測を行なった。

4.1 時系列画像からの距離画像生成

Fig.2のように、平面の背景の前に円筒を置き、カメラを動かしながら画像をフレームレートで取り込む。本稿では、オフライン処理で距離計測を行なっている。また、誤対応領域を少なくするために観測対象にテクスチャを貼っている。使用した画像数と、ウィンドウサイズを変えて生成した距離画像の違いをFig.1に示す。距離画像1枚につき、ベースライン距離最大約3cm、距離分解能5mmで距離画像生成を行なった。

4.2 複数の距離画像を用いた3次元モデル生成

Fig.2に距離画像から得られる点を3次元にプロットしたものと、これに提案した手法を適用して再構成した観測対象をポリゴンで表したものを示す。Fig.2は、距離画像7枚を用いて得られた約2500ポリゴンの再構成結果である。距離画像がインクリメンタルに増えるたびににかかる計算時間はPentiumIII 500MHz プロセサ (Linux 2.2.9) を用いて約200msであった。

5 おわりに

本稿では、時系列画像を用いて距離画像生成の安定化を図り、得られた距離画像を統合することにより3次

元形状の再構成を行なった。多数の画像を用いて距離画像生成を行なうことにより、輪郭部分の正確な距離計測と、サブピクセル精度の距離計測について性能の向上が得られた。また、計算を効率化し、インクリメンタル性をもつアルゴリズムにより高速に3次元形状が再構成できることを確認した。今後の課題は、距離画像生成、再構成の両方の処理について、実装に高速化をはかり、実時間再構成を実現することである。

参考文献

- 1) 金出武雄, 蚊野浩, 木村茂, 川村英二, 吉田収志, 織田和夫. ビデオレートステレオマシンの開発. 日本ロボット学会誌, Vol. 15, No. 2, pp. 261-267, Mar. 1997.
- 2) 杉本茂樹, 奥富正敏. 時空間画像を用いた回転物体の形状復元. 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 6, pp. 2717-2724, June 1999.
- 3) W. Lorensen and H. Cline. Marching cubes: a high resolution 3d surface construction algorithm. In *Proc. SIGGRAPH'87*, pp. 163-170. ACM, 1987.
- 4) Brian Curless and Marc Levoy. A volumetric method for building complex models from range images. In *Proc. SIGGRAPH'96*, pp. 303-312. ACM, 1996.
- 5) M.D. Wheeler, Y. Sato, and K. Ikeuchi. Consensus surfaces for modeling 3d objects from multiple range images. In *Proc. International Conference on Computer Vision*, January 1998.
- 6) Peter Rander. *A Multi-Camera Method for 3D Digitization of Dynamic, Real-World Event*. PhD thesis, The Robotics Institute Carnegie Mellon University, December 1998. CMU-RI-TR-98-12.