

画像の逐次入力に対応したボクセルモデルによる立体復元

A Volumetric Reconstruction Method with Incremental Updating

奥田 透也†
Yukiya Okuda

末松 伸朗†
Nobuo Suematsu

林 朗†
Akira Hayashi

1 概要

逐次的な画像の入力に対応した、物体のボクセルモデルによる立体復元手法を提案する。物体の色情報を用いて復元をおこなう従来の VoxelColoring には隠れによる問題を回避するため、カメラ位置に制約があり、物体の裏側を正確に復元できないという欠点が存在する。提案手法ではこの問題を解決し、同時に逐次的な入力に対応した逐次的な復元を実現する。また、シルエット法を提案手法に組み込むことによってシャープな輪郭をもった復元結果を目指す。さらに復元の過程で生じた間違いを修正しつつ、正しい復元を完成させる機構を取り入れる。

2 従来手法

2.1 voxel による 3 次元表現

コンピュータ上で 3 次元モデルを表現する方法として、主にポリゴンを用いた表現 (サーフィスレンダリング) とボクセルを用いた表現 (ボリュームレンダリング) がある。本研究ではボリュームレンダリングを使って復元された 3 次元構造を表現する。具体的には 3 次元空間を格子状に区切り、そのひとつひとつの区画をボクセルとし、個々のボクセルにそのボクセルが物体を形成しているボクセルかどうかなどの情報を与える。

2.2 シルエット法

シルエット法 (視体積交差法)[1] とは、多視点からの中心射影画像から 3 次元形状の復元をおこなう手法のひとつである。ある視点から見た対象物体のシルエットをもとに対称物体が存在し得る部分空間を求めると、カメラの位置を頂点、その視点から見た対称物体のシルエットを断面とする錐体となる。この部分空間を視体積と呼ぶ。物体は視体積の中に必ず存在するので、視体積を各視点ごとに求め、それらの交差する部分空間を抜き出すことで物体の 3 次元形状を求めることができる。この手法においてカメラ位置に制約はないが、撮影位置は既知でなければならない。シルエット法では物体の凹面を復元することは原理的に不可能であるので、あらかじめモデルが凸な形状であるとわかっている場合にのみ正確である。

2.3 Seitz らによる VoxelColoring

VoxelColoring[2] とは 3 次元形状復元のための手法で、複数の視点から撮影した画像をあらかじめ与えておき、RGB 輝度値の情報を用いることで凹面を含む複雑な形状の物体の密な復元を可能とする。Seitz らは、視点によって形成される 3 次元凸包

の内部に処理対象のボクセルが存在してはならないという制約をおくことで全視点からのボクセルの可視順序を一意に決定し、オクルージョンによる複雑な問題を回避している。

VoxelColoring の手順を簡単に説明する。3 次元空間中の有限個の各ボクセル V_i について、視点の凸包に近い順 (視点から見て手前にあるボクセルから順) に次の処理をおこなう。 V_i を全ての入力画像に投影し、対応する画素の集合を π とする。 π のうち背景色の画素の集合を π_{back} とし、それ以外の画素の集合を π_{obj} とする。 π_{obj} が全て同一色ならば処理対象のボクセル V_i は color-invariant (入力画像に対して矛盾なきボクセル) であるといい、物体を形成しているとみなす。実際には雑音の影響が存在するため π_{obj} の標準偏差 $\text{standard}(\pi_{obj})$ を計算し、

$$\text{standard}(\pi_{obj}) < \text{thresh1} \quad (1)$$

を満たすならば V_i を color-invariant とする。thresh1 は適切に設定される必要がある。オクルージョンによって引き起こされる問題を回避するために、Seitz らは入力画像の画素ごとに z バッファを設けた。具体的には、 V_i が color-invariant であった場合に π の z バッファをマークし、 z バッファがマークされた画素を以後 π に含めないことで V_i に隠れているボクセルを誤って処理してしまう問題を回避した。

3 提案手法

本研究では従来手法どうしの統合と新たな尺度つまり貢献度・信頼度の導入により、従来手法による密な復元を受け継ぎつつ、従来手法にはない逐次的な入力に対する処理の実現およびカメラの自由度の向上を目指す。

3.1 VoxelColoring とシルエット法の統合

色情報のみを用いた復元はぼやけた輪郭になりやすいので、輪郭線の情報を利用して復元をおこなうシルエット法との統合により、シャープな輪郭線の獲得を狙う。シルエット法においてボクセルが満たすべき条件を式で表現すると

$$(|\pi_{back}|/|\pi|) < \text{thresh2} \quad (2)$$

となる。このときの閾値 thresh2 と VoxelColoring の閾値 thresh1 は独立である。2 つの条件式を組み合わせることで VoxelColoring へのシルエット法への組み込みを提案する。つまり式 (1) と式 (2) を同時に満たすボクセルを、物体を構成するボクセルとみなすことで容易に実現できる。

3.2 貢献度の導入

逐次的な入力およびカメラ制約の解放を考える。Seitz らの VoxelColoring では全ての入力画像を一括で処理するので、ある画素に対するボクセル V_i がただひとつ決まる。しかし逐次処理

† 広島市立大学大学院情報科学研究科 〒731-3194 広島市安佐南区大塚東 3-4-1
Email: yukiya@robotics.im.hiroshima-cu.ac.jp

では全入力を一度に処理できないため、ある画像を処理する時点での対応付けは確実なものとは言えない。そのため、ある画素に対応するボクセルをひとつに確定させず、対応する可能性のある複数のボクセルに対して、対応付けの確からしさを考える必要がある。そこで、確からしさの尺度として貢献度を提案する。貢献度は V_i を隠すボクセル数に応じて減少し、 π の画素の貢献度は

$$\text{contribution} = \exp(-z/a) \quad (3)$$

によって算出される。式(3)中の z は V_i を隠すボクセル数を、 a は貢献度の減少率を調整するパラメータを表す。貢献度を重みとして画素の RGB 輝度値それぞれの加重平均を算出する。求めた重みつき平均を用い、貢献度を重みとして輝度値の標準偏差を算出し、VoxelColoring における画素の標準偏差として式(1)に適用する。

逐次的な VoxelColoring が可能となったことで、同時にカメラ位置の問題も解決する。これは、カメラ位置の制約はそもそも複数の画像を同時に扱う場合においてボクセルの可視順所を全カメラ間で一致させるための制約であったので、画像を一枚ずつ処理できるとなると制約自体が意味を持たないためである。

3.3 信頼度の導入

逐次的な復元に対してより頑健さを高めるために信頼度を提案する。信頼度は各ボクセルごとに与えられ、逐次的な VoxelColoring を通じて保持される。 V_i が color-invariant と判定された場合には V_i およびその周囲のボクセルの信頼度は増加し、color-invariant ではない場合は逆に減少する。アルゴリズム 1 に信頼度評価規則を示す。各値は多数回の試行により経験的に求めた数値である。信頼度を導入することで、以前の誤った復元をある程度修正しつつ正しい復元に向かうことができる。

Algorithm 1 信頼度評価規則

```

if 条件式 (2) が成立 then
  if 条件式 (1) が成立 then
    処理対象ボクセルに対して +2.5
    近傍の 4 ボクセルに対して +0.5
  else
    処理対象ボクセルに対して -5.0
    近傍の 4 ボクセルに対して -1.5
  end if
else
  処理対象ボクセルに対して -10.0
end if

```

4 実験

実験では入力画像として CG(ソフトウェア [3] で作成)を用い、カメラパラメータは既知とした。3 種類の物体(りんご・ティーカップ・頭蓋骨)に対して逐次的な復元をおこなった。図 1 に入力画像の一部、図 2 にその復元結果と正解画像、図 3 には各モデルの逐次的な入力に対する物体の復元率を示した。

5 まとめ

カメラ制約なしの、逐次的な入力に対する 3 次元形状復元の手法を提案した。結果はボクセルの解像度を高く設定すれば、

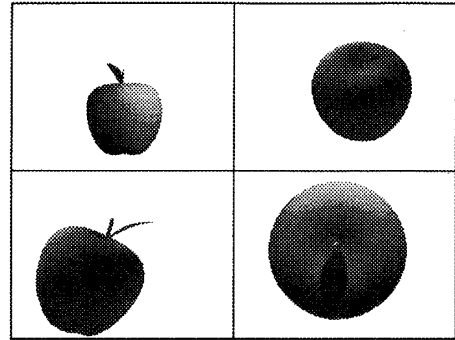


図1 入力画像の一部

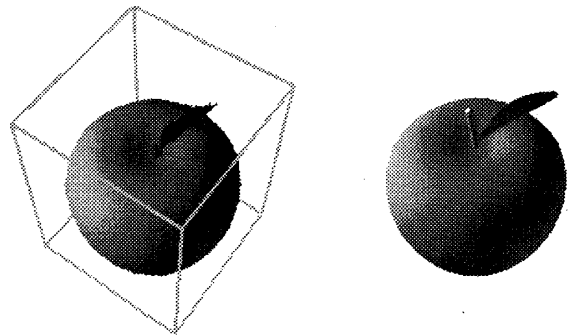


図2 復元結果(左:入力画像中に無い視点, 右:正解画像)

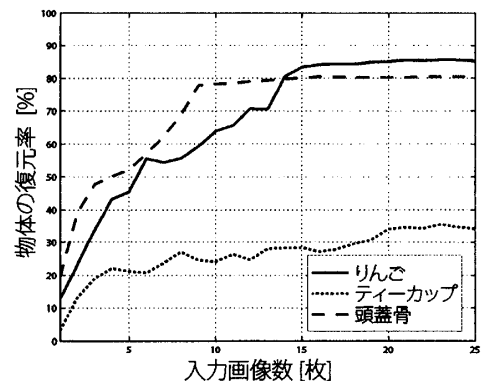


図3 各モデルにおける復元率の推移

複雑な形状に十分耐えうるものだったといえるが、薄い形状のものに関しては入力を増すごとに崩壊して行く部分が目立った。今後はアルゴリズムの改良とともに、最適なパラメータ設定の自動化を検討していきたい。

参考文献

- [1] Aldo Laurentini. The visual hull concept for silhouette-based image understanding. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 16, No. 2, pp. 150-162, February 1994.
- [2] S. M. Seitz and C. R. Dyer. Photorealistic Scene Reconstruction by Voxel Coloring. International Journal of Computer Vision (IJCV), 35(2):151-173, 1999.
- [3] NewTek, Inc. "LightWave[8]"