

時系列視体積の統合による3次元復元形状の再現性の向上

An Accurate Shape Reconstruction Method by Integrating Visual Hulls in Time Sequences

豊浦 正広 † 飯山 将晃 ‡ 角所 考 ‡ 美濃 導彦 ‡
Masahiro Toyoura Masaaki Iiyama Koh Kakusho Michihiko Minoh

† 京都大学大学院情報学研究科

† Graduate School of Informatics, Kyoto University

‡ 京都大学学術情報メディアセンター

‡ Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University

E-mail : †toyo@mm.media.kyoto-u.ac.jp, ‡{iiyama,kakusho,minoh}@media.kyoto-u.ac.jp

1 はじめに

本稿では視体積交差法を用いて実物体の3次元形状を獲得する。視体積交差法では視点が多ければ多いほど、復元される形状(視体積)が実物体の形状に近づき、再現性が向上する。しかし、視点の増加には限りがある。そこで本稿では、物体の剛体運動追跡を行い、その結果を元に各時刻における視体積を統合することによって、仮想的に視点を増加させた場合と等価な視体積を得ることを目指す。

2 視体積の精度と視点の数の増加

まず視体積交差法の原理について述べ、次に、視点の増加により復元形状の再現性が向上することを説明する。

視体積交差法 カメラ C_i で対象となる物体を観測することで得られたシルエットを R_i とおく。

復元の対象となる物体 O はカメラ C_i のレンズ中心を端点とし、 R_i 上の任意の点を通る半直線の集合からなる錐体状の開空間に内接して存在する(図1)。これをカメラ C_i における視錐体 (visual cone) V_i と呼ぶ。ここで、視体積 V_1, V_2, \dots, V_n (n はカメラ台数) について、その積集合 $V = \bigcap_{i=1}^n V_i$ を計算する。この V を視体積 (visual hull) と呼び、これをもって復元形状とする。

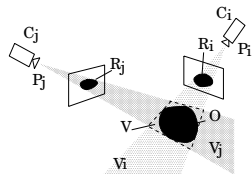


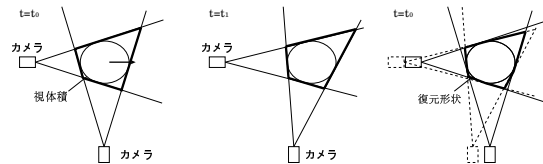
図1 視体積交差法

視体積は一般的に物体形状に一致しない。視体積の持つ特徴として次の2つが挙げられる。

1. 物体は視体積に常に内接する
2. 視点が増加すればするほど視体積の体積は減少する
これらの特徴より、視点が多ければ多いほど視体積は物体形状に近づく結論づけられる。つまり、復元形状の再現性の向上を図るためには視点の増加を行えばよい。

しかしながら、カメラ自体の大きさや設置場所などの空間的制約から視点の増加は有限である。そこで、この限度以上の視点増加を実現するため時系列で得られた視体積を統合することを考える。複数の時刻での物体の姿勢と物体の視体積が得られ、かつ、物体が剛体ならば、隣り合う時刻間での物体の運動を推定し、各時刻における視体積を統合することで、視点を仮想的に増加させることができる。

例として、2台のカメラを設置し、時刻 t_0 と時刻 t_1 の画像が図2のように得られた状態を考える。



(a) 移動前の視体積 (b) 移動後の視体積 (c) 視体積の統合

図2 視体積の統合

時刻 t_0 の空間における時刻 t_1 の視体積は、 t_0 から t_1 の間に起こった物体の姿勢変化分だけ差し引いた位置にカメラを設置したときの視体積(図2(c))と考えることができる。つまり、時刻 t_1 の視体積に時刻 t_0 の視体積の情報を統合して、2台のカメラで4台のカメラによって得られる視体積と同等のものが得られる。

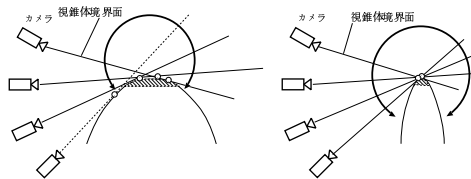
3 特徴点抽出

各時刻で視体積から特徴点抽出を行い、隣り合う時刻間で特徴点を対応づけることにより物体の運動追跡を行う。このとき、特徴点は物体とカメラの位置関係によらず安定して抽出されなければならない。しかし、視体積は物体の占める領域以外に余分な領域を含んでいるので、各時刻で同じ点を視体積から得ることは容易ではない。そのような特徴点として、本稿では視体積上で突出している部分を用いる。この部分を突起と呼ぶ。突起は、物体とカメラの相対的な位置が変化しても各時刻で同じ特徴点を得られることが期待できる。本稿では視体積をボクセルデータで表現しているので、特徴点としてボクセル

ルが抽出される。

提案手法では、突起に視錐体の境界面が密集する性質を用いて特徴点候補を抽出し、さらに視体積の大局的な形状情報から特徴点を絞り込む。

視錐体の境界面に基づく特徴点候補抽出 図3(a)のようになだらかな表面があるとき、最も下に位置するカメラからは物体の斜線部を観測することができない。これに対して図3(b)のように突出した表面があるときには、最も下に位置するカメラからでも物体の斜線部を観測することができる。物体の斜線部を観測することのできるカメラの配置はそれぞれ矢印で示される範囲である。つまり、撮影空間に十分に偏りなくカメラが配置されるとき、物体上の突出の度合いと視錐体の境界面がその突出した部分近くを通過する可能性には相関がある。つまり、物体上の突起周辺には視錐体の境界面が密集していると考えられる。



(a) ならかな表面 (b) 突出した表面
図3 境界面から推測される物体形状

剛体運動では物体上の3点の特徴点の対応が決まれば運動が一意に決定するので、常に3点以上の特徴点が抽出される必要がある。さらに特徴点の誤検出による影響を低減するために、ある程度多くの特徴点が抽出されるようにする。

視体積をボクセルデータで表した場合、あるボクセルでの視錐体の境界面の密集度は、そのボクセル中を通過する視錐体の境界面の数で定義される。この境界面の密集度の高いボクセルを特徴点の候補として抽出する。

視体積の大局的情報に基づく特徴点抽出 大局的な形状情報を得るために視体積から骨格を抽出し、その上に木構造を構成する。これを骨格木と呼ぶ。ボクセルデータからの骨格の抽出については齋藤らの手法[1]を用い、詳細については参考文献に委ねる。

骨格木の生成手法を説明する。骨格の要素であるすべての点 $i (i = 1, 2, \dots, n)$ を節点とし、すべての節点間に枝を形成する。枝の重みは i, j 間のユークリッド距離とする。このときに Prim のアルゴリズムを用いて最小全域木を構成し、根節点を1つ選択して有向木を構成する。根節点は視体積を距離変換したときに得られる値を骨格点のそれぞれに与えたときに、最大値をとるものの1つを根節点として選択する。これにより、物体の中心から

末端に向かう有向関係を得ることになる(図4)。

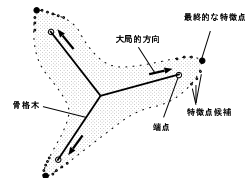


図4 骨格木の大局的方向による特徴点の絞り込み

骨格木の端点付近での骨格木の大局的な方向を、視体積の中心部からその端点に向かって骨格木の伸びる方向と定義するとき、この方向に沿って最も進んだところにある特徴点の候補を最終的な特徴点とする。これは、各端点の周辺で最も突出している部分であることが予想される。

4 実験と評価

ここで提案した手法の有効性を評価するために、シミュレーションデータを用いて実験を行った。用いたカメラは18台、画像と3次元空間の解像度はそれぞれVGA、150ボクセル立方体である。結果を図5に示す。

時刻 t_2 での特徴点抽出結果を視体積とともに図5(a)、(b)に示す。恐竜モデル上で突出した部分が特徴点として抽出されていることがわかる。

次に、時刻 t_0 と時刻 t_1 の間の剛体運動を用いて、視体積を統合した結果を図5(d)に示す。図5(c)は時刻 t_0 での視体積である。統合により時刻 t_0 の視体積に含まれる26085個のボクセル中から447個の余分なボクセルが除かれた。

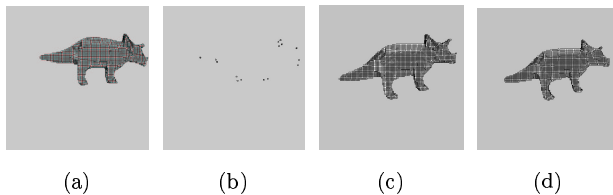


図5 統合した視体積

5 おわりに

本稿では、物体の剛体運動追跡を行い、その結果を元に各時刻における視体積を統合することによって、仮想的に視点を増加させた場合と等価な視体積を得る手法を提案した。

参考文献

- [1] 齋藤 豊文, 森 健策, 鳥脇 純一郎, "ユークリッド距離変換を用いた3次元デジタル変換の薄面化および細線化の逐次的アルゴリズムとその諸性質", 電子情報通信学会, vol.79, No.10, pp.1696-1685, 1996.10