

視体積交差法のための点群マーカを用いたカメラ姿勢の推定

Camera Pose Estimation Using Random Dot Markers for the Volume Intersection Method

衣川 彰[†] 松田 一朗[†] 青森 久[†] 伊東 晋[†]
Akira KINUGAWA Ichiro MATSUDA Hisashi AOMORI Susumu ITOH

1. はじめに

CG コンテンツの作成支援を目的として、特殊な入力装置を必要としない、簡易な3次元モデリング手法に関する研究が盛んである。文献[1][2]では、手持ちカメラを入力デバイスとし、物体の周囲を取り囲むように撮影した動画像系列に対し、シルエット制約に基づいた視体積交差法を適用することで、インタラクティブな3次元モデルの生成を可能としている。これらの手法では、各撮影時刻におけるカメラの姿勢パラメータを、床面に配置した円形または矩形のマーカを手掛かりとして逐次推定していた。このため、マーカの一部が対象物に隠れてしまうと正確な姿勢推定が行えず、生成される3次元モデルの精度に悪影響を及ぼしてしまう場合がある。このような問題に関しては、マーカを入れ子型に配置することで部分的な隠蔽を極力回避する手法[3]や、ハフ変換を用いて矩形マーカの隠れた頂点位置を推定する手法[4]も提案されているが、対象物体の形状に依らず、広範囲なカメラ移動に対処できるとは限らない。

そこで本稿では、床面上にランダムに配置したドットパターンを点群マーカとして利用する手法[5]の導入を図る。

2. 視体積交差法による3次元モデリング

本手法では、図1のようなランダムドットパターンを印刷した用紙を床面に敷き、その上に対象物体を固定する。撮影した画像からは色情報に基づいて物体のシルエットとドットの位置情報を抽出し、更にデータベースとの照合により得られる各ドットの世界座標を用いてカメラの姿勢パラメータを推定する。この時、カメラの視点と床面上のシルエットを結ぶ錐体(視体積)に含まれないボクセルを逐次削除することにより、世界座標における物体の存在範囲を徐々に絞り込む事が可能となる。但し、一般的なマーカとは異なり、各ドットは固有の識別情報を持たないため、データベースと照合する際には近傍点の2次元的な分布を特徴量とする LLAH (Locally Likely Arrangement Hashing)[6]-[8]と呼ばれる検索手法を採用する。

3. LLAH

LLAH は、文書画像検索を目的として開発されたアルゴリズムであり[6]、文書中の単語重心に対応する点群の幾何的配置を特徴量としている。文献[5]ではこの手法を拡張現実(AR)を目的とした点群マーカの追跡に応用している。但し、各ドットの特徴量と

[†] 東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科

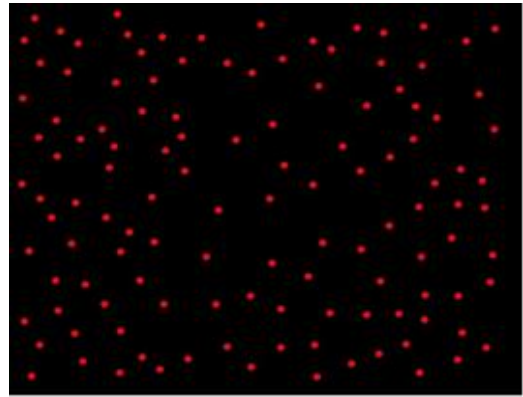


図1 点群マーカ

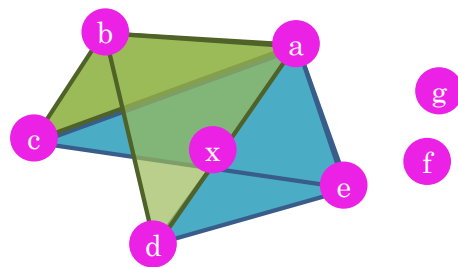


図2 複比に基づいた特徴量の算出

しては、近傍点で定義される2つの三角形の面積比を採用していた。この面積比はアフィン変換に対して不変であり、局所的な変形がアフィン変換で近似できる場合に、演算量と検索精度のバランスに優れた性能を示すことが報告されている[7]。しかし、本手法では意図的に様々な角度からの撮影を行う必要があるため、LLAHの初期の実装[6]と同様に、射影変換に不変な三角形の面積の複比に基づいた特徴量を採用する。

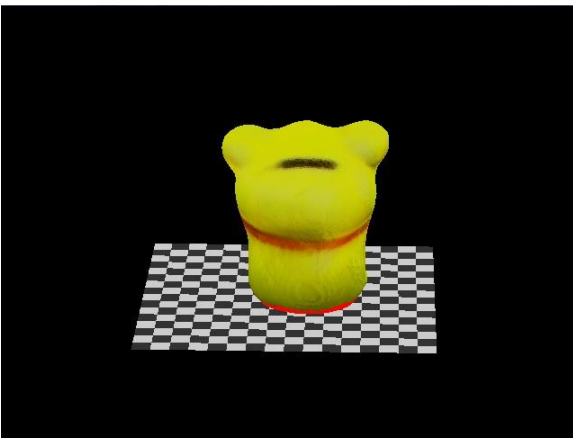
4. 特徴量の算出

図2において、画像上の点xに関する特徴量を算出する場合を考える。まず、xの近傍点を $n=7$ 個取得する。次に、後述の複比が最大値を取る点を基準位置とし、この位置から反時計回りにラベル abcdefg を付与する。更に n 個の近傍点から $m=6$ 個の点を選択する。この時の組み合わせは、 ${}_nC_m=7$ 個存在するため、1つの点に対して以下に示す特徴量が7個算出される。

各特徴量は、 m 個の点から順次選ばれた5点で構成される4つの三角形の面積の複比で定義される。ここで5点のラベルを abcde とし、abc で構成する三



(a)



(b)

図3 実験結果

角形の面積を $S(abc)$ と表記すると、上記の複比は次式で表せる。

$$r_i = \frac{S(abc)S(ade)}{S(abd)S(ace)} \quad (1)$$

このような複比は ${}_m C_5 = 6$ 通り計算できるため、それぞれを $k = 16$ レベルに量子化して得られる 16 進数 6 桁の数値をキーとするハッシュ値を求める。

$$H_{index} = \left(\sum_{i=0}^{{}_m C_5 - 1} q_k(r_i) k^i \right) \bmod H_{size} \quad (2)$$

ここで $q_k(\cdot)$ は k レベルの非線形量子化器、 $H_{size} = 2^{19} - 1$ はハッシュ表のサイズを表す。ハッシュ表には予め各ドットの識別番号が格納されており、 ${}_n C_m = 7$ 回ハッシュ表を参照した際の投票数が最も多い識別番号が検索結果として得られる。

カメラの姿勢パラメータは、このような手順で対応付けられた点群の世界座標値から推定された Homography 行列より算出できる。この際、ロバスト推定手法である RANSAC アルゴリズム[8]を用いることで、誤対応点の影響を軽減している。

5. 実験結果

ランダムドットマーカを用いて推定されたカメラの姿勢パラメータに基づき、視体積交差法を適用して得られた 3 次元モデルの例を図 3 に示す。図 1 のように点群マーカは広範囲に分布しているため、様々な撮影角度においても常にその一部を対応付け可能であり、RANSAC アルゴリズムと組み合わせることでロバストにカメラ姿勢を取得することが出来た。

今後は、用いるドットの色を複数用意し、対象物体に含まれていない色を適宜選択する手法や、最適なドットパターンの密度や配置方法について検討する予定である。

参考文献

- [1] 不殿 健治, 佐藤 智和, 横矢 直和, “ハンドヘルドビデオカメラを用いた撮影支援インタフェースを有するインタラクティブ三次元モデリングシステム”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.10, no.4, pp.559-608 (2005).
- [2] 林 毅至, 広瀬 真一, 松田 一朗, 伊東 晋, “GPU を利用したボリュームベース 3 次元モデリングシステムの高速度実装”, 電子情報通信学会総合大会, D-12-79, p.188 (2009)
- [3] 立野 圭祐, 北原 格, 大田 友一, “視点移動自由度の大きい拡張現実感のための入れ子型マーカ”, 電子情報通信学会技術研究報告 MVE2006-46, vol.106, pp.19-24 (2006).
- [4] 佐々木 裕也, 矢内 雅浩, 岡田 至弘, “頂点推定による ARToolKit マーカの推定”, 情報処理学会第 71 回全国大会講演論文集, pp.4-195-196 (2009).
- [5] H. Uchiyama and H. Saito, “Random Dot Markers”, Proc. of IEEE Virtual Reality Conf. (VR 2011), pp.35-38 (2011).
- [6] T. Nakai, K. Kise and M. Iwamura, “Hashing with Local Combinations of Feature Points and Its Application to Camera-Based Document Image Retrieval”, Proc. of Intl. Workshop on Camera-Based Document Analysis and Recognition (CBDAR'05) pp. 87-94 (2005).
- [7] T. Nakai, K. Kise and M. Iwamura, “Use of Affine Invariants in Locally Likely Arrangement Hashing for Camera-based Document Image Retrieval”, Proc. of IAPR Workshop on Document Analysis Systems (DAS 2006), pp. 541-552 (2006).
- [8] M. A. Fischler and R. C. Bolles, “Random Sample Consensus: a Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography”, Communications of the ACM, vol.24, pp.381-395 (1981).