

色情情報を用いた距離画像の位置合わせ Range Image Registration Using Color Information

藤田 尚吾[†]
Shogo Fujita

岡谷 (清水) 郁子[†]
Ikuko Shimizu Okatani

杉本 晃宏[‡]
Akihiro Sugimoto

1. はじめに

近年、実物体を3次元計測装置を用いて計測し、得られた形状データから3次元形状モデルを生成する技術が、文化遺産や建造物のデジタルコンテンツ化、工業デザインや映画・ゲームのグラフィックデザインなど、広い分野で用いられている。

3次元形状の計測は、レンジファインダを用いて行われるのが一般的である。レンジファインダによる計測では、対象物体の3次元形状と物体表面の色を取得することができる。しかし、一回の計測で得られる距離画像は物体の一部分にすぎず、物体全体の距離画像を取得するためには複数の視点から計測を行う必要がある。このとき、得られた距離画像はそれぞれ計測時の視点と姿勢に依存した座標系で表されているので、全形状を統合して対象の形状モデルを得るためには、距離画像を得たとき視点の相対的な位置と姿勢を知り、全ての距離画像を同じ座標系であらわす必要がある。そこで、距離画像を得た視点の相対的な位置関係を距離画像自身から推定すること、すなわち、位置合わせが必要となる。

距離画像の位置合わせ手法として代表的なものにICP(Iterative Closest Point)法がある[1][2][3]。ICP法では、対応を探す基準として距離画像に含まれる計測点の3次元座標から計算できる計測点間のユークリッド距離を利用する。まず、片方の距離画像の各点に対し、もう片方の距離画像でユークリッド距離が最も近い点を対応点とする。次に、この対応点間の距離の総和を最小化するような変換を求める。この対応付けと変換の推定の繰返しによって、二つの視点の相対位置を求める。

さらに、3次元座標から求められる法線や曲率といった幾何学的な特徴[4]や、物体表面の色[5][6]も考慮して対応を探すことで、より安定した位置合わせを行うことができる。特に、対象物体の形状的な特徴の変化が少ない場合や、二視点で得られた距離画像で共通に計測している部分が滑らかな部分である場合などには、幾何学的な特徴のみでは位置合わせが困難であるので、色情情報を用いることが重要となる。しかし、色は照明の変化や照明・計測装置・対象物体の位置関係といった計測環境の変化に対して敏感であり、これらの影響により物体の同じ部分であっても計測される色は大きく異なってしまう場合がある。

そこで本論文では、計測環境の変化に対して頑健な色特徴について検討し、これを用いることで、幾何学的な特徴の変化が少ない物体の滑らかな部分に対しても、安定に位置合わせを行うことのできる手法を提案する。

2. 照明変化に頑健な色特徴

2.1 RGBとrgb色度

レンジファインダによる計測で得られる物体表面の色情報は、RGBで表されている。しかし、これは照明の変化に対して敏感であり、RGB値は照明の影響により変化する。したがって、RGBをそのまま用いるのは有効ではない。

これに対して、RGB値そのものではなく、3原色の割合で色を表す色度[7]がある。RGBと色度の関係を図1を用いて説明する。RGBを基底とした3次元空間において、色を示すベクトル (R, G, B) と $(1, 0, 0)$, $(0, 1, 0)$, $(0, 0, 1)$ からなる正三角形の交点の座標は

$$r = \frac{R}{R+G+B} \quad (1)$$

$$g = \frac{G}{R+G+B} \quad (2)$$

$$b = \frac{B}{R+G+B} = 1 - r - g \quad (3)$$

で求めることができる。この r, g, b が色度であり、RGBの合計値に対する各値の割合を表している。なお $(R, G, B) = (0, 0, 0)$ の場合、ゼロ除算になるため計算できないが、本稿では $(r, g, b) = (\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3})$ とする。

rgb色度は照明の変化の影響が少ない色特徴であるが、同じ色度となる色の組み合わせは複数存在する。例えば、 $(R, G, B) = (1, 1, 1)$ と $(R, G, B) = (255, 255, 255)$ の2つの色があるとする。前者の色は黒であり後者の色は白である。しかし、この両者の色度はともに $(r, g, b) = (\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3})$ となる。このことから、対象としている物体の色によっては、色度だけを用いて物体表面上の各点の色を区別するのは困難であることがわかる。

2.2 位置合わせに用いる色特徴

そこで本論文では、RGBの値とrgb色度を組み合わせたものを色特徴として用いる手法を提案する。色度は式(3)のように、三つのうち二つの値が決まれば特定できるので、rgb色度から二つを選ぶ。また、同じ色度を持つ異なる色を区別するため、RGBから一つを選ぶ。こ

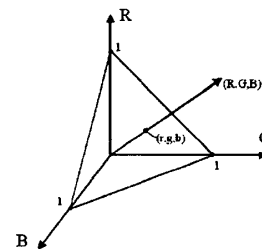


図1: rgb色度

[†]東京農工大学大学院, Tokyo University of Agriculture and Technology

[‡]国立情報学研究所, National Institute of Informatics

れは、対象の色が区別しやすいできるだけ大きく変化しているものとする。例えば、赤の変化が大きい対象ではR, 緑の変化が大きい対象ではGを用いる。この三成分からなる色特徴を用いることにより、照明の変化の影響が少なく、かつ色を特定することができる。ただし、rgb色度が0~1の値をとるので、RGB値も0~1に正規化する。

3. 色情報を用いた距離画像の位置合わせ

本手法では、ICP法と同様のアルゴリズムを用いる。すなわち、対応点探索と、対応に基づく変換行列推定を交互に繰り返す。このとき、対応点の探索と変換の推定に、2章で述べた色特徴を用いる。

3.1 対応点の探索

対応点の探索は、式(4)に示すような、色情報で重み付けした3次元座標のユークリッド距離に基づき行う。すなわち、現在得られている変換の回転成分 R と並進成分 t を用いて1枚目の距離画像の各計測点 a_i を変換し、2枚目の距離画像の計測点 b_j との色特徴での重みつき距離 d_c を計算する。この重みつき距離が一番小さい点 b_i を a_i の対応点とする。なお、 C は0~1で正規化したRGB値のどれか一つ、 r と g は色度である。

$$d_c(Ra_i + t, b_i) = (\Delta C^2 + \Delta r^2 + \Delta g^2) \times \|(Ra_i + t) - b_i\|^2. \quad (4)$$

3.2 変換行列の推定

対応点の組を求めたら、式(5)の評価関数 J が最小になるような変換の回転成分 R と平行移動成分 t を推定する。評価関数は重み付きのユークリッド距離の和であるため、従来手法[1]と同様に、非線形探索によらず解析的に求めることができる。

$$J = \sum_i d_c(Ra_i + t, b_i)^2. \quad (5)$$

4. 実験結果

4.1 合成データによる実験

提案した手法の精度を評価するために、まず合成データを用いて実験を行った。作成した合成データはつぼのような形をしており、回転対称であるので、色情報を用いなければ正しい位置合わせは困難である。なお、二つの合成データ間の変換行列は、式(6)の通りである。

$$R = \begin{pmatrix} \cos 30^\circ & 0 & -\sin 30^\circ \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin 30^\circ & 0 & \cos 30^\circ \end{pmatrix}, \quad t = \begin{pmatrix} -2.5 \\ 0 \\ -0.5 \end{pmatrix} \quad (6)$$

比較のため、提案手法のほかに、色情報を用いない手法、RGBを用いた手法、rgb色度を用いた手法でも実験を行った。なお本実験では、提案した手法においてはRGB値の中からG値を用いた。位置合わせ結果の精度は、各手法で得られた変換行列を真値(式(6))との差のプロベニウスノルムにより評価した。

まず、図2のように色が赤と緑の合成データで実験を行った。その結果を表1に示す。表1を見るとわかるように、色情報を用いた場合と用いない場合とではノルムの値に大きな差が表れている。これは、対象物体には形

状的特徴がないので、色情報を用いなければこの点でも正しい対応だと判断してしまい、その結果適当な場所位置合わせされてしまうからである。図2のデータの場合、色情報はどのパラメータを用いても真値に近い結果が得られている。

次に、図2(b)のデータの明るさを変化させ、色は同じであるが明るさが異なるデータ(図3)を作成し、同様に実験を行った。結果を表2に示す。これは、同じ物体を照明条件を変え、照明を暗くして計測したことをシミュレートしている。表1の結果と比較すると、RGBを色情報として用いた結果が真値と離れてしまっている。これは、照明の変化により、物体表面上の同じ点であってもRGBの値が異なってしまったために、正しい対応が探索できなくなったからである。これに対して、rgb色度と本手法では真値に近い結果が得られている。

そして三つ目に、図2と同様の形状で色が異なる図4に示したデータで同様に実験を行った。これは、RGBは異なっているが、色度が近くなっているような色で塗り分けられた対象をシミュレートしたものである。

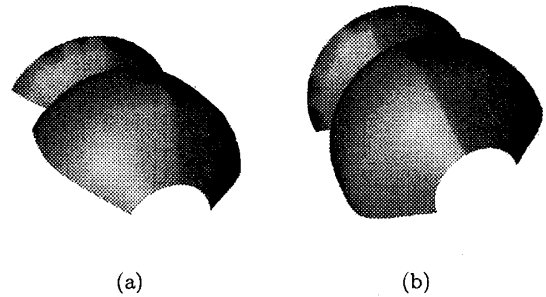


図2: 合成データ1

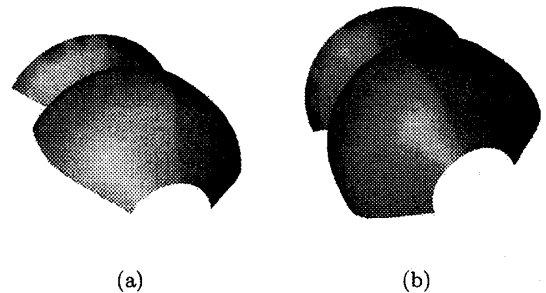


図3: 合成データ2((b)のみ図2から明るさを変化)

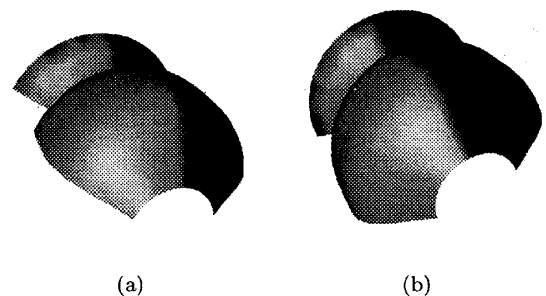


図4: 合成データ3(図2の色を変化)

実験結果を表3に示す。表1の結果と比較すると、今度はrgb色度を用いたときの結果が真値と離れてしまっている。この合成データは2色に塗り分けられているが、色度は等しい。そのため、rgb色度で対応を探索しても、物体のどの部分も同じような色度であり見分けがつかない。それに対して本手法では、色そのものの値も考慮した色特徴を用いて探索しているため、正しい対応が探索可能である。

以上の実験結果より、色の値と色度の値を組み合わせた本手法は、照明の変化に対してロバストであり、かつ様々な色合いの物体に対しても幅広く対応できる色情報であることが示された。

表1: 図2のデータの実験結果

色情報	なし	RGB	rgb 色度	提案手法
ノルム	6.3878	0.1404	0.5801	0.0783

表2: 図3のデータの実験結果

色情報	なし	RGB	rgb 色度	提案手法
ノルム	6.3878	1.4676	0.5305	0.1154

表3: 図4のデータの実験結果

色情報	なし	RGB	rgb 色度	提案手法
ノルム	6.3878	0.0958	1.0748	0.0698

4.2 実距離画像による実験

本節では、レンジファインダ (MINOLTA 社製 VIVID300) で取得した距離画像を用いて実験を行った結果を示す。実験に用いた物体を図5に示す。この物体の形状は円柱型なので、合成データと同様に物体の色情報を用いなければ正確な位置合わせは困難である。なお、本実験で用いた色特徴も、合成データの実験と同様にRGB値からG値を用いた。これは、実験に使用した物体の色が、全体的に緑色の部分が多いため、色の明るさの変化をGを用いてうまく表すことができると考えたからである。

実験結果を図6に示す。特に文字の部分とライムの部分に注目すると、RGB(図6(c))やrgb色度(図6(d))を用いた位置合わせ結果では、若干ずれていることがわかる。また、色特徴としてRGB値の中からG値ではなくR値およびB値を用いた場合(図6(e),(f))にも、正確な位置合わせができていない。このことから、RGBのうち、実験に使用した対象物体の色が一番大きく変化しているものを選択するのが有効であることがわかる。一方、本手法を用いた場合、図6(g)に示すとおり正確に位置合わせができています。以上の結果より、本手法の有効性が示された。

5. まとめ

本論文では、距離画像の位置合わせに色情報を用いることで、形状的な特徴の変化の少ない物体の滑らかな部分に対しても、安定した位置合わせができる手法について述べた。対応点の探索や変換の推定に用いる色特徴として、RGBとrgb色度を組み合わせたものを用いるこ

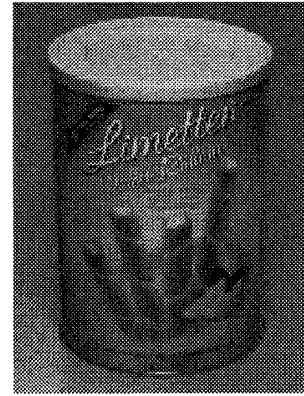


図5: 対象物体

とを提案した。この色特徴を用いることで、さまざまな色の物体に対しても位置合わせができ、有効かつ汎用性の高いことが実験により示された。

今後の課題としては、色特徴に関する検討が挙げられる。本論文で提案した手法はRGB値の中から一つ、rgb色度の中からr, gの二つの計三つのパラメータを位置合わせに用いる色特徴とした。しかし、これ以外の色の表現、例えば、XYZやYxy, L*a*b*などといった表色系が挙げられる。

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金 (No.13224051, No.16650040, No.17700174) による。

参考文献

- [1] P.J. Besl and N.D. McKay, "A Method for Registration of 3-D Shapes", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 14(2), pp.239-256, 1992.
- [2] Z. Zhang, "Iterative point matching for registration of free-form curves and surfaces", Int. J. of Computer Vision, 13(2), pp.119-152, 1994.
- [3] Y. Chen and G. Medioni, "Object Modelling by Registration of Multiple Range Images", Image and Vision Computing, 10(3), pp.145-155, 1992.
- [4] Feldmar, J and Ayache, N, "Rigid, affine and locally affine registration of free-form surfaces", Int. J. of Computer Vision, volume 18, number 2, pp.99-119, 1996.
- [5] A. Johnson and S. Kang, "Registration and Integration of Textured 3-D Data", Image and Vision Computing, 17(2), pp.135-147, 1999.
- [6] I. S. Okatani and A. Sugimoto, "Registration of Range Images that Preserves Local Surface Structures and Color", Proc. of 2nd Int. Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission (3DPVT), pp.789-796, 2004.
- [7] D. Forsyth and J. Ponce, *Computer Vision - A Modern Approach*, Prentice Hall, 2003.

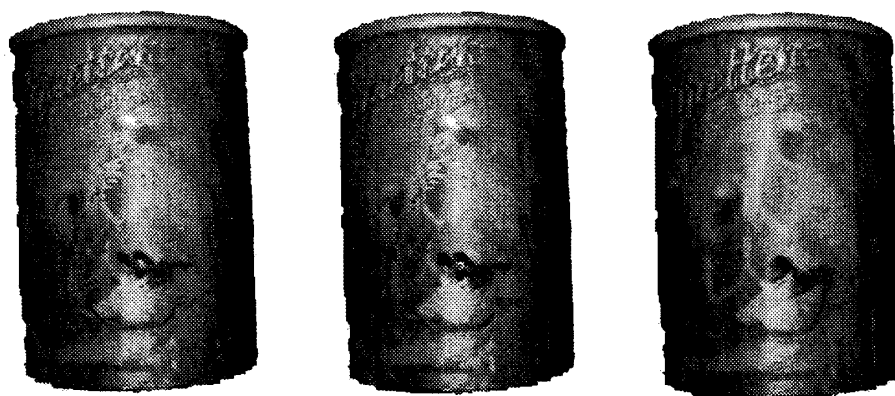


(a) 初期状態

(b) 色情報なし

(c) RGB

(d) rgb 色度



(e) R 値

(f) B 値

(g) G 値 (提案手法)

図 6: 実験結果