

## 3次元ラドン変換を用いたサーフェスモデルレジストレーション — 位置ずれ・回転ずれの評価 —

島 拓矢<sup>†</sup> 長谷川 誠<sup>††</sup> 田島 慎一<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>新潟大学大学院自然科学研究科   <sup>††</sup>近畿大学工学部   <sup>‡</sup>新潟大学工学部

### 1 はじめに

顔認証はセキュリティを確立するための重要な役割を果たしている。ここでは、3次元ラドン変換を用いたサーフェスモデルのレジストレーション方法を提案し、顔サーフェスモデルを用いて実験、評価する。

これまでに種々のレジストレーション方法が提案されている。広く用いられる方法として、Beslらが提案しているICP(Iterative Closest Point)アルゴリズムがある。これは2つのサーフェスモデル間で最も近いポリゴン頂点の組合せを決定し、その距離が最小になるようにモデルを回転・並進させる。対応ポリゴン頂点の組み合わせ抽出とモデルの姿勢・位置修正を繰り返してレジストレーションする[1]。

ところで、2次元画像のレジストレーションについては、KuglinとHinesが提案している位相限定相関法が用いられる[2]。位相限定相関法では、フーリエ変換によって2次元画像の相関を算出して被写体の並進ずれ量を検出する。しかし、位相限定相関法を3次元サーフェスモデルに適用することは困難である。そこで、サーフェスモデルを含む3次元空間の各格子について、最近傍のポリゴン頂点との距離を算出し、その逆数を付値した距離場を定義する。2つのサーフェスモデルの距離場を算出し、さらに距離場の $x-y$ 平面、 $z-y$ 平面への2次元投影画像を生成する。2次元投影画像の位相限定相関によって並進レジストレーションする。なお、モデルが回転している場合には、さらに、Tabboneらが提案しているR-transformを導入する[3]。我々はR-transformを3次元空間に応用し、2次元の変換画像を算出する。R-transform画像が等しくなるようにサーフェスモデルを回転させる。このように、3次元サーフェスモデルのレジストレーションに2次元画像のパターンマッチングを応用する。

Surface Model Registration Using Distance Map and 3-D Radon Transform

<sup>†</sup> Takuya SHIMA (f08e040k@mail.cc.niigata-u.ac.jp)

<sup>††</sup> Makoto HASEGAWA (hasegawa@hiro.kindai.ac.jp)

<sup>‡</sup> Shinichi TAJIMA (tajima@ie.niigata-u.ac.jp)

Graduate School of Science and Technology, Niigata University (†)

Faculty of Engineering, Kinki University (††)

Faculty of Engineering, Niigata University (‡)

### 2 レジストレーション

2つのサーフェスモデル $f, g$ を提案方法を用いてレジストレーションする手順を示す。

[手順 1] 2つのサーフェスモデルの距離場 $f(\mathbf{x}), g(\mathbf{x})$ を生成し、それぞれの3次元ラドン変換画像 $T_f(\phi, \theta, \rho), T_g(\phi, \theta, \rho)$ を算出する。さらに、それぞれの3次元ラドン変換画像からR-transform画像 $R_f(\phi, \theta), R_g(\phi, \theta)$ を算出する。

[手順 2] R-transform画像における最小値の座標が $(\phi, \theta) = (0, 0)$ になるように、2つのサーフェスモデル $f, g$ を回転させる。まず、 $R_f(\phi, \theta), R_g(\phi, \theta)$ における最小値の座標 $(\phi_f, \theta_f), (\phi_g, \theta_g)$ を検出する。 $R_f(\phi, \theta)$ の最小値が $\phi = 0$ になるように、サーフェスモデル $f$ を $z$ 軸を軸にして反時計回りに $\phi_f$ 回転させる。さらに、 $R_f(\phi, \theta)$ における最小値の座標が $\theta = 0$ になるように、サーフェスモデル $f$ を $y$ 軸を軸にして反時計回りに $\theta_f$ 回転させる。なお、サーフェスモデル $g$ についても同様に回転させる。この結果、2つのR-transform画像は水平方向のずれを除き等しくなる。すなわち、2つのサーフェスモデルの姿勢ずれは $z$ 軸を軸にした回転ずれのみとなる。

[手順 3] 2つのR-transform画像の相関 $C(\phi, \theta)$ を算出する。次に、相関 $C(\phi, \theta)$ における最大値の座標 $(\phi_c, \theta_c)$ を検出する。サーフェスモデル $g$ を $z$ 軸を軸にして反時計回りに $\phi_c$ 回転させる。この結果、2つのR-transform画像は一致し、サーフェスモデルの姿勢は並進ずれを除き等しくなる。

[手順 4] 2つのサーフェスモデルの距離場 $f(\mathbf{x}), g(\mathbf{x})$ を再構成する。また、 $x-y$ 平面、 $z-y$ 平面に投影した2次元画像 $f_{xy}(x, y), f_{zy}(z, y), g_{xy}(x, y), g_{zy}(z, y)$ を生成する。

[手順 5] 投影画像 $f_{xy}(x, y)$ と $g_{xy}(x, y)$ との位相限定相関により、 $x$ 方向と $y$ 方向の並進量を算出する。また、投影画像 $f_{zy}(z, y)$ と $g_{zy}(z, y)$ との位相限定相関により、 $z$ 方向の並進ずれ量を算出する。対象モデルを並進させてレジストレーションは完了する。

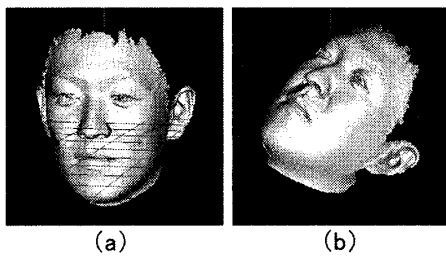


図 1: 顔サーフェスモデル (a) と回転・並進させたモデル (b)

### 3 評価実験

ICP アルゴリズム (従来法) と、距離場と 3 次元ラドン変換を用いた方法 (本方法) との比較実験を行い結果を示す。従来法では、特異値分解 (Singular Value Decomposition, SVD) を用いて回転行列を算出し、モデルの姿勢・位置修正する方法を採用する。

#### 3.1 実験方法

実験用データとして 3D デジタイザで撮影した、25000 点個のポリゴン頂点で構成される図 1 の顔サーフェスモデルを用いる。撮影したモデルとそのモデルに適当な剛体変換を施したモデルとを、それぞれの方法でレジストレーションし、マッチングを行うことで精度を算出する。そのときの収束時間と精度を比較する。精度は、顔サーフェスモデルの距離場を正面から投影した  $x-y$  投影画像を位相限定相関することにより得られる、相関ピークの値を用いる。また、位相限定相関を用いたマッチングでは、位置ずれに影響されないことを確認した。次に、回転ずれを評価する。

#### 3.2 考察

$x, y, z$  軸の回転ずれ量による収束時間の変化を図 2 に示す。回転ずれ量が多くなるにつれて従来法は収束までの時間が増加するが、本方法では変化しない。

次に、 $x, y, z$  軸方向にそれぞれ 1 度、5 度、10 度、30 度ずつ回転させたモデルとのレジストレーション精度を図 3 に示す。従来法は繰返し計算を行うため、時間と共に精度が向上し、収束すると精度の値は 1 となり完全一致する。また、ある特定の精度から急速に収束へ向かう傾向がみられる。ただし、回転ずれ量が多くなると局所に陥り振動する場合がある。本方法は繰返し計算が必要ないため時間による変化はなく、精度は約 0.15~0.2 である。非同一人物の顔サーフェスモデルを用いた場合の精度が、0.025~0.035 程度であることからこの値は極めて高い。よって、本方法を行ったのち従来法にスイッチすることで収束までの高速化を図ることができる。

また、使用するサーフェスモデルのポリゴン頂点数

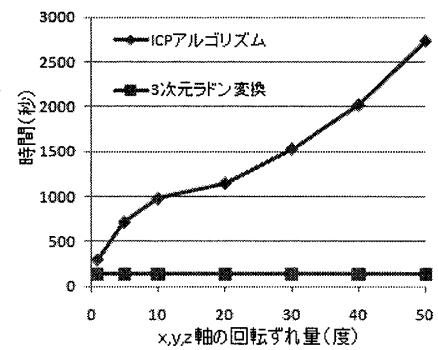


図 2: 回転ずれ量による収束時間

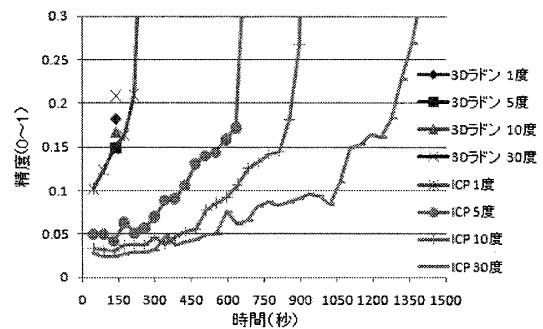


図 3: 回転ずれ量による精度

による処理時間について検証する。ポリゴン頂点を 2 倍及び 1/2 倍とした場合、本方法では、処理時間は 2 倍、1/2 倍される。しかし従来法では、4 倍、1/4 倍と処理時間に累乗倍の影響がでる。

### 4 まとめ

位置ずれ・回転ずれに対する処理時間、精度を比較した。ハイブリッドすることで 1.2~4 倍程度の高速化が見込める。また、ポリゴン頂点数が 2 倍、3 倍と増加するとさらに累乗倍の高速化が見込める。ただし、ポリゴン頂点数が極めて少ない場合や回転ずれがほとんど含まれない場合は、従来法を用いた方が高速となる。

#### 参考文献

- [1] P. J. Besl and N. D. McKay, "A method for registration of 3-D shapes," *Pattern Anal. Machine Intell.* 14, pp. 239-256, 1992.
- [2] C. Kuglin and D. Hines, "The phase correlation image alignment method," *Proc. Int. Conf. on Cybernetics and Society*, pp. 163-165, 1975.
- [3] S. Tabbone, L. Wendling, and J. -P. Salmon, "A new shape descriptor defined the Radon transform," *Computer Vision and Image Understanding*, 102, pp. 44-52, 2006.