

## 高精度レンジセンサによる3次元モデルの構築

3ZC-7

西川 拓 西野 恒 佐藤 洋一 池内 克史  
東京大学生産技術研究所

## 1. はじめに

近年、歴史的建造物を始めとする、直線あるいは平面の集合では表せない複雑な形状をした建築物のデジタル保存の需要が高まっている。本論文では高精度なレンジセンサを用いて、非常に大きく、また複雑な形状をした建築物の3Dモデルを作成することをテーマとしている。

レンジセンサは実物体の形状を測定するのに非常に便利なデバイスであるが、大きい物体、あるいは複雑な物体のモデルの構築のためには、物体を異なった方向から見た様々な距離画像をスキャンし、それらをレジストレーション必要がある。

## 2. 従来の方法との比較

ICP(Iterative Closest Point)に代表される従来の位置合わせのアルゴリズム [1] は、レジストレーションを2枚の画像で行い、その位置合わせされた画像群に対してまた新たな1枚の画像とのレジストレーションを行うといったアルゴリズムであるため、距離画像の枚数が増すに従って誤差が蓄積する、という問題点があった。そこで、本論文では、全ての距離画像を同時にレジストレーションすることによって誤差の蓄積という問題を解決した。

また、[2]では、誤差の蓄積という問題を解決しているものの、レジストレーションにおいて、距離情報のみを扱っているが、本論文では更に、画像上の各点の反射率をも考慮に入れたレジストレーションを行うことによって、より精度を向上した。

## 3. Simultaneous registration

Simultaneous registration の大まかな流れについて述べる。

1. 全ての距離画像の大まかな位置合わせ
2. 全ての距離画像間の対応点を求める
3. 2. で求められた全ての対応点間の距離の和を最小にするような変換行列を求める

## 4. 2.3. の繰り返し

## 3-1 大まかな位置合わせ

まず、各距離画像の特徴点を3点以上ずつ選択する。これはユーザが任意に選択する。選択された3点以上の点の間の平行移動ベクトルと回転行列の近似値を求め [3]、そのベクトルと行列を画像上の全ての点に作用させる。

## 3-2 対応点の検出

まず、モデル画像  $S_i$  とそれにフィッティングさせる画像  $S_j$  を考えることにする (画像  $S_i, S_j$  は既に大まかな位置合わせをして変換された後の画像を考える)。画像  $S_i$  のスキャン方向と垂直な方向に2枚の画像  $S_i, S_j$  を投影し、その2次元平面での近傍点を対応点とみなす。ただし、対応点間の距離がある閾値を越えている場合、また対応点の法線ベクトルが逆を向いている (法線ベクトルの内積が負) の場合は、対応点から外すことにする。

## 3-3 厳密な位置合わせ

次に厳密な位置合わせを行う。厳密な位置合わせとは、すなわち、画像  $S_i$  と画像  $S_j$  の対応する各点間の距離の和を最小にするということに他ならない。つまり、 $D(S_i, S_j)$  を2枚の画像  $S_i, S_j$  の間の距離を返す関数、 $T_i^{(\theta)}$  を画像  $S_i$  に対する完全な変換行列、また  $\tau$  を大まかな変換行列、 $\delta$  を厳密な変換行列とすると、以下の式 (1) における  $\epsilon^2$  の最小値問題に他ならない。(Fig.1 参照)

$$\begin{aligned} \epsilon^2 &= \min_{\theta} \sum_{i \neq j} D(T_i^{(\theta)} S_i, T_j^{(\theta)} S_j) \\ &= \min_{\delta} \sum_{i \neq j, k} (R_i^{(\delta)} \bar{n}_{ik}^{(\tau)} ((R_j^{(\delta)} \bar{y}_{ijk}^{(\tau)} + \bar{t}_j^{(\delta)}) \\ &\quad - (R_i^{(\delta)} \bar{x}_{ik}^{(\tau)} + \bar{t}_i^{(\delta)})))^2 \end{aligned} \quad (1)$$

## 3-4 反射率も用いたレジストレーション

反射率  $r$  も  $x, y, z$  の距離値と同様に扱うことによって、

$$\epsilon^2 = \min_{i \neq j} \sum f(x, y, z, r) \quad (2)$$

式 (2) における  $\epsilon^2$  の最小値問題に帰着できる。

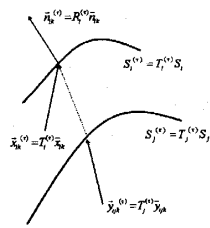


Fig.1 2点間の最小距離の導出

#### 4. 実験結果

鎌倉の大仏の距離画像とそれをレジストレーションした結果を挙げる。

鎌倉の大仏は30度おきに12枚の距離画像をスキャンした。そのうちの2枚がFig.2とFig.3である。12枚の画像の大きさは微妙にことなるものの、縦横ともに約800点ずつの画像である。また、Fig.4、Fig.5はそれら12枚の距離画像をレジストレーションしたものである。

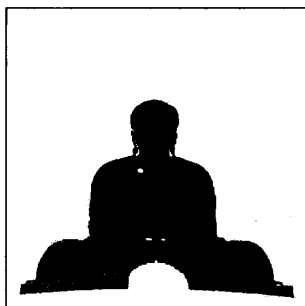


Fig.2 鎌倉大仏の距離画像の例 (正面図)

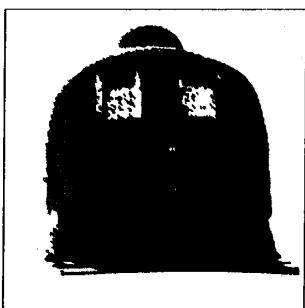


Fig.3 鎌倉大仏の距離画像の例 (背面図)

#### 5. おわりに

Simultaneousなレジストレーションを行うことによって、一枚一枚のレジストレーションでは避けられないエ

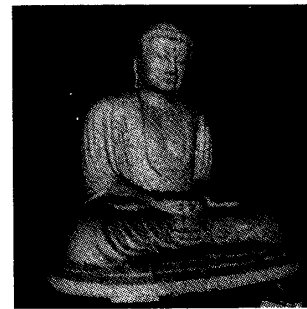


Fig.4 レジストレーションされた鎌倉大仏の正面図



Fig.5 レジストレーションされた鎌倉大仏の背面図

ラーの蓄積を回避することができた。

画像上の各点の反射率の情報を用いたレジストレーションを行うことによって、よりロバストなレジストレーションを実現した。

今後の課題としては、一枚約20MBものデータをどのようにして高速に処理するかを検討している。具体的には、より少ないポリゴン数でよりオリジナルに近い精度のポリゴンメッシュの生成を考えている。

最後にデータ収集にご協力下さった高德院、並びにCADセンターの方々にこの場を借りてお礼を申し上げます。

#### 参考文献

- [1] P.J.Besl, N.D.McKay: "A Method of Registration of 3-D Shapes" IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence 14 1992 page 239 - 256
- [2] Peter J. NEUGEBAUER: "Reconstruction of Real-World Objects Via Simultaneous Registration and Robust Combination of Multiple Range Images" International Journal of Shape Modeling, Vol. 3 No.1 & 2, page 71 - 90, June 1997
- [3] Berthold K.P.Horn: "Closed-form Solution of Absolute Orientation Using Unit Quaternions" Optical Society of America, Vol. 4 No.4/April 1987
- [4] Huijing ZHAO "Reconstruction Textured Urban 3D Model by Fusing Ground-Based Laser Range Image and CCD Image" Machine Vision Application. Nov 1998