## カラー画像の分割領域を用いた 2D/3D 位置合わせ

野田裕介† 倉爪 亮†† 岩下 友美†† 長谷川 勉††

† 九州大学大学院システム情報科学府 〒 819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 †† 九州大学大学院システム情報科学研究院 〒 819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 E-mail: †noda@irvs.is.kyushu-u.ac.jp, ††{kurazume,yumi,hasegawa}@ait.kyushu-u.ac.jp

あらまし レーザスキャナを用いて取得した構造物の3次元幾何モデルに対して,デジタルカメラ等で撮影された2次元テクスチャ画像を重畳表示する際,正確なテクスチャ画像・幾何モデル間の相対位置・姿勢の決定法(2D/3D位置合わせ)は,違和感のない仮想現実モデルを生成するうえで基本的かつ重要な問題である.本論文では,3次元幾何モデルと2次元テクスチャ画像の双方に含まれる平面領域の共起性を手掛かりに,3次元幾何モデルとテクスチャ 画像の2D/3D位置合わせを実現する手法を提案する.本手法は,まずテクスチャ画像を輝度値の類似度に基づいて 多数の小領域に分割する.次に,テクスチャ画像分割領域を幾何モデル上に投影し,各投影領域毎に含まれる幾何モ デルの頂点群の平面度を評価することで,幾何モデルとテクスチャ画像の相対位置・姿勢を推定する.本論文では提 案手法の詳細と屋内環境で行った位置合わせ実験の結果を示す.

キーワード 3次元モデリング,テクスチャマッピング,領域分割,レーザ計測,デジタルアーカイブ

2D/3D matching using segmented regions of texture image Yusuke NODA<sup>†</sup>, Ryo KURAZUME<sup>††</sup>, Yumi IWASHITA<sup>††</sup>, and Tsutomu HASEGAWA<sup>††</sup>

† Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University Motooka 744, Nishi-ku, Fukuoka-shi, Fukuoka, 819-0395 Japan

†† Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University Motooka 744, Nishi-ku, Fukuoka-shi, Fukuoka, 819-0395 Japan

E-mail: †noda@irvs.is.kyushu-u.ac.jp, ††{kurazume,yumi,hasegawa}@ait.kyushu-u.ac.jp

**Abstract** Texture mapping is a fundamental technique of photometric modeling for a virtual object acquired by a laser scanner and a digital camera. To map a 2D texture image onto a 3D object, the relative position between the image and the object must be determined precisely. In this paper, we propose a new 2D/3D alignment technique using segmented small regions in the texture image and their geometric constraints on the 3D object. The key idea of the proposed technique is "A small region with similar color in the texture image may be projected on a flat surface in a 3D object". Thus, we evaluate the flatness of a small region in a 3D object so that the score of the flatness becomes high for all the segmented regions estimated as flat surfaces.

Key words 3D modeling, Texture mapping, Segmentation, Laser measurement, Digital archive

## 1. はじめに

レーザスキャナを用いて取得した構造物の3次元幾何 モデルに対して,デジタルカメラ等で撮影されたテクス チャ画像を重畳表示する際,正確なテクスチャ画像・幾 何モデル間の相対位置・姿勢の決定は,違和感のない仮 想現実モデルを生成するうえで基本的かつ重要な問題で ある.

これまでにも,特殊な光学系を用いてレーザとカメラ の視点を一致させるものや,レーザスキャナとカメラの 相対位置・姿勢をキャリプレーションにより事前に求め る手法などが提案されている.しかしこれらの手法では, 計測時にレーザとカメラの相対位置関係が既知,固定さ れる必要があり,例えばレーザ計測とは無関係に取得さ れたカメラ画像などをテクスチャマッピングする場合に は用いることができない.

一方,それぞれ独立に得られた3次元幾何モデルと2 次元画像の位置合わせ手法として,3次元エッジと2次 元エッジの対応を用いる手法や,輪郭線,シルエット画 像を用いる手法,レーザ距離計測の副産物として得られ るレーザ強度画像(リフレクタンス画像)と2次元画像 を比較から相対位置・姿勢を推定する手法などが提案さ れている.しかしレーザによる距離計測には微小な測定 誤差が含まれ,特に壁や天井など平面の境目では安定し たルーフエッジの抽出が困難であること,またレーザ計 測装置によってはリフレクタンス値が得られないなどの 制限がある.

そこで本論文では, 椛島ら [1] によって提案された画 像の逆投影とモデルの幾何拘束を用いる手法を拡張し, 3次元幾何モデルと2次元テクスチャ画像の双方に含ま れる平面領域の共起性を手掛かりに,幾何モデルとテク スチャ画像の2D/3D 位置合わせを実現する手法を提案 する.本手法は,まずテクスチャ画像を輝度値の類似度 に基づいて多数の小領域に分割する.この小領域は3次 元幾何モデルでも同一平面の一部を構成する可能性が高 いと考えられる.そこでテクスチャ画像分割領域を幾何 モデル上に投影し,各投影領域毎に含まれる幾何モデル の頂点群の平面度を評価することで,両者の平面の共起 性が最も高くなるように幾何モデルとテクスチャ画像の 相対位置・姿勢を推定する.

本論文の構成は以下の通りである.まず第2章で関連 するテクスチャマッピング手法と問題点について述べ, 第3章で提案手法の詳細を示す.また第4章で屋内環境 で行った実験結果を紹介し,提案手法の基本性能を確認 する.

#### 2. 関連手法

距離画像とカメラ画像の相対位置・姿勢の推定手法と して,距離画像から得られる3次元エッジとカメラ画像 から得られる2次元エッジを直接比較する手法が多く提 案されている[2],[3],[4].これらの手法では,まず距離 データに平面をあてはめ,それらの交線として3次元 エッジを抽出する.次にカメラ画像にそれらを投影し, カメラ画像から得られたエッジと投影された3次元エッ ジが一致するように,相対姿勢を決定する.しかしノイ ズを多く含む距離画像から3次元エッジを安定して抽出 するのは困難な場合が多い.また,自由曲面(曲線)を 多く含み,面間の境界エッジが得られにくい対象や,装 飾による色の変化がある場合,幾何モデルとテクスチャ 画像間で正確なエッジの対応が求められない可能性も ある.

また多くのレンジセンサにおいて距離画像の付加的な 情報として得られるリフレクタンス画像(反射強度画像) を用いる手法が提案されている.Kurazumeら[5]は,リ フレクタンス画像中のエッジ点とカラー画像中のエッジ 点間の誤差を,ロバストM推定法を用いて最小化するこ とにより位置合わせする手法を提案している.Elstrom ら[6]はリフレクタンス画像を用いたカラーセンサとレ ンジセンサの相対位置・姿勢の推定法を提案している. この手法では,まずリフレクタンス画像とカラー画像か らそれぞれ特徴点を抽出し,類似度計算によりそれらの 対応関係を決定する.次にステレオ視の原理によりそれ ら対応点の奥行きを求め、それと距離画像から得られる 奥行きが一致するように両センサの相対位置・姿勢を推 定する.さらに梅田ら[7]は、リフレクタンス画像と2次 元画像の勾配拘束を利用した、レンジセンサと画像セン サの相対位置・姿勢の推定法を提案している.

シルエット画像や輪郭線を用いた位置合わせ手法も提 案されている.Lenschら [8], [9], [10] が提案したシルエッ ト画像を用いた位置合わせ手法では,まず2次元画像と 3次元幾何モデルのそれぞれのシルエット画像の排他的 論理和をとることで類似度を評価する.次にDownhill Simplex 法を利用し,2次元画像と3次元幾何モデルの 位置合わせ誤差を収束させている.また,3次元幾何モ デルの3次元距離場を予めoctree 形式で構築し,2次元 画像のシルエット輪郭線の視線方向への延長線と3次元 幾何モデル間の3次元距離を最小化する手法が提案され ている[11], [12].

一方,2次元輪郭線を用いた位置合わせ手法では,2 次元画像内の輪郭線上の点と投影された3次元幾何モデ ルのシルエット画像輪郭線の点との距離の和として位置 合わせ誤差を求め,繰り返し計算により誤差を最小化す る手法が一般に用いられる[13],[14],[15].

これに対して椛島ら [1] は,テクスチャ画像から抽出 したエッジと平面領域を幾何モデルに逆投影し,それら の幾何モデル上での幾何拘束条件推定に基づいて位置 合わせを行う手法を提案している.この手法は,3次元 エッジやシルエット,輪郭線の抽出などの処理が必要な く,特に屋内など多数の平面で構成された環境において 形状ノイズを多く含む3次元幾何モデルに対して有効な 手法である.

本論文ではこの椛島らの手法[1]を拡張し,比較的安 定に得られる2次元画像内の小さな平面領域に対して3 次元モデルを構成する点の分布を評価し,両者の平面の 共起性を最大化するように2D/3D位置合わせを行う手 法を提案する.この手法は,3次元モデル上でのエッジ 抽出処理が不要,シルエットや輪郭抽出の容易な単一物 体でなくても適用可能,物体の重なりに頑強,また椛島 らの手法で必要であった画像中の平面領域の指定が必要 ないなどの特徴を有する.

## 3. 幾何モデル上に投影されたテクスチャ画像 分割領域の平面共起性に基づく 2D/3D 位 置合わせ

#### 3.1 手法の概要

本章では,提案する小領域の平面共起性を手掛かりと した 2D/3D 位置合わせ手法を示す.ただし本手法では 以下の仮定を置く.

(1) 計測対象に十分多数の平面領域が含まれる

(2) 真値に近い初期相対位置・姿勢が与えられて いる このうち1では,幾何エッジを用いる従来手法のように 平面領域間のルーフエッジやジャンプエッジの検出は必 要ないことに注意されたい.また特に2は強い仮定であ るが,現状では提案手法は手動,あるいは第2章で紹介 した手法による大まかな位置合わせの適用後に,より精 度の高い位置合わせを自動で行う手法であるとする.必 要とされる初期相対位置・姿勢精度については,後述す る実験において考察する.

本手法の処理の流れは以下の通りである.

(1) テクスチャ画像を輝度値の類似性に基づいて多数の小領域に分割する [16], [17]

(2) 推定された幾何モデルとテクスチャ画像間の相対位置・姿勢で,テクスチャ画像分割領域を幾何モデルに逆投影<sup>注1)</sup>する(図1)

(3) 投影された小領域毎に含まれる幾何モデル頂点 群の平面度を評価する

(4) 評価値がより高くなるように最急降下法等により相対位置・姿勢を更新する

(5) (2)~(4) を収束するまで繰り返す



図1 2次元画像中の平面領域の3次元モデルへの逆投影

# 3.2 輝度値に基づくテクスチャ画像の領域分割と 逆投影

本手法では,テクスチャ画像の領域分割には Felzenszwalb らによるグラフベースの領域分割手法[17]を用い る.一例として図2(a)を領域分割した結果を図2(b)に 示す.



(a) 元画像(b) 領域分割結果図 2 テクスチャ画像の領域分割

(注1): 一般には3次元モデルを2次元画像に投影するものが多いが, 本手法では2次元画像を3次元モデルに投影することから,これを逆 投影と表する この分割されたテクスチャ画像の小領域を,幾何モデ ルとテクスチャ画像間の相対位置・姿勢の推定値を用い て,図1と同様に3次元幾何モデル上に逆投影する.

#### 3.3 逆投影領域の平面度評価

3次元幾何モデル上に逆投影された領域の平面度を, 投影領域内頂点群座標の主成分分析により評価する.ま ず投影領域内に存在する幾何モデル頂点群の3次元位置 の共分散行列 V を式(1)により求める.

$$\mathbf{V} = \mathbf{X}^T \mathbf{X} \tag{1}$$

ただし

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x_1 - \mu_x & \cdots & x_n - \mu_x \\ y_1 - \mu_y & \cdots & y_n - \mu_y \\ z_1 - \mu_z & \cdots & z_n - \mu_z \end{pmatrix}$$
(2)

であり, n は投影領域内の頂点数,  $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)^T$  は x,v,z 方向の平均位置である.この共分散行列 V の固有 値  $\lambda$  および固有ベクトルのうち,最大固有値  $\lambda_1$  に対応 する固有値ベクトルが頂点群の最大の分散方向(第1主 成分方向)を表わし,その固有値の大きさが分散に対応 する.さらにそれに垂直かつ次に大きな分散をもつ方向 が第2主成分方向,第1および第2に垂直な最小の分散 をもつ方向が第3主成分方向となる.つまり,図3に示 すように,平面度の高いものほど最小固有値が他の固有 値と比較して小さくなる.よって,幾何モデル上に投影 された分割領域数を N,幾何モデルとテクスチャ画像間 の相対位置・姿勢をT,分割された小領域kにおける最 小固有値を $\lambda_{min}^k(\mathbf{T})$ とすると,最も基本的な平面度の評 価式は式(3)で定義でき、この評価式が大きい(平面度 が高い)ほど,全体として2次元画像の平面と3次元モ デル上の平面が一致, すなわち 2D/3D 位置合わせが成 功していると考えることができる.

$$E(\mathbf{T}) = \sum_{K=1}^{N} \left( -\lambda_{min}^{k}(\mathbf{T}) \right)$$
(3)



図3 平面度の評価

#### 3.4 分割領域の投影手法

提案手法では、テクスチャ画像の分割領域のうち実際

に平面にあたる領域のみを選択し,幾何モデル上に投影 することが理想的である.しかし,現実には輝度値が類 似していても同一の平面上にない場合も考えられること から,本論文では以下の3つの分割領域の投影手法を提 案する.

(1) 全ての分割領域を投影する方法(方法1)

(2) 投影された幾何情報に基づくテクスチャ分割領 域の統合(方法2)

(3) テクスチャ輝度値に基づくテクスチャ分割領域 の細分化(方法3)

**3.4.1** 全ての分割領域を投影する方法(方法1)

第1の手法は,テクスチャ画像上での平面領域の直接 的な選択は行わず,全分割領域を幾何モデルに投影する ものである.しかし,平面でない領域の影響を除外する ために,本手法では投影後の3次元幾何モデルの平面度 を用いた領域選択法を用いる.具体的には,式(3)に代 わり,本手法では平面度の評価式を式(4)で定義する.

$$\hat{E}(\mathbf{T}) = \sum_{k=1}^{N} S\left(-\lambda_{min}^{k}(\mathbf{T})\right)$$
(4)

ただし $S(x) = \frac{1}{1+\alpha e^{-\beta x}}$  はシグモイド関数であり,平面 度が高い投影領域ほど影響を大きく設定する.また $\alpha,\beta$ は定数であり,後述する実験では予備実験の結果から  $\alpha = 1, \beta = 2$ を用いた.

3.4.2 投影された幾何情報に基づくテクスチャ分割領 域の統合(方法2)

第2の手法は,投影された幾何情報に基づいて分割された領域の再統合を行い,その統合領域のみを位置合わせの評価に用いるものである.

提案手法で用いる Felzenszwalb らによる手法は,照明 条件などによって本来同一平面であるべき領域が細分化 される場合が多い.しかし細分化された小領域では,例 えば本来は同一平面上にある隣接領域であっても,それ ぞれが幾何モデル上の別の平面に投影された場合,図4 に示すように評価値は高いが真値ではない場合がある. これを防ぐには,テクスチャ画像で分割された小領域の



図 4 再分化された小領域の誤投影

うち,同一平面にあるものはあらかじめできる限り統合

し,より大きな平面として逆投影し評価すればよい.ま た統合されたテクスチャ領域に対応する幾何モデルの点 群全体も同一平面上にあると判定でき,テクスチャ情報 を用いた幾何モデルの構造化も実現できる.

そこで方法2では,具体的な領域の統合手法として, 各投影領域の幾何モデル上での類似度,およびテクス チャ画像上での分割領域の位置関係を基に以下のように 行う.

(1) 投影された対象領域の幾何モデル上での平面度 が高ければ,テクスチャ画像内で対象領域に隣接する領 域リストを生成(図5(b))

(2) 幾何モデル上で平面度が低い隣接領域をリストから削除(図5(c))

(3) 幾何モデル上で法線方向が対象領域と一致しな い隣接領域をリストから削除(図5(d))

(4) 幾何モデル上でデプスが対象領域と一致しない 隣接領域をリストから削除(対象領域が視線ベクトルに 対して垂直に近い場合のみ)

(5) リストに残った隣接領域を対象領域と統合(図 5(d))

ここで,(1)は領域分割されたテクスチャ画像上での処理,(2)~(5)は幾何モデル上での幾何情報に基づいた処理である.この統合された平面のみを幾何モデルに投影し,式(4)により平面度を評価する.

領域統合の例を図5に示す.この領域統合を,テクス チャ画像と幾何モデルの相対位置・姿勢が更新される毎 に行い,統合領域を徐々に拡大することでより広い平面 で判定を行い,収束性能の向上を図る.



図 5 投影された幾何情報に基づくテクスチャ分割領域の統合 (方法 2)

しかしこの領域統合手法では,テクスチャ画像と幾何 モデルの相対位置・姿勢が真値から大きく離れていると きは,図6に示すように分割領域の誤統合が起こる可能 性がある.また一方的に統合するだけでは局所解に陥り やすいことから,第4.1.2章に示すように収束計算の一 定回数ごとにテクスチャ分割数を変更し,同時に領域分 割もテクスチャ分割に合わせて初期化する.



## 3.4.3 テクスチャ輝度値に基づくテクスチャ分割領域 の細分化(方法3)

手法3は,テクスチャ画像の輝度値を用いた領域の細 分化手法である.すなわち,最初はテクスチャ画像の分 割領域を大きくして評価し,次第に分割数を増やして領 域を細かくする方法である.本手法は手法1の単純な拡 張であるが,例えば緩やかに変化する曲面など,輝度値 は近いが平面ではない場合なども考えられることから, 分割領域は次第に小さくすることで性能向上を図る.

なお、これは Felzenszwalb らによる領域分割において 分割数を段階的に変更することでも実現できるが、所望 の分割画像を得るためのパラメータの調整が難しく、こ こではあらかじめ Felzenszwalb らによる領域分割で細か く分割した画像を用意し、それを輝度値に基づいて併合 することで実現する.

## 4. 2D/3D 位置合わせ実験

実験で使用するテクスチャ画像,および幾何モデルの 計測には,我々の開発したデジタルカメラを搭載した レーザ計測システム(図7)を用いた.計測したテクス チャ画像を図8(a)に,幾何モデルを図8(b)に示す.計 測システムのデジタルカメラとレーザスキャナの相対位 置・姿勢は予めキャリブレーションにより既知であるが, 本実験では提案手法の性能評価を目的に,既知であるテ クスチャ画像と幾何モデルの相対位置・姿勢を目標姿勢 とし,それに適当なオフセット値を加えた状態を位置合 わせの初期姿勢とする.図9(a)に目標姿勢でのテクス チャマッピング結果,図9(b)に初期姿勢でのテクスチャ マッピングの例を示す.



図 7 デジタルカメラを搭載したレーザ計測システム





 (a) テクスチャ画像
 (b)3 次元幾何モデル

 図 8 実験で用いるデータ





(a) 目標姿勢でのテクスチャ
 (b) 初期姿勢でのテクスチャ
 マッピング結果
 マッピング結果
 図 9 初期 姿 勢

#### 4.1 基本性能の確認実験

図 9 で与えられた初期位置から,それぞれの方法で 2D/3D 位置合わせ実験を行った.ただし初期位置は真値 から画面右上方向 0.06m,床に垂直な軸回り –1.5°,画 面に平行な軸回り 1.5°に移動した位置とした.なお画像 サイズは 644x428pixel であり,上記のオフセット量は画 像上では約 30pixel に対応する.

#### 4.1.1 全ての分割領域を投影する方法(方法1)

手法1による2D/3D位置合わせ実験結果を図11に, 1回目と10回目の矢印部の拡大図を図12に示す.ただ し,図10は本実験で用いた分割領域であり,S<sub>min</sub>は分 割領域の最小画素数である.なお図中において,投影さ れた領域の内,平面度の高いものを赤色で表示している. これより,目標姿勢へ収束している様子が確認できる.



図 10 投影する分割領域 (S<sub>min</sub> 1000)

4.1.2 投影された幾何情報に基づくテクスチャ分割領域の統合(方法2)

手法2による2D/3D位置合わせ実験結果を図14に示 す.これより,本手法においても,目標姿勢へ収束して いる様子が確認できる.ただし統合された領域をそれぞ れ異なる色で表示しており,最終フレームでは壁,床, 天井やホワイトボードなどが異なる領域として統合され ていることがわかる.

なお,本手法では姿勢の更新が行われる毎にその姿勢



図 11 全ての分割領域を投影する方法(方法1)



図 12 1 回目, 10 回目の拡大図

における幾何拘束をもとに統合領域を更新する.また図 13に示すように,計算回数に応じてテクスチャ画像の分 割領域面積を段階的に小さくし,より細かな境界が評価 できるようにするとともに,前述のように分割数を変更 すると同時にそれまでに統合された領域を一旦初期化し, 再度統合処理を開始することで局所解の影響を低減して いる.具体的には,テクスチャ画像の分割領域面積は図 14(7)(8)(10)で変更されている.

4.1.3 テクスチャ輝度値に基づくテクスチャ分割領域 の細分化(方法3)

図 15(a)(b) に初期分割画像と領域統合後の分割画像 を,また図 16 に手法3 による 2D/3D 位置合わせ実験 結果を示す.これより,本手法においても,目標姿勢へ 収束している様子が確認できる.なお図中において,投 影された領域の内,平面度の高いものを赤色で表示して いる.





(1) Smin: 500

(2) Smin : 400





図 13 分割領域数の変更



図 14 投影された幾何情報に基づくテクスチャ分割領域の統 合(方法2)

#### 4.2 収束性能の評価実験

次にそれぞれの手法に対して,真値への収束性能を評価した.まず,同一の初期姿勢からそれぞれの手法で位置合わせ実験を行い,繰り返し回数と平面度の評価値(式(4))の変化を求めた結果を図17に示す.これより,最終的に方法2が最も精度よく収束し,方法3が最も低い結果となった.一方,収束速度は方法1,3がほぼ同程度であり,方法2が最も低かった.





(a) 統合前(S<sub>min</sub>:200)
 (b) 統合後
 図 15 テクスチャ輝度値に基づく領域統合



図 16 テクスチャ輝度値に基づくテクスチャ分割領域の統合 (方法3)



図 17 投影手法別の収束性能

## 4.3 真値からの誤差と評価値の変化

次に,目標位置・姿勢近傍での評価値の変化について比較した.目標姿勢から床に垂直な軸回りに-20°から20°, 画面左右方向に-2mから2m,回転または並進を加えたときの各手法の評価値(式(4))の変化を図18に示す. これより,方法1,3は,目標位置の近傍で評価値が単 調に増加しているのに対し,方法2はそれほど明確な ピークは見られない.また方法2は,幾何モデル上の投 影領域が平面であると選択された領域のみを平面度の評 価に用い,平面度の低いものは予め除外されているので 全体的に評価値が高いが,目標値近傍で多くの局所解が あることがわかる.



## 4.4 多数の位置合わせ実験結果による比較

最後に, 各手法の収束性能を実験的に評価するために, 多数の初期姿勢から実験を繰り返し, 真値への収束回数 を調べた.ただし初期姿勢は, x,y,z 軸方向に-0.1mから0.1m, x,y,z 各軸回りに-2°から2°と, x,y,z 軸方向 に-0.2mから0.2m, x,y,z 各軸回りに-3°から3°の2つ の範囲でそれぞれランダムに100通り選択した.各手法 ごとの位置合わせの成功率を表に示す.これより,前述 の実験から比較的広い範囲で評価値が上昇した手法1が, 手法2,3 にくらべ高い収束性能を有することがわかった.

	Method 1	Method 2	Method 3
$\pm 0.1m, \pm 2^{\circ}$	43%	27%	25%
$\pm 0.2m, \pm 3^{\circ}$	12%	11%	11%
表 1 位置合わせの成功率(試行回数 100 回)			

#### 4.5 考 察

上述の結果から,全ての分割領域を投影する方法(方法1)が最も広い誤差範囲から収束し,また投影された 幾何情報に基づくテクスチャ分割領域の統合(方法2) も,真値に近い初期位置からであれば精度の良い解が得 られることがわかった.そこで,高い収束性能と精度を 両立するために,まず方法1で目標姿勢付近まで収束さ せ,その後より精度の高い方法2へ切り替えるなど2段 階の戦略が考えられる.

## 5. ま と め

本論文では,3次元幾何モデルとテクスチャ画像の双 方に含まれる平面領域の共起性を手掛かりに,両者の 2D/3D 位置合わせを実現する手法を提案した.本手法 は,まずテクスチャ画像を輝度値の類似度に基づいて多 数の小領域に分割する.次に,この小領域は3次元幾何 モデルでも同一平面の一部を構成する可能性が高いと考 え,テクスチャ画像分割領域を幾何モデル上に投影し, 各投影領域毎に含まれる幾何モデルの頂点群の平面度を 評価することで,幾何モデルとテクスチャ画像の相対位 置・姿勢を推定する.本手法は,3次元エッジやシルエッ ト,輪郭線の抽出などの処理が必要なく,シルエットや 輪郭抽出の容易な単一物体でなくても適用可能で物体の 重なりに頑強,また従来必要であった画像中の平面領域 の指定が必要ないなどの特徴を有する.実験の結果,真 値に近い初期相対位置・姿勢が与えられている場合には, 繰り返し計算により相対位置,姿勢が真値に収束するこ と,同一平面と考えられる領域は統合して評価すること で推定精度が向上することを実験的に確認した.

#### 文 献

- [1] 椛島, 原, 倉爪, 岩下, 諸岡, 内田, 長谷川: "逆投影と幾 何拘束を用いた 2d/3d 位置合わせ",電子情報通信学会 論文誌, D, Vol.J91-D, 5, pp. 1380-1392 (2008).
- [2] I. Stamos and P. K. Allen: "Integration of range and image sensing for photorealistic 3d modeling", Proc. of the 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1435-1440 (2000).
- [3] I. Stamos and P. K. Allen: "Automatic registration of 2-d with 3-d imagery in urban environments", Proc. of the International Conference on Computer Vision, pp. 731-737 (2001).
- [4] L. Liu and I. Stamos: "Automatic 3d to 2d registration for the photorealistic rendering of urvan scenes", IEEE International Conference on Robotics & Automation (2005).
- [5] R. Kurazume, K. Noshino, Z. Zhang and K. Ikeuchi: "Simultaneous 2d images and 3d geometric model registration for texture mapping utilizing reflectance attribute", Proc. of Fifth Asian Conference on Computer Vision (ACCV), pp. 99–106 (2002).
- [6] M. D. Elstrom and P. W. Smith: "Stereo-based registration of multi-sensor imagery for enhanced visualization of remote environments", Proc. of the 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1948-1953 (1999).
- [7] K. Umeda, G. Godin and M. Rioux: "Registration

of range and color images using gradient constraints and range intensity images", Proc. of 17th International Conference on Pattern Recognition, pp. 12–15 (2004).

- [8] H. Lensch, W. Heidrich and H.-P. Seidel: "Automated texture registration and stitching for real world models", Pacific Graphics '00, pp. 317-326 (2000).
- [9] H. Lensch, W. Heidrich and H.-P. Seidel: "Hardwareaccelerated silhouette matching", SIGGRAPH Sketches (2000).
- [10] H. Lensch, W. Heidrich and H.-P. Seidel: "A silhouette-based algorithm for texture registration and stitching", Graphical Models, 63, pp. 245–262 (2001).
- [11] L. Brunie, S. Lavallee and R. Szeliski: "Using force fields derived from 3d distance maps for inferring the attitude of a 3d rigid object", Proc. of the Second European Conference on Computer Vision, pp. 670-675 (1992).
- [12] S. Lavallee and R. Szeliski: "Recovering the position and orientation of free-form objects from image contours using 3d distance maps", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 17, 4, pp. 378-390 (1995).
- [13] Q. Delamarre and O. Faugeras: "3d articulated models and multi-view tracking with silhouettes", Proc. of the International Conference on Computer Vision, Vol. 2, pp. 716–721 (1999).
- [14] K. Matsushita and T. Kaneko: "Efficient and handy texture mapping on 3d surfaces", Comput. Graphics Forum 18, pp. 349-358 (1999).
- [15] P. J. Neugebauer and K. Klein: "Texturing 3d models of real world objects from multiple unregistered photographic views", Computer Graphics Forum 18, pp. 245-256 (1999).
- [16] D. Comaniciu and P. Meer: "Mean shift: A robust approach toward feature space analysis", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24, 5, pp. 603-619 (2002).
- [17] P. F. Felzenszwalb and D. P. Huttenlocher: "Efficient graph-based image segmentation", International Journal of Computer Vision, 59, 2, pp. 167–181 (2004).