

レーザリフレクタンスとエピポラ拘束を利用した 複数テクスチャの同時アライメント

倉爪 亮 西野 恒 Zhengyou Zhang 池内克史
九州大学 東京大学 Microsoft Research, Inc. 東京大学

レーザスキャナ等により測定された実物体の3次元幾何モデルをより現実感高く表現するには、実物体表面のテクスチャをカラーセンサにより撮影し、3次元幾何モデルに貼り付けて表示するテクスチャマッピングが有効である。しかし通常、テクスチャマッピングの実現にはレンジセンサ、カラーセンサ間の正確なキャリブレーションを必要とし、またキャリブレーション後は両センサを常に固定しておく必要がある。このレンジセンサとカラーセンサの位置合わせ問題に対し、著者らはこれまでに、レンジセンサから得られるリフレクタンス画像（反射率画像）と、カラーセンサから得られるカラー画像の類似性に着目し、両者から得られる3次元、および2次元エッジ点の対応を元に両センサの相対位置関係をロバスト推定法を用いて漸近的に決定することで両者を固定することなく正確なテクスチャマッピングを実現する手法を提案した。そこで本論文ではこの手法を拡張し、複数の視点から得られた複数のカラー画像と単一のレンジデータが与えられた時に、それら複数視点とレンジセンサ間の複数の相対位置関係を同時に推定する手法を提案する。本手法は、著者らがこれまでに提案した位置合わせ手法を各々のカラー画像とレンジデータ間に適用すると同時に、カラー画像間同士の相対位置関係をエピポラ拘束条件を満たすように決定することで、局所解に対してよりロバストな位置合わせを実現するものである。

Simultaneous texture alignment using reflectance image and epipolar constraint

Ryo Kurazume Ko Nishino Zhengyou Zhang
Kyushu University The University of Tokyo Microsoft Research, Inc.

Katsushi Ikeuchi
The University of Tokyo

Texture mapping on scanned objects, that is, the method to map current color images on a 3D geometric model measured by a range sensor, is a key technique of photometric modeling for virtual reality. Usually range and color images are obtained from different viewing positions, through two independent range and color sensors. Thus, in order to map those color images on the geometric model, it is necessary to determine relative relations between these two viewpoints. For this calibration process, we have proposed a new method for the texture mapping; the method utilizes reflectance images and iterative pose estimation based on a robust M-estimator. For many cases, a 2D texture image taken from one viewing point is a partial view of an object. Thus, several images must be mapped onto the object in order to cover the entire 3D geometric model. In this paper, we propose the new simultaneous registration technique of several images and geometric model based on 2D-3D edge correspondence and the epipolar constraint between images.

1 はじめに

実物体形状をレーザスキャナ等で測定し、仮想現実モデルを計算機内に自動生成する“modeling-from-reality (MFR)”の研究を行っている。これまでに、複数のレンジデータから単一の幾何モデルを得る手法 [1] や、光学条件の異なる複数の表面テクスチャを幾何モデル表面に圧縮して保存する固有テクスチャ法 [4] を開発した。さて、作成された幾何モデルをより現実感高く提示するには、レンジセンサから取得された幾何モデル上にデジタルカメラ等のカラーセンサにより撮影されたテクスチャ画像を張り付ける、いわゆるテクスチャマッピングの方法 [20],[21],[23],[26],[27],[7],[11],[12],[13] が有効である。しかし正確なテクスチャマッピングを行うには、カラーセンサ、レンジセンサ各視点間の相対位置関係を正確に知る必要がある。

OGIS や VIVID, Cyberwares など一部のレンジセンサは、距離画像とカラー画像が同じ視点位置から同時に得られる特別な光学系を有しており、内蔵のカラーセンサで得られたカラー画像を使用する場合には相対位置関係の計測は不要である。しかし、これらのセンサも内蔵のカラーセンサ以上の画質、分解能が要求される場合や、スペクトル分布のようなカラー画像以外の画像をマッピングしたい場合、あるいはこのような特殊な光学系を有さない一般的なレンジセンサに対しては、例えばレンジセンサとカラーセンサを同一の雲台に固定し、両視点の相対位置関係をキャリブレーションにより測定する方法などが考えられる。しかし通常、デジタルカメラなどのカラーセンサはレンジセンサに比べて小型軽量であり、重いレンジセンサを持ち運ぶことなく、カラーセンサを任意の位置に移動させてカラー画像を自由に撮影し、得られたカラー画像と幾何モデルを比較して両視点の相対位置関係を推定できるのが望ましい。

このレンジセンサとカラーセンサの位置合わせ問題に対し、倉爪らはこれまでに、レンジセンサから得られるリフレクタンス画像（反射率画像）と、カラーセンサから得られるカラー画像の類似性に着目し、両者から得られる3次元、および2次元エッジ点の対応を元に両センサの相対位置関係をロバスト推定法を用いて漸近的に決定する手法を提案している [18]。

そこで本論文ではこの手法を拡張し、複数の視点から得られた複数のカラー画像と単一のレンジデータが与えられた時に、それら複数視点とレンジセンサ間の複数の相対位置関係を同時に推定する手法を提案する。本手法は、著者らがこれまでに提案した位置合わせ手法を各々のカラー画像とレンジデータ間に適用すると同時に、カラー画像間同士の相対位置関係をエピソード拘束条件を満たすように決定することで、それぞれを単独で用いるよりも局所解に対してよりロバストな位置合わせを実現するものである。

2 関連する手法

テクスチャを利用して幾何モデルをより現実感高く表示するために、これまでにテクスチャ合成 (Texture Synthesis) とテクスチャマッピング (Texture Mapping) の手法が開発された。テクスチャ合成 [26],[27],[28] は、木目や岩などの模様をパラメータ化し、それらしいテクスチャを幾何モデル表面に生成するものである。繋ぎ目の不連続性や模様の歪みをいかに抑えるかが課題であり、多くの手法が提案されている。一方、テクスチャマッピング [20],[21],[23] は、実画像あるいは人工的に作成したテクスチャ画像を幾何モデル上に貼り付ける (マッピング) ものである。テクスチャ画像の対象物と幾何モデルが異なり、テクスチャマッピングのために画像に変形を加える必要がある場合 (例えば人間の顔のテクスチャをサルモデルに貼り付ける場合など [23]) には、操作者が3次元幾何モデルと2次元画像間の対応点を与え、インタラクティブに行う方法が提案されている [22],[23],[24],[25]。しかし、例えば同じ対象物をカラーセンサとレンジセンサで撮影した場合など、画像に変形を加えなくとも両者の特徴が適切な位置で正確に一致する場合には、距離画像とカラー画像の位置合わせを自動的に行うことができる可能性がある。この問題に対して、Viola [8] は画像の輝度分布と法線分布を比較し、統計的手法を用いて相対位置関係を推定する手法を提案している。また Allen ら [7] はレンジデータに平面を当てはめ、それらの交線エッジとカラー画像のエッジを比較することで位置合わせを行った。またいくつかの認識アルゴリズムも距離エッジと濃淡エッジの位置合わせのために用いることができる [9],[10],[11]。しかしこれらの方法は、例えば人工建造物など対象物体が単純な平面等で構成され、面の方向が距離画像から得られたエッジ周辺で急激に変化し、従ってカラー画像でもその周辺で反射光強度が大きく変化するような場合には有効であるが、表面のテクスチャ模様や材質の変化に伴う色の違いなど、カラー画像中に距離画像にはない特徴が多数得られる場合や、軸対称物体など対象物が明確な幾何学的特徴を有さない場合には、カラー画像から得られるエッジ位置に距離画像のエッジが観察されず、これら方法を用いることができない。一方、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の推定法を提案している。しかしコーナディテクタを用いてカラー画像とリフレクタンス画像の対応点を求めているため、対象物が曲面で構成されている場合には不向きである。またリフレクタンス画像とカラー画像は異なる光学系から得られるので、両者から十分正確な特徴点間の対応関係が得られるか疑問である。

3 リフレクタンス画像を用いたテクスチャの位置合わせ

一般的に, ERIM や Perceptron, あるいは我々の所有する SceneModeler, Cyrax, パルステックなどの多くのレンジセンサからは, 距離画像とともにそれぞれのピクセルでのレーザ反射エネルギー強度の集合であるリフレクタンス画像が得られる. このリフレクタンス画像は同じ受光系を通して, 距離画像と同一の位置に得られる. すなわち反射時間が奥行きを表し, 反射強度がリフレクタンスを示す. また, このリフレクタンス画像は, カラー画像と同様に表面の反射特性に深く関係する量であり, 両者は類似性が強い [18].

そこで倉爪らはこれまでに, 距離画像とカラー画像の位置合わせを直接行うのではなく, まずリフレクタンス画像とカラー画像の位置合わせを行い, 得られたパラメータを同じピクセル位置に得られる距離画像に適用することで, より容易にテクスチャマッピングを行う手法を提案した [18]. 具体的には, 以下の手順によりカラーセンサ, レンジセンサ間の相対位置関係を決定する. まず前処理として, カラー画像, リフレクタンス画像中の 2 次元濃淡エッジ点, 及び 3 次元リフレクタンスエッジ点を以下の手順で抽出する.

1. レンジセンサから得られるリフレクタンス画像に Canny オペレータ [15] を適用し, 2 次元エッジを抽出する.
2. 得られた 2 次元エッジ上の各画素に対し, その画素が有する距離データを用いて 3 次元エッジ点へ変換する.
3. カラーセンサから得られたカラー画像を濃淡画像に変換し, Canny オペレータ [15] を適用して 2 次元エッジを抽出する.
4. 2 次元エッジを各画素毎に分割し, 2 次元エッジ点を得る.

次にレンジセンサとカラーセンサ間にある初期相対位置 X を設定し, 以下の処理を繰り返す.

1. 現在の相対姿勢 X をもとに観測可能な 3 次元エッジ点 U を抽出する.
2. 図 1 に示すように, 抽出された 3 次元エッジ点 U を画像平面上へ投影し, 点 u を求める.
3. その点 u に最も近い 2 次元エッジ点 y を対応点として選択する.
4. 得られた対応点 y, u の 3 次元誤差を求め, ロバスト推定法 [16] より相対位置関係を推定する.
5. (1) から (4) を繰り返す.

ただし, (4) で 2 次元エッジ点 y と 3 次元エッジ点の投影点 u 間の 3 次元誤差として, 図 1 に示すように, カメラ中心と 2 次元エッジ点 y を結ぶ直線 l を 3 次元エッジ点方向に延長した直線を考え, 3 次元エッジ点 U からこの線へ下ろした垂線 UH の長さを 3 次元誤差 z_i と定義した. すなわち Z_i をカメラ焦点と 3 次元エッジ点間の距離, θ を濃淡エッジ点と 3 次元エッジ点のなす角とすると,

$$z_i = Z_i \sin \theta \quad (1)$$

である. また 2 次元濃淡エッジ点と 3 次元リフレクタンスエッジ点を一致させる両センサの相対位置関係を推定するために, 手順 (5) でロバスト推定法の一手法である M 推定法 [16] を用いた. これはまず全ての誤差 $E_{alignment}$ を以下の式で定義する.

$$E_{alignment}(X) = \sum_i \rho(z_i) \quad (2)$$

ここで X はカラーセンサとレンジセンサ間の相対位置, ρ は推定関数であり, 本アルゴリズムでは予備実験 [18] で最も良好な推定性能を示したローレンツ関数

$$\rho(z) = \frac{\sigma^2}{2} \log(1 + (z/\sigma)^2) \quad (3)$$

を用いた. この誤差 $E_{alignment}(X)$ を共役勾配法を用いて漸近的に最小化し, この最小値を与える X をカラーセンサとレンジセンサの相対位置関係とした.

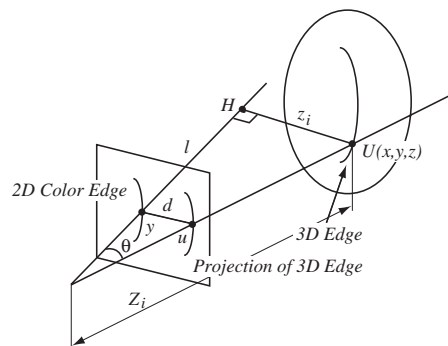


Figure 1: 2D distance and 3D distance

4 エピポラ拘束を利用した複数テクスチャの同時位置合わせ

一般に測定対象の全周囲に余すことなくテクスチャを貼り付けるためには, 多くの異なる視点から複数のテクスチャを撮影し, それら複数の視点とレンジセンサ間の相対位置を決定する必要がある. 最も単純な方法は, 上述した一つの視点とレンジセンサ間の相対位置

を決定する手法をそれぞれ個別に適用する方法である．しかし複数の視点から得られた画像間には，視点間の相対位置関係を記述した，いわゆるエピポーラ拘束が存在する．そこで本論文では，このエピポーラ拘束を上述した位置合わせ手法に導入し，複数の視点とレンジセンサ間の複数の相対位置関係を同時に推定することにより，より局所解に対してロバストな手法を提案する．

まず，2枚の異なる視点から得られた画像に対し，一般的なエピポーラ拘束条件を示す（詳細は[16]参照）．世界座標系での3次元特徴点の座標を M_w ，それぞれの画像平面上での特徴点座標を m_1, m_2 とする．このとき，世界座標系と視点 i におかれたカラーセンサ座標系の相対位置，姿勢を t_i, R_i ，カラーセンサ j の内部パラメータを A_j とすると， $\tilde{m}_i^T = (m_{i,x}, m_{i,y}, 1)^T$ と $\tilde{M}_w^T = (M_{w,x}, M_{w,y}, M_{w,z}, 1)^T$ の間には

$$s\tilde{m}_1 = A_1 [R_1 t_1] \tilde{M}_w = P_1 \tilde{M}_w \quad (4)$$

$$s\tilde{m}_2 = A_2 [R_2 t_2] \tilde{M}_w = P_2 \tilde{M}_w \quad (5)$$

の関係が存在する．ただし s は適当なスカラー値である．さて，このとき特徴点座標 m_1, m_2 には，以下のエピポーラ拘束条件が存在する．

$$\tilde{m}_2^T F \tilde{m}_1 = 0 \quad (6)$$

ただし，

$$F = [e \times] P_1 P_2^\dagger \quad (7)$$

$$e = P_1 (I - P_2^\dagger P_2) \xi \quad (8)$$

であり， P_2^\dagger は P_2 の擬似逆行列， ξ は任意のベクトルである．そこでここでは画像平面上の特徴点と，それに対応するエピポーラ線との距離の二乗和

$$\epsilon_i = \frac{(\tilde{m}_{2,i}^T F \tilde{m}_{1,i})^2}{l_{1,i,u}^2 + l_{1,i,v}^2} + \frac{(\tilde{m}_{1,i}^T F \tilde{m}_{2,i})^2}{l_{2,i,u}^2 + l_{2,i,v}^2} \quad (9)$$

を考え，式2と同様にエピポーラ拘束の実現誤差として，

$$E_{epipolar}(X_1, X_2) = \sum_i \rho(\epsilon_i) \quad (10)$$

を定義する．ただし X_i はレンジセンサとカラーセンサ i の相対位置， $(l_{(1,2),i,u}, l_{(1,2),i,v})^T = F \tilde{m}_{(2,1),i}$ である．従って，エピポーラ拘束も考慮した複数カラーセンサとレンジセンサの同時位置合わせ手法は，式2で与えられる位置合わせ誤差と，式10で与えられるエピポーラ拘束誤差の和

$$E_{all}(X_1, X_2) = E_{alignment}(X_1) + E_{alignment}(X_2) + \alpha E_{epipolar}(X_1, X_2) \quad (11)$$

を最小にするように，相対姿勢 X_1, X_2 を共役勾配法等で決定すればよい．ただし α は適当なゲインである．

5 実験結果

我々はこれまでに日本国内の文化遺産をレーザスキャナで3次元デジタルコンテンツ化するプロジェクトを推進してきており，その一環としてこれまでに鎌倉大仏をレーザスキャナで観測し，大仏像の幾何モデルを作成した．図2に得られた大仏幾何モデルを示す．そ

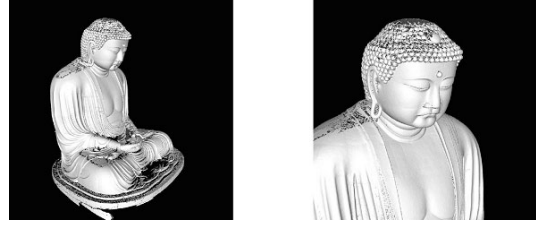


Figure 2: Geometric model of the Kamakura Great Buddha

ここで，この構築した幾何モデルに対し，本論文で提案した手法を用いてデジタルカメラから得られた2枚のカラーテクスチャ画像を貼り付けた．図3にリフレクタンス画像とリフレクタンス画像から抽出されたリフレクタンスエッジを，図4にカラーテクスチャ画像と抽出された濃淡エッジを示す．図4中の小さな四角形領域は2枚のカラー画像で対応する領域を表し，本実験ではKLT法[19]により両画像の対応点を探索した．また図5および図6にM推定によりリフレクタンス画像とカラー画像の位置合わせを行っている様子を示す．ただし図5は提案したエピポーラ拘束を利用した場合，図6は利用しなかった場合であり，濃い実線が幾何モデル上のリフレクタンスエッジを，薄い実線がカラー画像上の濃淡エッジを示している．また初期位置として正解からランダムに10度，20mm離れた場所を与えた．さて，例えば図4中の矢印で示された領域のように，KLT法による対応点探索では抽出された対応点に誤対応が含まれる可能性が多く，これは正しい収束の妨げになるものと思われる．また，正しい対応点が得られたとしても，共役勾配法における勾配の計算は，式11に示すように，エピポーラ拘束を満足する方向と，リフレクタンス - 濃淡エッジ点距離を減少させる方向の和として得られるため，エピポーラ拘束を満足した後はその影響を減らした方が収束が早い．そこで，実験では共役勾配法の繰り返し計算が100回を超えた時点で，式11におけるエピポーラ拘束のゲイン α を $\frac{1}{100}$ に減少させ，リフレクタンス - 濃淡エッジ点距離の減少を優先するようにした．図7にエピポーラゲインを変更した場合としない場合の収束の様子の一例を示す．実験の結果，エピポーラゲインを一定にした場合には局所解に陥り正解に辿り着けない場合が見られたが，この場合でもゲインを変更することにより，多くの場合で正しい解に収束することがわかった．図8(a)にエピポーラゲインを変更する手法で2枚のカラー画像を幾

何モデル上に貼り付けた結果を示す。また図 8(b),(c) は (a) に対してそれぞれの方の画像だけをマッピングした結果である。

一方、図 6 が示すように、エピポーラ拘束を利用しない場合には画像 1,2 とともに不適切な局所解に収束し、正確な位置合わせが実現できない場合が多く見られた。

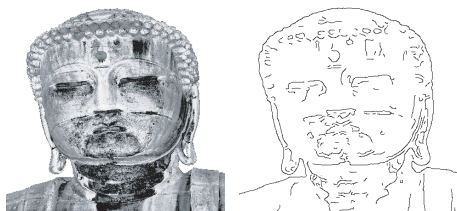


Figure 3: Reflectance image of the Kamakura Great Buddha

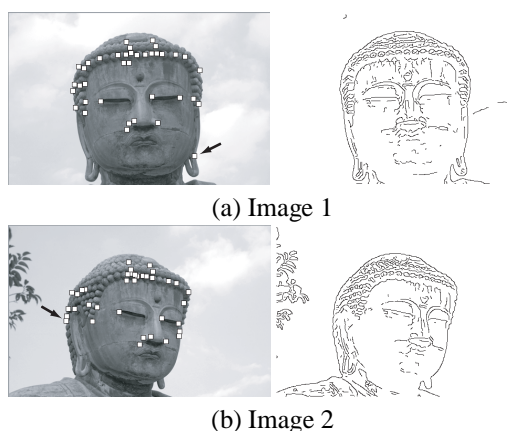


Figure 4: Texture images of the Kamakura Great Buddha

6 終わりに

本論文では、実物体の光学モデルを作成する手法の一つとして著者らがこれまでに提案した、レンジセンサから得られるリフレクタンス画像からリフレクタンスエッジを抽出し、同様にカラー画像から得られた濃淡エッジと比較することで、レンジセンサとカラーセンサの相対位置関係を求め、幾何モデル上にテクスチャイメージを貼り付ける手法を拡張し、複数の視点から得られた複数のカラー画像と単一のレンジデータが与えられた時に、それらの視点間の相対位置関係を同時に推定する手法を提案した。本手法は、これまでに提案した位置合わせ手法をそれぞれのカラー画像とレンジデータに適用すると同時に、カラー画像間の相対位置関係をエピポーラ拘束条件を満たすように決定するこ

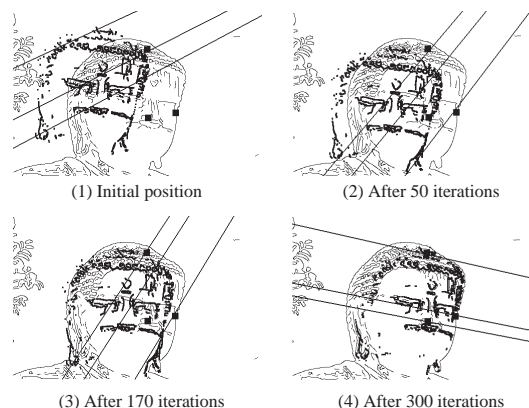


Figure 5: Aligned intensity edges with reflectance edges (Image 1)

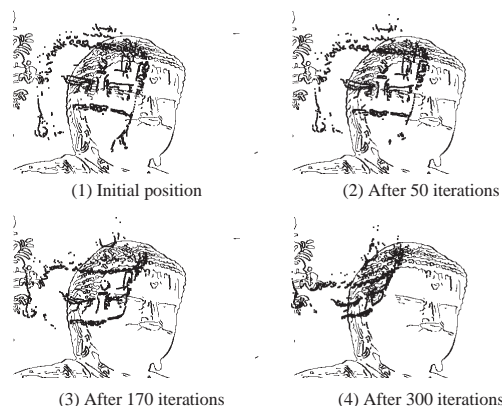


Figure 6: Aligned intensity edges with reflectance edges without epipolar constraint (Image 1)

とで、より局所解に対してロバストな位置合わせを実現するものである。

提案した手法を用いて、レーザスキャナにより測定した絵皿、及び鎌倉大仏の幾何モデル上にデジタルカメラで撮影した 2 枚のテクスチャを同時に貼り付ける実験を行い、提案した手法の有効性を確認した。

本論文では特に 2 枚のテクスチャ画像の同時位置合わせ手法について議論したが、同時位置合わせを行うテクスチャ画像の枚数が増えた場合についても、式 11 で表されるペアワイズな拘束条件式をすべての組み合わせに拡張することで本手法が適用可能であると考えられ、今後はこの問題についても検討する予定である。

References

- [1] 池内克史, 画像による実物体のモデルの作成, 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.6, pp.29-32, 1998.

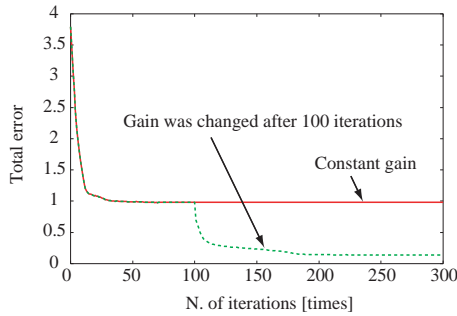


Figure 7: Effect of epipolar gain



Figure 8: Aligned color textures on the 3D geometric model

- [2] 池内克史, 佐藤いまり, 西野恒, 佐藤陽一, 複合現実感における光学的整合性の実現, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌「複合現実感」特集号, Vol.4, No.4, PP. 623-630, December 1999.
- [3] Y. Sato, M. D. Wheeler, and K. Ikeuchi, "Object shape and reflectance modeling from observation", Proceedings of ACM SIGGRAPH 97, In Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series 1997, ACM SIGGRAPH, pp.379-387, August 1997.
- [4] K. Nishino, Y. Sato and K. Ikeuchi, "Eigen-Texture Method: Appearance Compression based on 3D Model", in Proc. of Computer Vision and Pattern Recognition '99, vol.1, pp.618-624, Jun., 1999.
- [5] I. Sato, Y. Sato, and K. Ikeuchi, "Acquiring a radiance distribution to superimpose virtual objects onto a real scene," IEEE Trans Visualization and Computer Graphics, Vol. 5, No. 1, pp.1-12, January 1999.
- [6] M. D. Elstrom and P. W. Smith, Stereo-Based Registration of Multi-Sensor Imagery for Enhanced Visualization of Remote Environments, Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp.1948-1953, 1999.
- [7] I. Stamos and P. K. Allen, Integration of Range and Image Sensing for Photorealistic 3D Modeling, Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1435-1440, 2000.
- [8] P. Viola and W. M. Wells III, Alignment by maximization of mutual information, International Journal of Computer Vision, Vol.24, No.2, pp.137-154, 1997.
- [9] M. D. Wheeler, "Automatic Modeling and Localization for Object Recognition", Technical Report (Ph.D. Thesis), CMU-CS-96-188, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, October, 1996.
- [10] M. D. Wheeler and K. Ikeuchi, "Sensor Modeling, Probabilistic Hypothesis Generation, and Robust Localization for Object Recognition", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 17, No. 3, March 1995.
- [11] 松下賢治, 金子豊久, 三次元物体表面テクスチャを得る効率のマップング法, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol, J83-D-II, No.2, pp.525-534, 2000.
- [12] P. Debevec, D.J. Taylor, and J. Malik, Modeling and rendering architecture from photographs; A hybrid geometry and image-base approach, Proc. of SIGGRAPH'96, pp.11-20, 1996.
- [13] P. Debevec, Y. Yu, and G. Borshukov, Efficient view-dependent image-based rendering with projective texture-mapping 9th Eurographics workshop on rendering, pp.105-116, 1998.
- [14] D. Miyazaki, T. Ooishi, T. Nishikawa, R. Sagawa, K. Nishino, T. Tomomatsu, Y. Takase, K. Ikeuchi, The Great Buddha Project: Modelling Cultural Heritage through Observation, VSMM2000 (6th international conference on virtual systems and multimedia), pp.138-145, 2000.
- [15] J. F. Canny, A computational approach to edge detection, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.8, No.6, 1986.
- [16] 徐剛, 辻三朗, 3次元ビジョン, 共立出版, 1998.
- [17] Z. Zhang, R. Deriche, O. Faugeras and Q. T. Kuong, A robust technique for matching two uncalibrated images through the recovery of the unknown epipolar geometry. *Artificial Intelligence Journal*, 78: 87-119, 1995.
- [18] 倉爪亮, M.D.Wheeler, 池内克史, リフレクタンスエッジと濃淡エッジを用いたテクスチャのアラインメント, コンピュータビジョンとイメージメディア研究報告 (CVIM), 2001-CVIM-126, pp.41-48,(2001).
- [19] J. Shi and C. Tomasi, Good Features to Track, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.593-600, 1994.
- [20] E. Praun, A. Finkelstein, H. Hoppe, Lapped Textures, SIGGRAPH 2000, pp.465-470, 2000.
- [21] P. V. Sander, S. J. Gortler, J. Snyder, H. Hoppe, Texture Mapping Progressive Meshes, SIGGRAPH 2001, pp.355-360, 2001
- [22] P. Hanrahan and P. E. Haeberli, Direct WISIWYG painting and texture on 3D shape, SIGGRAPH 90, pp.215-223, 1990
- [23] B. Levy, Constrained Texture Mapping for Polygonal Meshes, SIGGRAPH 2001, pp.417-424, 2001
- [24] P. Hans Kohling, Decorating implicit Surfaces, SIGGRAPH 95, pp.291-300, 1995
- [25] P. Litwinowicz and G. Miller, Efficient technique for interactive texture placement, SIGGRAPH 94, pp.119-122, 1994
- [26] L. Wei and M. Levoy, Fast Texture Synthesis Using Tree-Structured Vector Quantization, SIGGRAPH 2000, pp.479-488, 2000
- [27] L. Wei and M. Levoy, Texture Synthesis Over Arbitrary Manifold Surfaces, SIGGRAPH 2001, pp.355-360, 2001
- [28] G. Turk, Texture Synthesis on Surfaces, SIGGRAPH 2001, pp.347-354, 2001