

文化財のデジタル化

—幾何情報の再構成—

科学技術振興事業団 ○倉爪 亮

Digital Archive of Cultural Properties

Reconstruction of Geometric Models

○Ryo Kurazume, JST

Abstract: This paper presents an overview of our efforts in modeling the Great Buddha of Kamakura through observation. To digitizing a large object such as the Great Buddha, we have developed a simultaneous registration, parallel volumetric merging algorithms, and a new camera-sensor alignment algorithm.

1 はじめに

近年、文化遺産のデジタル保存の重要性が広く認識され、実際に一部ではデジタル化が試みられている。しかしこれらの作業の多くはオペレータの手作業により行われているため、一対象のコンテンツ化に多くの時間と労力、多額の費用が必要となっている。そこでCREST池内プロジェクトでは、このコンテンツ化作業の自動化手法の確立を目指した様々な研究が行われている。本稿では本プロジェクトにおいてこれまでに開発された手法のうち、特に幾何モデルの自動作成手法について、鎌倉高德院阿弥陀如来像（鎌倉大仏）のデジタル化を例に紹介する。

2.1 スキャニング

鎌倉大仏像の3次元形状測定の様子を Fig.3 に示す。測定は大仏の周囲に設営された足場を含む 24 地点で行い、24 枚のレーザスキャナにより距離画像を採取した。



Figure 3: Scanning the Great Buddha

2 鎌倉大仏のデジタル化

鎌倉大仏 (Fig.1) は 12 世紀中頃に鎌倉の高德院に造立された全高 12.4m の青銅製の仏像であり、現在日本国宝に指定されている。造立当初は同時期に建立された大仏殿内部に安置されていたが、1498 年の大津波による大仏殿流失以降は屋外に置かれており、雨や直射日光による腐食や塩害のために損傷が激しい。また同地域には相模湾沖を震源とする大規模地震の危険性も指摘されていることなどから、デジタルコンテンツ化による大仏像の永久保存は急務であった。そこで我々は、高精度 3 次元レーザスキャナ (Cyrax 2400, Fig.2)、および高性能デジタルカメラ (Nikon D1) を用い、i) スキャニング、ii) アラインメント、iii) マージング、iv) テクスチャマッピングという一連の作業を通して、鎌倉大仏のデジタルコンテンツ化を行った。



Figure 1: The Great Buddha of Kamakura



Figure 2: Cyrax 2400

2.2 アラインメント

測定の結果得られる距離画像は、大仏形状の一部分を表す観測位置に依存した点の集合であるから、全ての距離画像が同一の大仏形状を表現するように適切に位置姿勢を変換（アラインメント）しなければならない。

多数枚の距離画像をアラインメントするためには、i) 隣り合う距離画像を逐次的にアラインメントするか、ii) 全ての距離画像を同時にアラインメントする方法が考えられる。逐次的アラインメントは単純であるが、誤差が蓄積する危険性があり、一方、同時アラインメントは膨大なメモリー量、計算量が必要となる。そこで我々は i) 点間距離の最小化、ii) k-d tree を用いた効率的データ保存、iii) ロバスト M 推定を用いた逐次的最小値探索を特徴とした同時アラインメントアルゴリズムを開発し、鎌倉大仏の 3 次元モデル化に適用した。Fig.4 に同時アラインメントの様子を示す。

2.3 マージング

アラインメントの結果得られた三次元形状は、各々の計測で重なった領域面の存在する冗長な表現であるから、これら重なった面を単一の面へ統合（マージング）

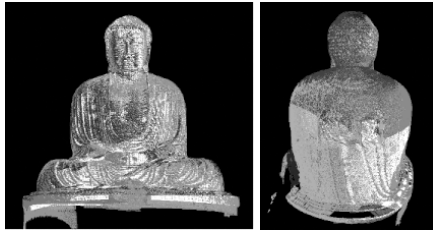


Figure 4: Simultaneous alignment

する必要がある。我々はこれまでに、まず各計測間で観測データの信頼度を定義し、それと空間を Oct tree により分割して得られたボクセルの中心から観測された面までの距離から、ボクセル内の面素の存在確率を決定する”Consensus Surface Algorithm”を開発した。さらに大仏のような大規模データにも適用可能にするため、このアルゴリズムを並列計算機で実行できるようにアルゴリズムの並列化を行った。Fig.5 はマージングの結果得られた 3 次元形状である。計算時間は 8CPU の PC クラスタ (Pentium III, 1GHz) を用いて 252 分 (300 万点、600 万ポリゴン) であった。



Figure 5: Merged result: The model contains 3 millions points and 5.5 millions triangles

2.4 テクスチャマッピング

作成された 3 次元メッシュモデル上に、デジタルカメラにより撮影されたカラー写真を貼り付けることで、より現実感高いモデルが完成する。これには通常、距離画像を取得した 3 次元距離センサとカラー画像を撮影したカメラ間の正確な相対位置、姿勢が必要である。そこで我々は、両者を特殊な雲台に固定しなくても、取得された距離、画像データから両者の位置関係を推定する手法を開発した。

通常、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反射率画像が得られる。この反射率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。そこで我々はこの反射率画像を距離画像と濃淡画像との位置合わせに利用する手法を開発した。すなわち、まず i) 反射率画像とカラー画像に Canny フィルタを適用し、エッジを抽出する。ii) 反射率エッジを対応する 3 次元メッシュモデルに貼り付ける。iii) 3 次元メッシュモデルを適当な位置に置き、カメラの画像平面に投影して濃淡

エッジと反射率エッジの対応を決定する。iv) 対応するエッジ間の誤差が最小になるようにロバスト M 推定を用いて 3 次元メッシュモデルの位置、姿勢を決定する。Fig.6 に顔のテクスチャマッピング結果、Fig.7 に全身の結果を示す。



Figure 6: Aligned color texture on the 3D geometric model



Figure 7: Aligned color texture on the whole body of the 3D geometric model

3 まとめ

本稿では、CREST 池内プロジェクトで実施している文化遺産の自動的デジタル保存技術の開発において、特に鎌倉大仏のデジタルコンテンツ化を例に、幾何モデル作成のプロセスを概説した。

本研究は科学技術振興事業団戦略的基礎研究推進事業 (CREST) 高度メディア社会の生活情報技術の支援を受けて行われました。

参考文献

- [1] D. Miyazaki, T. Ooishi, T. Nishikawa, R. Sagawa, K. Ni-shino, T. Tomomatsu, Y. Takase, K. Ikeuchi., The Great Buddha Project: Modelling Cultural Heritage through Obser-vation, VSMM2000, PP.138-145, (2000)
- [2] 倉爪, M.D.Wheeler, 池内, 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)
- [3] R. Kurazume, K. Nishino, Z. Zhang and K. Ikeuchi ”Simultaneous 2D Images and 3D Geometric Model Registration for Texture Mapping Utilizing Reflectance Attribute”, to appear in Fifth Asian Conference on Computer Vision, Jan., (2002)