

Great Buddha Project

- 観測に基づく文化遺産のデジタル保存 -

倉爪 亮(JST) 大石岳史(東大) 佐川立昌(東大) 西野 恒(東大) 池内克史(東大)

Great Buddha Project – Digital Archive of Cultural Heritage through Observation –

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.

Key Words: 3 D Modeling, Virtual Reality, Modeling From Reality, Texture Mapping

1. はじめに

我々は現在、鎌倉大仏や奈良大仏、あるいは唐招提寺金堂などの国宝級歴史的建造物や、人間国宝の卓越した技といった後世に伝えるべき貴重な文化遺産を、近年のエレクトロニクス技術の急激な発達により利用可能となった3次元高精度距離センサや高分解能テレビカメラ等を用いて観測し、その3次元形状や見え、あるいは動きなどの時系列データをデジタルデータとして半永久的に保存する研究を推進している。

現在、このような文化遺産のデジタル保存の重要性が一般に広く認識され、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。このコンテンツ化作業が自動化できれば、より多くの文化遺産を、短期間に安価にデジタルコンテンツ化することが可能となる。

そこで我々は、文化遺産のデジタル化作業の自動化手法を確立することを目指し、

1) 距離センサやテレビカメラからの部分情報を統合して建造物などの文化財の全体的な3次元形状を得る幾何情報取得の研究

2) 色・艶といった文化財の表面反射特性等を得る光学情報取得の研究

3) 複合的な見えを生成する文化財建造物や周辺状況の光学条件をモデル化する環境情報取得の研究

4) 建造物等の文化財に限らず、人間国宝のような匠の技の保存も目指す時系列情報取得の研究の4要素について研究を進めている。

本報告ではこれまでに我々の行った鎌倉高德院阿彌陀如来像(鎌倉大仏)のデジタル化を例に、これまでに開発した様々な手法を紹介する。

2. 鎌倉大仏のデジタル化

鎌倉大仏(図1)は12世紀に鎌倉の高徳院に造立された全高約20m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、1267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)、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)マーキング、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。



Fig. 1 The Great Buddha of Kamakura

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図2に示す。測定は大仏の周囲に設置された足場を含む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。



Fig. 2 Scanning

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。図3に同時アラインメントの様子を示す。

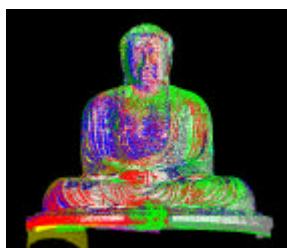


Fig. 3 Simultaneous alignment

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)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。図4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。



Fig. 4 3D mesh model after merging process

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。図5~8にこれらの過程を示す。

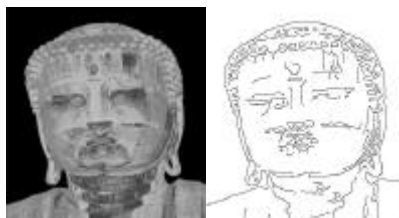


Fig. 5 Reflectance image and edges



Fig. 6 Color image

Fig. 7 Alignment process



Fig. 8 Aligned color texture on the mesh model

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. Nishino, T. Tomomatsu, Y. Takase, K. Ikeuchi., The Great Buddha Project: Modelling Cultural Heritage through Observation, VSMM2000, PP.138-145. (2000)