

「高度メディア社会の生活情報技術」
平成11年度採択研究代表者

池内 克史

(東京大学大学院情報学環 教授)

「文化遺産の高度メディアコンテンツ化のための自動化手法」

1. 研究実施の概要

現在、文化遺産のデジタルコンテンツ化の重要性が一般に広く認識され、実際に一部ではコンテンツ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、短期間に安価に高度メディア空間にコンテンツ化することが可能となる。

そこで本研究プロジェクトは、国宝級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などの最新測定機器を用いて観測し、視覚情報工学の最先端技術を用いて、取得した画像データから高度メディアシステム上のコンテンツへと自動変換する手法を開発することを目的とする。具体的には、

- 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の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。

このプロジェクトの成果により文化遺産のコンテンツ化を進めることで、

- 1) 紛失、焼失、後継者難による断絶といった危険にさらされている文化遺産の高度メディア空間での永久保存
 - 2) 多くにユーザが、その自宅を離れることなく、文化遺産に日常的に接することができ、情報弱者の軽減につながり、社会全体に高度な満足が与えられる
- といった社会的に大きな効果が期待される。

本研究グループは今年度、これまでに開発し提案してきた観察に基づき実物体の仮想モデルを自動的に作成する“ modeling-from-reality ”の手法を適用して、日本国宝・鎌倉大仏の高度メディア空間でのデジタルコンテンツ化を試みた。しかしコンテンツ化の過程で、大仏はこれまでにない大型の測定対象であり、また屋外という制御不能な測定環境であることから、これまで“ modeling-from-reality ”で開発した手法を適用した場合の様々な問題点が明らかとなった。

そこで本研究グループでは今年度新たに

- 1) 幾何モデルのための同時位置合わせ法
- 2) 幾何モデルのための並列空間統合処理法
- 3) 光学モデルのためのカメラ-センサ位置合わせ法

を開発し、これにより鎌倉大仏の高度メディア空間へのコンテンツ化を実現した。

2. 研究実施内容

1. はじめに

近年、鎌倉大仏など国宝級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、それらが存在しているうちに高度メディア空間にデジタルコンテンツ化し永久保存することの重要性が一般に広く認識され、実際に一部ではコンテンツ化が試みられている。現在では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が、これを仮想現実モデルの作成手法を適用して自動化できれば、より多くの文化遺産を短期間に安価にコンテンツ化することが可能となる。そこで本研究プロジェクトは、東京大学生産技術研究所池内研究室がこれまでに開発したMFR(Modeling From Reality)の様々な手法を用いて文化遺産のコンテンツ化作業の自動化手法を確立することを目的とし、今年度は本プロジェクトの最初のターゲットとして、鎌倉大仏の高度メディア空間でのデジタルコンテンツ化を行った。実物体のデジタルコンテンツ化作業は、(1)レーザスキャナを用いたスキャンニング、(2)複数距離画像のアラインメント、(3)1つの幾何モデルへのマージング、(4)テクスチャマッピングなどの過程からなるが、これまでに開発した手法は屋内環境の小物体を対象としており、大仏のような屋外環境の大型対象物に適用するには問題があった。そこで我々は新たに以下の手法を開発し、大仏のデジタルコンテンツ化を実現した。

- 1) 幾何モデルのための同時位置合わせ法
- 2) 幾何モデルのための並列空間統合処理法
- 3) 光学モデルのためのカメラ-センサ位置合わせ法

2. 大仏の幾何モデリング

2. 1 スキャンニング

鎌倉大仏のような大型対象物の幾何形状を屋外環境で測定するには、高出力

なレンジセンサが必要である。一方、我々の所有するCyraxレンジスキャナは100mまでのデータ点を数mm精度で測定することが可能であり、このCyraxレンジスキャナを用いて大仏周囲の24点の観測点から大仏距離画像を採取した (Fig.1)。



Figure 1 Scanning the Great Buddha

2.2 アラインメント

複数の視点から得られた距離画像から単一の3次元モデルを生成するには、まずそれら複数の距離画像の位置合わせを行う必要がある。これには(1)隣り合う2つの距離画像間の位置合わせを順次に行う逐次的な方法と、(2)全ての画像間の位置合わせを同時に行う同時位置合わせ手法が考えられるが (Fig.2)、逐次的手法ではそれぞれの組の位置合わせ時に発生する誤差が蓄積され、最終的には大きな位置合わせ誤差を生じる可能性がある。そこで我々は新たに全ての距離画像を一度に位置合わせすることで誤差の蓄積を回避する同時位置合わせ法を開発した。Fig.3に最終結果を示す。ここでそれぞれ異なる色は、異なる方向から得られたデータ組を示している。

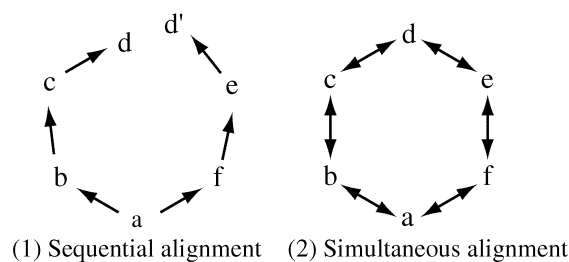


Figure 2 Alignment methods

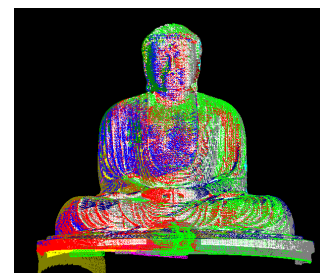


Figure 3 Aligned result

2.3 マージング

全ての距離画像の位置合わせを行った後、それらを一つの大仏の表面形状へ統合 (マージング) する。これまでに我々は統計的手法を用いた体積的マージ

ングアルゴリズムを開発しているが、これを大仏の全距離画像に適用したところ、データ量が莫大であるため通常の計算機ではメモリ量の制約から計算が実行できないことがわかった。そこで大量のデータを高速に処理するために、Dual PentiumIII 800MHzと1GBのメモリを有する8台のPCからなるPCクラスタを構築し、開発したマージングアルゴリズムをPCクラスタ上で動作するように並列化した。Fig.4に300万点と550万個の三角形からなる鎌倉大仏の幾何モデルを示す。計算時間は4つのPCに分散保持された4つの並列探索を用いた場合で約59時間であった。これら一連の作業の結果、鎌倉大仏の表面積は272平方メートルと求められたが、これはこれまでに大仏表面を覆うために使用された金の量から推定された表面積(263平方メートル)に非常に近い値であった。



Figure 4 Merged result

3．大仏の光学モデリング

構築された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、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。しかしこれには通常、レーザ、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。そこで我々は、通常レンジデータを取得する際に同時に測定されるレーザのリフレクタンス画像に着目し、これから得られるリフレクタンスエッジとカラー画像上の濃淡エッジから両センサの相対位置関係を測定することで、両センサ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開発した。Fig.5にマッピングされたテクスチャ画像を示す。



Figure 5 Mapped color texture on the 3D geometric model

4．大仏の環境モデリング

鎌倉大仏は現在屋外に置かれているが、史料によるとこれまでに少なくとも3回、大仏殿が建造されている。最後の大仏殿は1498年の大津波によって流失し、それ以降は再建されていないが、現在でも柱を支えた石が大仏の周りに残されており、この石の分布から大仏殿の大きさを推定することが可能である。そこで我々は同時代に建立され、大仏様と呼ばれる同様の建築様式を採用した東大寺大仏殿や兵庫浄土寺の浄土堂を参考に、3D CADを用いて流失した大仏殿を仮想的に再構築した。さらに造立当時の金箔で覆われた大仏を大仏殿内部に安置し、造立当時の鎌倉大仏を再現した（Fig.6参照）。



Figure 6 Golden Buddha and the Main Hall in the 13th century

3．主な研究成果の発表（論文発表）

- 河村 憲太郎、Mark D. Wheeler、山下 修、佐藤 洋一、池内 克史、メッシュモデルとM - 推定法に基づく配電器材の位置推定手法、日本ロボット学会誌,Vol.18・4,PP.600-611,2000.5
- K. Ikeuchi,Modeling from reality,Y.J. Zhang(ed)ICIG'2000, First Intern. Conf. on Image and Graphics, Journal of Image and Graphics(JIG),Vol.5・,PP.22-28,2000.8
- 池内 克史、人間の把持行動観察によるロボットの把持戦略の生成、日本ロボット学会誌、Vol.18・6,PP.792-797,2000.8
- 佐藤 いまり、佐藤 洋一、池内 克史、物体の陰影に基づく光源環境の推定、情報

処理学会論文誌：コンピュータビジョンとイメージメディア「Physics-based VisionとCGの接点」特集号、Vol.41・SIG 10,PP.31-40,2000.12

- 齊藤、佐藤、池内、赤外線のパラメトリック解析とその透明物体形状モデリングへの応用、情報処理学会論文誌：コンピュータビジョンとイメージメディア「Physics-based VisionとCGの接点」特集号、Vol. 41 , No. SIG 10(CVIM 1)PP.12-18,2000.12