

コンテキストベース三次元木彫モデルの復元

安田 裕一郎*，相井 孝仁*，高井 智代**，信原 耕太郎***，岡田 至弘*
*龍谷大学大学院 理工学研究科 **龍谷大学 理工学部 ***株式会社キャドセンター

近年、三次元形状の計測が普及し、様々な分野で精確な距離データが得られるようになってきている。しかし、欄間のような複雑な構造をもつ物体では、計測対象の反射特性の問題により、計測不可能な箇所(欠損)がある。そこで我々は、複雑な構造をもつ欄間は一定の様式に基づいて構成されていると考え、モデル化を行った。モデル化した欄間と三次元計測の際に欠損した箇所を照らし合わせることにより、欠損部の特定とともに欠損部周辺の情報をを利用して元の形状に沿った復元を行った。

Reconstruction of the Context-based Three-Dimensional Wood Carving Model

Yuichiro Yasuda*，Takahito Soi*，Chiyo Takai**，
Kotaro Nobuhara***，Yoshihiro Okada*

By improving a three dimension shape measurement system we can capture shape data of a 3D object. But, for an object with complex shape, the measured data is not accurate because of reflection of the object. That is, there are some lacks of the object shape in the captured data. In this paper, we investigated a measurement method of an object, RAN-MA, with complex shape. We defined a context base model for RAN-MA and showed that our proposed method could capture accurate 3D shape using the model and measured data with lacks.

1. はじめに

近年、CG・CV の分野において物体の表面形状を記録するデジタルアーカイブの研究が注目を集めている[1-3]。物体の表面形状を高精細なデジタルデータとして記録することができれば、より現実感の高い再現が可能となる。

デジタルデータとして記録する手法として能動的手法がある。これは、対象に光を照射して反射までの時間などから対象との距離を測るという、簡便かつ高精度という理由からよく用いられている。しかし、複雑なオブジェクトになるほど、計測可能範囲外の死角となっている部分や、レーザー光照射による反射光の状態によっては計測不可能な領域が多くなるため、一度に対象物の全表面を計測することは困難である。この問題を解決するためには計測位置を移動し、同一計測ポイントにおいて計測データを得た後に、データ統合を行う必要がある。けれども、データ統合処理では、欠損した箇所や死角の存在によって計測できなかった部分の復元は不可能である。

本研究では、西本願寺白書院(図 1)の欄間(図 2)を対象として三次元形状を計測し、形状統合を行った。そして、欠損した箇所や死角によって計測できなかった部分において、対象となる木彫モデルが有するコンテキストから欠損部の推定を行い、三次元形状木彫モデルの復元を試みた。



図 1. 西本願寺白書院

2. 三次元木彫モデル

2.1 西本願寺白書院欄間彫刻

西本願寺は、天正 19 年(1591 年)に豊臣秀吉によって七条堀川の地を与えられて以降、3 万 6 千坪もの広大な敷地内に、国宝の唐門や飛雲閣のほか、書院、御影堂など多数の貴重な建築を今に伝えている。これらは名建築であると同時に、障壁画の宝庫でもある[4]。

図 2 は、西本願寺白書院の二之間と三之間にある欄間である。大きさは縦約 900mm、横 2,800mm である。厚さ約 100mm の一枚板を表裏両面から削りだし、どちらの部屋から見ても意



図 2. 白書院欄間

匠の異なる図柄となるように配置している。尾長鳥の一部の羽根は、一枚板からさらに立体的に張り出すように別部材で取り付けである。八重椿は古樹の大木から生い茂る枝葉全体を金箔地で表現されている。花々は赤、枝間を悠々と飛び交う尾長鳥の羽は緑・青・赤などの顔料で彩色されている。しかし、金箔・顔料の退色や剥離が見られる。

この欄間彫刻は、精細かつ複雑な構造ではあるが、花、葉、枝、鳥の 4 種類のみを基本要素とする構成をもつ。

2.2 コンテキスト・ベース木彫モデル

ここで扱う木彫モデルを以下のコンテキストを有するものとする。

- シーン・コンテキスト:
(Rs: {ranmaID})
- オブジェクト・コンテキスト:
(Ro: {objectID, fn})
- 基本要素・コンテキスト:
(Re: {elementID, fn})
- パッチ・コンテキスト:
(Rp: {patchID, fn})

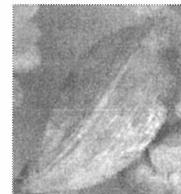
シーン・コンテキスト(Rs)とは、欄間彫刻個々を識別する ID からなり、この ID は桃山時代の彫刻の様式、白書院内の個々の部屋位置および部屋内部での配置などを特定することになる。基本要素・コンテキスト(Re)は、4 種の基本要素と個々の要素のバリエーションを示す fn によって多彩な表現が可能となることを示す。

fn の例として、図 3 に基本要素”葉”のバリエーション(a), (b)を示す。同様に、枝の例、花の例を図 4(a), (b), 図 5(a), (b)に示す。

基本要素の組み合わせによるモデル表現をオブジェクト・コンテキスト(Ro)とし、八重桜や尾長鳥などの複雑なオブジェクト表現とそのバリエーション(fn)を示すことになる。

また、パッチ・コンテキスト(Rp)は、3 次元デジタイザなどで取得した 3 次元点データを基本とし、そこから生成する微小面(パッチ)を示し、fn により、パッチの属性を表現する。パッチの属性とは、基本要素”葉”であれば、葉表面の表か裏か、もしくは、葉の稜線(輪郭)か襞(溝)かを示すことになる。

以上のコンテキストから、3 次元デジタイザにより得る計測データに含まれている欠損箇所・計測不能部分の補完をすすめ、木彫モデルの復元を行う。



(a)卵形



(b)橢円形

図 3. 葉の種類

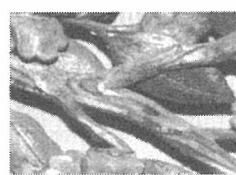


(a)つぼみ



(b)開花

図 4. 花の種類



(a)彫り込みが多い



(b)彫り込みが少ない

図 5. 枝の種類

2.3 コンテキストベース補完

コンテキストとは、一般的には文脈・状況・与えられた条件などを指す。しかし、ここではコンテキストとは欄間における葉・花・枝などの様式化されたオブジェクトのことを示す。

コンテキストを利用した補完処理は近年注目を集めており、様々な研究が行われている。Antonio ら[5]は画像における物体検出のためにコンテキストを用いている。Mark ら[6]は入力として得られた粗い点群データに対してコンテキストとしたサンプルデータを用いて入力データをコンテキストデータの形状に近づくように変換を行い、コンテキストデータに似た形状を生成している。また、Toby ら[7]は入力として形状の元となるコンテキストデータを使い、そのデータの周辺部に粗いテクスチャを合成する。粗いテクスチャはコンテキストデータの形状に応じて変形を行い、最終的に全体がコンテキストデータに基づいた形状になる。Barbara ら[8]は画像間の位置合わせに用いる手法の一つとしてコンテキストを挙げている。

本研究では欄間における葉・花・枝などのオブジェクトを、欠損した箇所に対するコンテキストとして適用することによって、欠損した箇所が、葉・花・枝それぞれのコンテキストに属するかを判断し、それに応じた処理を行うことによって欠損した箇所を補完する。

3. 復元手順

欄間の三次元形状を計測した後、位置合わせから形状統合、コンテキストベースによる復元までの手法の流れを図 6 に示す。まず、対象となる欄間の三次元データ計測を行う。対象の全体を一回の計測で測定できないため、計測装置の配置を変えて再度計測しなければならない。この時、計測されたデータは計測装置の座標に基づいた結果として出力されるため一つに統合する必要がある。この処理は位置合わせ及び形状統合であるが、ここでは便宜上位置合わせと形状統合をそれぞれ別のプロセスとして考える。位置合わせ及び形状統合をすることによって、計測装置から得られた点群データそのものが得られる(①, ②)。ただし、計測装置から得られた点群データは計測不可能な箇所や対象の反射特性などの理由により欠損が生じている。そこで、コンテキストに基づいた処理によって欠損部を補完する(③)。

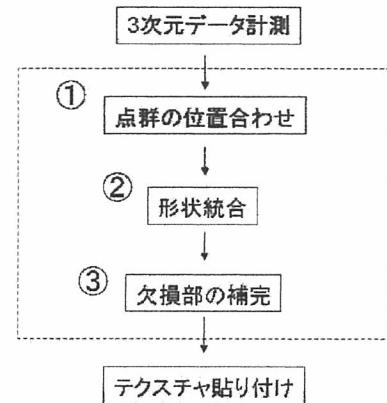
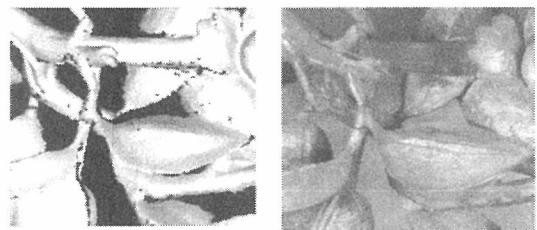


図 6 . 提案手法の流れ

4. 欄間の計測

4.1. 欄間の三次元データ計測

計測機器はコニカミノルタ製の VIVID910 を用いた。測定方式は三角測量、測定範囲は 0.6m ~ 2.5m である。これは、非接触でかつ短時間で高精度の計測が可能で、文化財を対象とした計測に適している。計測した欄間の三次元データと高解像度画像を図 7 に示す。



(a)三次元データ (b)高解像度画像

図 7 . 計測データ

図 7(a),(b)を比較すると三次元データには欠損が生じていることがわかる。このような欠損は欄間全体に渡って発生しており、各要素(葉・枝など)の輪郭部に欠損が多々存在している。

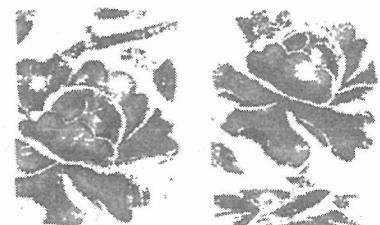
4.2. 位置合わせ

異なった視点で得られた複数の三次元位置データはそれぞれ固有の座標を持っているため、一つに統合する必要がある。この処理は位置合わせとよばれ、Besl らによって考案された Iterative Closest Point (ICP)アルゴリズム [9]が一般的な手法として存在する。

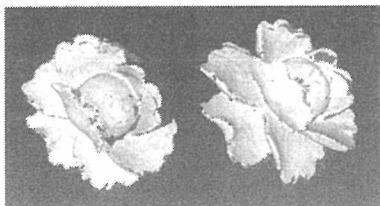
ICP アルゴリズムとは、データ形状がモデル形状に大まかに位置合わせされていることを初期状態として仮定し、データ形状の各点から最も近いモデル形状の点への対応付けとその変換推定を繰り返し行うアルゴリズムで、対応付けと位置合わせを同時に解くことが可能である。ICP アルゴリズムを用いた位置合わせ前、位置合わせ後の結果を図 8 に示す。

データ形状とは実際に測定器によって測定された対象の三次元データのことであり、モデル形状とは対象物の完全な形状のことと高解像度画像をモデル形状として考えられる。ただし、これだけでは位置合わせを遮るような凹凸による誤った対応関係が原因で、解の収束が遅くなる、正解に到達しない、などの問題が発生する。そこで岡谷ら[10]は対象の表面の色情報を利用する手法を適用し、位置合わせを行っている。

Besl らによって提案された処理のみではその後の形状統合の処理も行わなければならないが増田ら[11]は符号付距離場を用いて位置合わせと形状統合を行っている。具体的な手法として、おおまかな位置合わせはできていると仮定したうえで統計的に誤差修正を行う。次に位置合わせを行う、という処理を位置合わせの必要がなくなるまで繰り返す。



(a) 位置合わせ前



(b) 位置合わせ後

図 8. ICP アルゴリズムによる位置合わせ

4.3. 形状統合

部分的な形状データ、すなわち計測により得られた三次元点群データは計測視点の違いにより異なる意味を持っている。

位置合わせの処理だけでは連続した一つの形状データはできないため、形状統合を行う必要がある。形状統合ではそれぞれの形状データを単一の形状記述にまとめる。この処理によって重複した部分と重複部分をもとにした計測誤差の除去が可能となる。

本研究では、形状統合には位置合わせの節で取り上げた増田らの各距離画像について求めた符号付距離場と法線場の値にロバスト統計手法を用いる。

4.4. コンテキストベース補完

位置合わせ及び形状統合を行うだけでは三次元計測時に欠損した点群は表現できない。そこで欠損していると思われる箇所を欄間の高解像度画像と三次元点群データを用いて補完し、復元を試みる。Sharf ら[12]は欠損部の周辺と類似した部分を他の場所から切り貼りすることによりコンテキストベース補完を行う手法を提案している。この手法では構造が単純な対象に対しては適用可能であるが、欄間のような複雑な形状のものには適用できない。本研究では欄間の様式に基づいた木彫モデルを定め、コンテキストベース補完と組み合わせることにより半自動で補正と復元を行う。

欠損部の分布について表 1 にまとめた。欠損率は正面から見た時のそれぞれの要素における体積全体を 100 とした時にどのくらい欠損しているかを表す(式(1))。

$$\text{欠損率} = \frac{\text{要素における欠損面積}}{\text{要素の面積全体}} \times 100[\%]$$

--(1)

表 1. 欠損率

	花	葉	枝	鳥	全体
輪郭	67%	62%		38%	56%
溝	26%	26%		57%	36%
その他	7%	12%		5%	8%
計	100%	100%	100%	100%	100%
欠損率	4%	3%	1%	2%	2. 5%

表 1 から欠損の大部分は各要素とも輪郭と溝の部分に集中しており、全体の 9 割弱が輪郭と溝にあたる。欠損率は全体の 2.5%となっているがオクルージョンによる欠損は含めないので実際はもっと多くの欠損が存在していると考えられる。

輪郭部に欠損が見られる理由としては、レーザーと対象の曲率によるものと考えられる。一般的に三次元計測装置と対象との距離が近ければ近いほど計測精度は高くなる。それに加え、レーザーが照射される角度と計測される面との角度が 90 度に近づくほど測定可能な点が少なくなり、結果計測が粗くなつて欠損が生じる。このことから、輪郭部での欠損が多いものと考えられる。溝についても同様である。

具体例として葉における欠損とその分布を図 9 に示す。

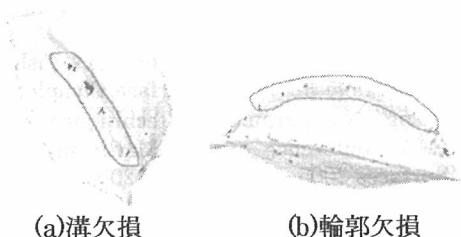


図 9. 欠損の種類

ここで補完する上で、欠損における分類をパッチ・コンテキストにより、周辺部のエッジ勾配から「輪郭における欠損」、「溝における欠損」、「その他の欠損」と定義した。以下にその具体的な判別方法を示す。

- 輪郭：稜線を形成してその曲率が α 以上
- 溝：谷(溝)を形成してその曲率が $-\alpha$ 以上
- その他：以上のどれにも属さない欠損

※ α は閾値

4.5. 欠損部における処理

表 1 で示すように輪郭部及び溝の部分では欠損箇所が多く、またそれに応じた処理が必要となる。以下にその分類のフローチャートを図 10 を示す。

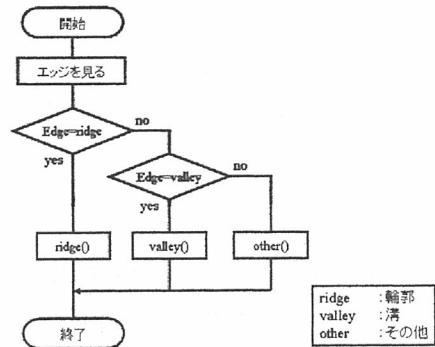


図 10. エッジ分類

以上の定義を元に木彫モデルにおけるそれぞれの基本要素・コンテキストと計測データを比較し、欠損している箇所に対して、補完処を行なう。

5. 実験結果

それぞれの基本要素・コンテキストについての復元結果を図 11-図 15 に示す。結果では大部分の欠損が復元されているが、外形部すなわち要素の輪郭部分はいびつな形状であるものが多いため、穴を埋める処理は行ったものの、形状を意識した復元が行われていないことに起因している。このように外形部がいびつになつてしまふ現象を防ぐには、得られた点群データとは別に、それぞれ要素の基本的な構造を記したサンプルを用意し、それにあわせた復元が必要であると考えることができる。



図 11. 葉(卵形)の復元結果



図 12. 葉(楕円形)の復元結果

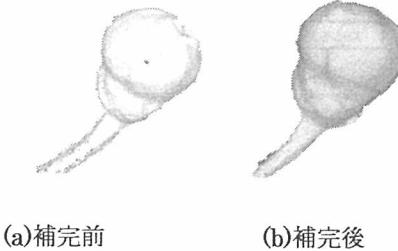


図 13. 花(つぼみ)の復元結果

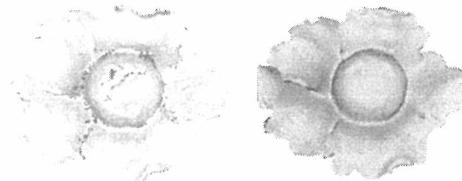


図 14. 花(開花)の復元結果



図 15. 枝の復元結果

6. おわりに

本研究では、欄間がある様式に基づいて作られたモデルとみなしこンテキストベースを利用し復元を試みた。

今後の課題として復元精度についての評価が挙げられる。また、今回は実画像を適用したテクスチャについて考慮しなかったため、補完した箇所に正確にテクスチャを貼り付ける手法を検討していく。

参考文献

- [1] 池内, 倉爪, 西野, 佐川, 大石, 高瀬: “The Great Buddha Project, - 大規模文化遺産のデジタルコンテンツ化 -”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.1, pp.103–113, 2002.
- [2] M. Levoy et. al: “The Digital Michelangelo Project”, Int Proc. SIGGRAPH2000, pp.131–144, 2000.
- [3] F. Bernardini and H. Rushmeier: “The 3D Model Acquisition Pipeline”, Comput. Graph. Forum 21: 149-172 (2002)
- [4] 廣瀬 翼, 相井 孝仁, 岡田 至弘: “西本願寺杉戸絵デジタルアーカイブの構築”, 人文科学とコンピュータシンポジウム, Vol.2007, No.15, pp.327-332, 2007.
- [5] Antonio Torralba, Kevin P. Murphy, William T. Freeman, Mark A. Rubin: “Context-based vision system for place and object recognition”, ICCV, 2003, pp.273–280
- [6] M. Pauly, N. J. Mitra, J. Giesen, M. Gross, and L. Guibas : “Example-based 3D scan completion,” in Symp. on Geometry Processing, pp.23-32, 2005.
- [7] Toby P. Breckon, Robert B. Fisher: “Plausible 3D Colour Surface Completion Using Non-parametric Techniques”, IMA Conference on the Mathematics of Surfaces 2005, pp.102-120, 2005.
- [8] B. Zitová, J. Flusser: “Image registration methods: A survey”, Image Vis. Comput., Vol. 21, pp.977–1000, 2003.
- [9] P. J. Besl and N. D. McKay: “A Method for Registration of 3-D Shapes”, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell, Vol. 14, No.2, pp.239–256, 1992.
- [10] Ikuko Okatani, Akihiro Sugimoto: “Registration of range images that preserves local surface structures and color”, 3DPVT 2004, pp.789-796, 2004.
- [11] 増田健: “符号付距離場の一致による複数距離画像からの形状モデル生成”, 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, Vol.44, No.SIG5(CVIM6), pp.30-40, 2003.
- [12] Andrei Sharf, Marc Alexa, Daniel Cohen-Or: “Context-based surface completion”, Int Proc. SIGGRAPH2004, pp.878-887, 2004.