

3D スキャナのための自動テクスチャマッピング手法

持永 彩華 樽井 沙知 石川 千里 高田 雅美 城 和貴
奈良女子大学 大学院人間文化研究科 情報科学専攻

概要

3D スキャナを使用した 3D オブジェクト化の作業には多くのコストを要する。そこで本稿では、3D オブジェクトに対して、テクスチャマッピングを施す位置を自動検出する手法を提案する。テクスチャマッピングを施す位置選択において、テクスチャとして用いる写真内の画像形状が、3D オブジェクトと一致する位置へのマッピングがより最適であると考えられる。本手法では、3D オブジェクトのレンダリング画像と、実物の写真画像とのマスク情報をマッチングすることで、テクスチャマッピングを行う位置を自動的に検出する。マッチング計算に SSDA 法を適用することにより、計算の高速化を図る。評価実験として、貝標本の 3D オブジェクトに自動マッピングを施す。

An automatic texture-mapping method for 3D scanner data

Ayaka Mochinaga, Sachi Tarui, Chisato Ishikawa, Masami Takata, Kazuki Joe
Graduate School of Humanities and Sciences, Nara Women's University

Abstract

Huge cost is required to create 3D objects from 3D scanner data. In this paper, we propose a method of automatic detection of the position where texture-mapping should be applied for the 3D object. For the determination of texture-mapping position, the position where shapes of texture images and 3D objects are almost same should be selected. Our method detects the mapping position automatically with matching the mask of the rendered picture of the 3D object to the photograph picture as a texture image. We also apply the SSDA method for fast matching. To validate the efficiency of our method, experimental automatic mapping is applied to 3D objects of three kind of shellfish specimens.

1 はじめに

近年、コンピュータの性能向上により、大規模演算がより容易に扱えるようになってきている。それに伴い、莫大な計算を必要とする、コンピュータグラフィックス (CG) の利用がさかんになっている。研究機関にとどまらず、個人一般による 3D コンテンツの作製や、博物館などの歴史的資料のデジタルデータ化などにも用いられている。

現在本学においても、本学生物科学科が所有している、絶滅種、絶滅危惧種といった貝の標本の 3D オブジェクト化を行っている。貝を 3D オブジェクト化することによって、損傷を与えることなく、貴重な貝と仮想的に触れ合うことが可能になる。

貝の 3D オブジェクト化には、いくつかの作業が必要である。まず、3D スキャナを用いてデジタル化を行う。次にデータに対してポリゴンの修正を行い、テクスチャマッピングを施す。

これらの作業は多くの時間を要する。1つの貝に対して、デジタル化に 20 分、ポリゴン修正に数時間、

テクスチャマッピングに 2 日という、膨大な時間がかかる。また、時間だけではなく、労力、技術などのコストも必要とされる。そのため、これらの作業を円滑に、単純に行える方法が求められている。本稿では、テクスチャマッピングに着目した。一般には、データの計測を行う位置と、テクスチャとなる写真を撮影する位置は一致しない。撮影位置と計測位置を一致させる方法の 1 つとして、3D レーザースキャナの中でも、内蔵された CCD カメラで写真撮影を行うことができるものを利用することがあげられる。この 3D レーザースキャナを利用すれば、テクスチャマッピングを行う際、3D オブジェクトとテクスチャの位置合わせに頭を悩ませる必要はなくなる。ところが、このような 3D スキャナは大変高価であり、入手が困難である。また、ステレオカメラ移動撮影による 3D オブジェクト生成の研究も行われている [1]。この方法を利用すれば、計測データとテクスチャを同時に取得することが可能である為、テクスチャマッピングにおける位置合わせ処理が不要となる。しかしながら、ステレオカメラを使用してデー

タを計測する為、レーザーによる計測に比べて、高精度を保つことができない。本研究では、貴重な具の標本の代わりとなるような3Dオブジェクトの作製が目的である為、精度を落とすことは好ましくない。そこで、3Dスキャナによりデジタル化された3Dオブジェクトに対して、素人でも簡単に、テクスチャマッピングが行えることを目的として、テクスチャマッピングの自動化手法を提案する。

2 自動位置検出のための手法

3Dオブジェクトに写真をテクスチャマッピングする際のマッピング位置選択において、テクスチャとして用いる写真内の画像の形状が3Dオブジェクトと一致するような位置へのマッピングがより最適であると考えられる。そこで、提案手法では、3Dオブジェクトのレンダリング画像と、実物の写真画像とのマスク情報をマッチングすることによって、テクスチャマッピングを行う角度を自動的に検出する。まずレンダリング画像と写真画像を作製する。作製した画像に対してそれぞれ前処理を行い、SSDA法にてマッチングを行っていく。以下2.1節では作製する画像について述べ、2.2節にてマッチングへの前処理について説明する。2.3節にてSSDA法を適用したマッチング方法について述べる。

2.1 画像の作製

まず、3DCGソフトを利用してレンダリング画像を作製する。3Dスキャナにて3Dオブジェクト化した対象物を取り込み、デジタル化する。取り込んだデータに対してノイズ除去などの前処理を行った後、3DCGソフトで3Dオブジェクトを読み込み、レンダリングを行う。レンダリング画像を作製する目的は、レンダリング画像と実物の写真画像をマッチングさせることにより、写真画像と同じレンダリング画像を検出することにある。そうすることにより、テクスチャマッピングを行いたい写真画像が、3Dオブジェクトに対してどの部位に値するのかを算出する。位置の情報を得る為には、3Dオブジェクトの全ての方向に対してレンダリング画像を用意する必要がある。全方向が網羅された画像を作製するため、3DオブジェクトをXYZ軸の方向に、それぞれ θ ずつ360度回転させてレンダリングを行う。 θ はオブジェクトを回転させる刻み角度である。全画像のレンダリングにかかる時間Tは、 $T = B \times (360/\theta)^\alpha$ で表すことが出来る。 α は回転させた軸の数、Bは一枚あたりのレンダリング時間を表す。

次に、3Dオブジェクト化の対象物をデジタルカメラにて撮影し、写真画像を作製する。曲面が複数存

在する対象物ほど、1回のテクスチャマッピングにより貼ることの出来る写真の面積が小さい。その為、丸みを帯びている対象物に関しては、より多くの写真を用意する。

2.2 前処理

画像に対して、マッチングを行う前に施す処理の流れを図1に示す。

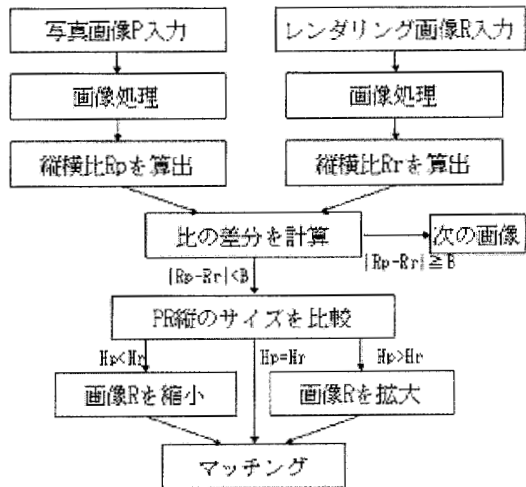


図1: 前処理の流れ

各画像を入力し、2値化、正規化、平滑化などの画像処理を行う。その後、各画像の縦サイズを横サイズで割ることで比率 R_p, R_r を計算して、その差分の絶対値 $|R_p - R_r|$ を出す。 $|R_p - R_r|$ が基準値 B 以上であれば処理を進めず、次の番号のレンダリング画像を読み込む。縦横比による打ち切りで、写真画像とは明らかに違うレンダリング画像はマッチングを行う必要がなくなる為、計算時間を短縮する事ができる。 B よりも小さければ、各画像の縦サイズ H_p, H_r を比較する。 H_p/H_r を倍率として、 H_p の方が大きければ R を拡大し、 H_p の方が小さければ R を縮小することにより、PRのサイズを同一にする。

2.3 SSDA法を適用したマッチング

写真画像とレンダリング画像の残差を求め、残差が最小となるレンダリング画像を基にマッピングの位置を検出する。残差が小さい程、写真とレンダリング画像は一致していると言える。ここで残差の求め方について説明する。写真画像とレンダリング画像において、対応する画素の差分の絶対値を算出す

る。各画素における差分の絶対値の総和を求め、残差 E_a とする。写真画像とレンダリング画像との、それぞれの画素値 $P(i,j)$ と $R(i,j)$ から残差 E_a は $E_a = \sum |P(i,j) - R(i,j)|$ で求められる。a はレンダリング画像の通し番号である。

計算の高速化を図り、本稿ではマッチングに対して SSDA 法 [2] を適用する。SSDA 法とは、Barnea and Silverman により提案された手法である。あらかじめ特定の閾値 L を定めておき、 E_a が L を越えた時点で計算を打ち切ることにより、計算時間を短縮する。本稿では、より計算時間を短縮する為、閾値 L はあらかじめ設定するのではなく、 E_a を基に随時更新していくことにする。L の更新則は以下のようになっている。L の初期値は E_1 とする。 $E_{a+x} < L$ の場合、 $L = E_{a+x}$ とし、L を更新していく。

更なる時間短縮を図るため、マッチングは M 度毎に行う。その中において、 E_a が最も小さい上位 Q 個までを候補値とし、候補値の周り XYZ 軸それぞれ $\pm M$ 度を、再度 1 度刻みでマッチングを行うことにより、最適な画像を選び出す。Q の値が小さいほど計算時間を短縮できるが、その分精度が下がる恐れがある。この原因を、事例を用いて説明する。前後に最適な画像を含む画像 N_1 の残差が E_i 、最適な画像を含まない画像 N_2 の残差が E_j となる時に $Q=1$ と設定したとする。 $E_i < E_j$ であれば、 N_1 が候補値となり、再度のマッチングにて問題なく最適な画像が検出される。 $E_i > E_j$ であれば、 N_2 が候補値となり、最適画像が検出されることはない。Q の値が小さいほど、上記の例のように、最適な画像を前後に持つ画像が候補値として上がらない可能性が高くなる。ゆえに、候補値として、残差の少ない上位 Q 個のデータを残す。候補が保持する E_a のうち、最も大きな値を L に代入する。こうすることにより、 $E_i > E_j$ となる時でも、 N_1 も候補値として残すことができる。精度を高く保持するためには、Q と M の値を適切に設定する必要がある。

3 実験

提案手法に基づいて評価実験を行う。3.1 節にて実験手順について説明し、3.2 節にて実験結果と考察について述べる。

3.1 手順

3 つの貝に対してそれぞれ 3 方向から撮影した写真を用意し、提案手法に基づいてテクスチャマッピングを行う角度を検出する。

レンダリング画像の作製には、Autodesk Maya7[3]を使用する。本稿では、画像サイズを横縦 320×240 、

出力形式を jpg 形式とし、 $\theta=1$ 、 $\alpha=2$ でレンダリングを行う。全方向の画像を用意するためには、XYZ 軸全ての方向に回転させる必要があるため、本来ならば $\alpha=3$ にしなければならない。本稿では多数の画像によるデータ容量を削減するために、XY 軸方向にのみ回転をさせてレンダリングを行い、残りの Z 軸方向については、マッチングをする際にレンダリング画像を回転させることにより代用する。以上の作業とレンダリングの設定は、Maya の GUI を使用せずに全て MEL (Maya Embedded Language) で行う。MEL とは、Maya を操作する為のスクリプト言語である。回転の設定、出力形式、作製する画像名やサイズの他にも、光の加減なども MEL で指定し、自動レンダリングスクリプトとする。Maya でこの自動レンダリングスクリプトを実行することで、3D オブジェクトを読み込み、X 軸方向 Y 軸方向それぞれ全角度におけるレンダリング画像を自動生成する。

2 章で述べたマッチングにより検出されたレンダリング画像の番号と、マッチングでのレンダリング画像の回転角度を基に、マッピングを行う角度を算出する。Maya でテクスチャマッピングする際、マッピング範囲を指定する必要がある。本稿では、レンダリング画像を正規化したものの縦横サイズを定数倍したものを、マッピング範囲として設定する。ここでの定数は、3D オブジェクトとレンダリングする視点との距離を基に算出する。本実験では、これを 3D オブジェクトの中心とレンダリングする視点との距離とみなし、定数を一律 0.58 とする。以上で算出した角度・範囲に対して、テクスチャマッピングを施す。

3.2 結果と考察

$\theta=1$ 、 $\alpha=2$ における、一つの貝に対する全 jpg 画像のレンダリングにかかる容量は約 510MB、時間は $T=$ 約 14 時間となる。マッチングにより算出した位置に基づいて、3D オブジェクトに対してテクスチャマッピングを行ったものを図 2 に示す。左上下はテクスチャとしてマッピングした写真であり、右上下はマッピングを施した 3D オブジェクトである。

上段の画像に関しては、位置は的確だが範囲が微少にずれている。下段の画像は位置、範囲ともに多少ずれていることが見て取れる。ずれは人為的に補正する必要がある。そこで、補正が必要ない場合を S、上段画像のように微少に位置または範囲の補正が必要な場合を A、下段のように多少補正が必要な場合を B、全体的外れた位置や範囲を検出した場合を C として 9 枚の写真に評価を下し、表 1 に示す。

C が一枚もないことから、全ての写真においてマッピングを施す指針を示せていることが分かる。この手法により、マッピングを施すおおよその角度と範

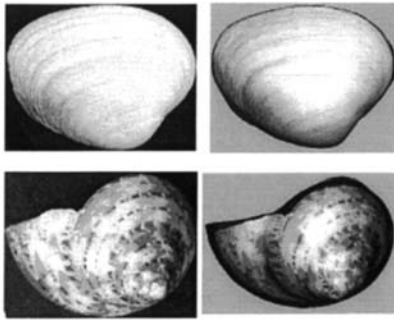


図 2: マッピング結果

写真番号	1	2	3	4	5
種類	アンボイナ	アンボイナ	アンボイナ	リュウテン	リュウテン
評価	A	B	A	A	B
写真番号	6	7	8	9	
種類	リュウテン	ウチムラサキ	ウチムラサキ	ウチムラサキ	
評価	B	B	A	A	

表 1: 評価

囲を示すことができるので、マッピングを行う際の最も面倒な位置合わせを大幅に簡単化することが出来ると考えられる。

次に、マッチングに対して SSDA 法を適用した場合の計算時間と、適用しなかった場合の計算時間を比較する。表 2 はそれぞれの方法の計算時間を表している。SSDA 法を適用することにより計算時間が約 3.8 倍から約 6.2 倍短縮できていることが分かる。

写真番号	1	2	3	4	5
種類	アンボイナ	アンボイナ	アンボイナ	リュウテン	リュウテン
SSDA 適用	0:13:37	0:13:18	0:13:45	0:13:39	0:9:56
SSDA なし	1:03:04	1:07:30	1:02:45	1:02:45	0:46:19
写真番号	6	7	8	9	
種類	リュウテン	ウチムラサキ	ウチムラサキ	ウチムラサキ	
SSDA 適用	0:7:13	0:21:28	0:18:17	0:14:12	
SSDA なし	0:37:50	1:26:46	1:08:12	0:53:45	

表 2: 計算時間 (単位 時:分:秒)

4 おわりに

本稿では、3D スキャナで取り込んだ 3D オブジェクトに対して、テクスチャマッピングを施す位置を自動的に検出する方法を提案した。位置検出におけるマッチングに SSDA 法を適用することで、計算時

間を 5 倍近く短縮することに成功した。評価実験として 9 枚の写真を用いてマッピングを行った結果、全ての写真に対してマッピングを行う際の指針を得ることができ、マッピングの簡単化に成功したといえる。本手法により、オブジェクトの作成作業に必要な時間を大幅に短縮することができるため、3D オブジェクト量産化のコストを削減できると考えられる。今後の課題として、マッピングを行う範囲指定の精度向上が挙げられる。本稿では、マッピング範囲を割り出す為に、レンダリング画像を正規化したものの縦横サイズを定数倍した値を利用している。この時、定数をどのように決定付けるかが重要である。定数は 3D オブジェクトとレンダリングする視点との距離を基に算出できると考えられる。本実験では、これを 3D オブジェクトの中心とレンダリングする視点との距離とみなした結果、マッピング範囲に誤差が生じた。今後は、3D オブジェクトの表面からの距離を一次推定に取り入れるることにより、精度向上を目指す。

参考文献

- [1] 運天弘樹, 増田智仁, 三橋徹, 安藤真: "ステレオカメラ移動撮影による VR モデル自動生成手法の検討", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.12, No.2, pp127-135. 2007
- [2] Barnea, D. I. And Silverman, H. F.: "A Class of Algorithms for Fast Digital Image Registration", IEEE Trans. Comput., Vol.c-21, No.2, pp.179-186(1972).
- [3] Autodesk : <http://www.autodesk.co.jp>