

テクニカルノート

Volumetric Spiral Scan Order による 三次元考古遺物モデルの類似検索

濱田 和真^{1,a)} 立間 淳司^{1,b)} 青野 雅樹^{1,c)}

受付日 2016年12月9日, 採録日 2017年2月5日

概要: 三次元スキャナの性能向上にともない, 様々な研究機関や博物館において, 考古遺物の三次元デジタルデータ化が進められている. 三次元考古遺物モデルの類似検索が可能になれば, 考古遺物間の新たな関係を発見する手助けとなる. 本稿では, 三次元考古遺物モデルの類似検索を目的として, テクスチャ付き三次元モデルの特徴抽出手法 Volumetric Spiral Scan Order (VSSO) 法を提案する. VSSO 法は, ボクセル表現を螺旋状に走査しながら, 隣接するボクセル間の色の距離を計算することで, 局所的な色の分布と差異をとらえた特徴を抽出する. VSSO 法の有効性を確認するため, Virtual Hampson Museum で公開されている三次元考古遺物モデルをもとにベンチマークデータセットを作成し, 従来手法との比較実験を行った. 実験の結果, VSSO 法は, Spherical Harmonics Descriptor や color-CHLAC feature といった従来手法よりも優れた検索性能を示した.

キーワード: 三次元モデル, 考古遺物, 文化遺産, マルチメディア情報検索

3D Artifact Model Retrieval by Volumetric Spiral Scan Order

KAZUMA HAMADA^{1,a)} ATSUSHI TATSUMA^{1,b)} MASAKI AONO^{1,c)}

Received: December 9, 2016, Accepted: February 5, 2017

Abstract: With the increasing performance of 3D acquisition devices, 3D digitization of archaeological artifacts has been promoted in various archaeology institutes and museums. The development of similarity search system for 3D artifact models assists archaeologists to discover a new relationship between artifacts. In this paper, for retrieving 3D artifact models, we propose a new feature extraction method for textured 3D models, called Volumetric Spiral Scan Order (VSSO), which captures local color distribution and color difference of the 3D artifact models by calculating distances between adjacent color voxels while spirally scanning voxel representation. To confirm the effectiveness of the VSSO method, we made the benchmark dataset by taking a proper subset of 3D artifact models provided by the Virtual Hampson Museum, and performed comparative experiments with previous methods. The experimental results demonstrated that the VSSO method outperforms previous methods including Spherical Harmonics Descriptor and color-CHLAC feature.

Keywords: 3D model, archaeological artifact, cultural heritage, multimedia information retrieval

1. はじめに

近年, 考古資料や歴史資料のデジタルデータ化が, 様々な

研究機関で進められている. また, 三次元スキャナの性能向上などにより, 考古遺物を三次元モデルとしてデジタルデータ化することが, 一般的になりつつある [7], [19], [20]. 三次元モデル化することで, 考古遺物を直接的に扱う必要がなくなり, 情報の共有や分析が容易になる. また, 三次元プリンタにより複製することで, 壊れやすい考古遺物の展示が可能となる.

三次元考古遺物モデルを, 形状やテクスチャといった見

¹ 豊橋技術科学大学情報・知能工学系
Department of Computer Science and Engineering,
Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Aichi
441-8580, Japan

a) k-hamada@kde.cs.tut.ac.jp

b) tatsuma@cs.tut.ac.jp

c) aono@tut.jp

た目で比較・検索ができれば、考古遺物の分類や整理が容易になり、新たな知見を得ることにつながる。また、名称やカテゴリなど、考古遺物に付与されるメタデータには、専門的な語彙が使用される。見た目を手がかりとした考古遺物の検索ができれば、非専門家や初学者であっても、目的の考古遺物を発見することができる。

三次元考古遺物モデルの検索の先駆けとなる研究として、Razdan ら [11] の研究がある。Razdan らは、ネイティブアメリカンの陶磁器を三次元モデルに変換し、その断面曲線に関する特徴を抽出することで、三次元考古遺物モデルの検索システムを実現した。また、近年では、Sfikas ら [14] が、陶器の三次元考古遺物モデルから、モデルを円柱状に展開した画像を生成し、画像の特徴抽出手法を応用した類似検索手法を提案した。さらに、Roman-Rangel ら [12] は、三次元点群データを対象として、特徴点を中心とした球座標上での点の分布による特徴抽出手法を提案し、陶器の破片の三次元考古遺物モデルの検索を実現した。

三次元考古遺物モデルの類似検索では、形状のみに焦点を当てたものが多い。これに対して、Biasotti ら [3] は、考古遺物は形状だけでなくテクスチャも重要であるとして、これらを考慮した三次元考古遺物モデルの類似検索手法を提案した。Biasotti らの手法では、三次元考古遺物モデルの外接球の中心と各頂点で定義されるパラメトリック点と各頂点との距離などの幾何学的な特性による形状特徴 [2] と、CIELab 色ヒストグラムなどによる色特徴を組み合わせることで、形状とテクスチャを考慮した検索を実現した。しかし、Biasotti らの実験では、形状をもとにクラス分けされたデータセットが使用されており、テクスチャを考慮した場合での検索性能は明らかではない。このほか、一般物体のテクスチャ付き三次元モデルの類似検索の研究は、三次元モデルの形状類似検索の国際的なコンテストである、SHape REtrieval Contest (SHREC) を中心に進められている [1], [5]。

本稿では、形状とテクスチャを考慮した三次元考古遺物モデルの類似検索を目的として、テクスチャ付き三次元モデルの新しい特徴抽出手法 Volumetric Spiral Scan Order (VSSO) 法を提案する。VSSO は、三次元モデルから生成したボクセル表現を、螺旋状に走査しながら隣接するボクセル間の色の距離を計算することで、局所的な色の分布と差異をとらえる。その後、Virtual Hampson Museum で公開されている三次元考古遺物モデルをもとに、形状とテクスチャでクラス分けしたベンチマークデータセットを作成し、評価実験を行った。実験結果から、VSSO は、従来手法よりも優れた検索性能を得られることを確認した。

2. 提案手法

三次元考古遺物モデルの形状とテクスチャの特徴を表現した特徴ベクトルを得るため、本研究では、画像の類似検

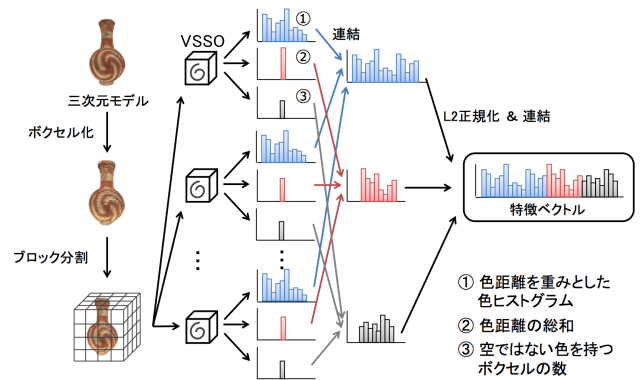


図 1 VSSO 法による特徴抽出の概要

Fig. 1 Feature extraction process of the VSSO method.

索を目的として提案された、色の分布と差異をとらえた特徴抽出手法である Spiral Scan Order 法 [4] を、三次元モデルのボクセル表現を対象に拡張することを考えた。これを、Volumetric Spiral Scan Order (VSSO) 法と呼ぶ。以降では、三次元モデルのテクスチャは、頂点に付与された RGB の色情報で表現されるものとする。

2.1 処理の概要

VSSO 法による特徴抽出の処理の概要を、図 1 に示す。まず、テクスチャ付き三次元モデルの位置と大きさを正規化し、ボクセル表現を生成する。ボクセル表現とは、三次元の格子点 (ボクセル) に値を設定することで、三次元形状を立方体の集合で表現したものである。次に、ボクセル表現を、一定の大きさと間隔で、小領域にブロック分割する。小領域に分割することで、大まかな空間的特徴をとらえる。そして、各小領域で、VSSO 法を用いて、隣接するボクセル間の色の距離を計算する。色の距離を計算する過程で、色の距離の総和・色の距離を重みとする色ヒストグラム・空ボクセルではない色を持つボクセルの数を特徴量として計算する。最後に、各小領域で計算した同種の特徴量どうしを連結して 1 つのベクトルとし、得られたベクトルを L2 正規化する。これら各特徴量によるベクトルを連結したものが、テクスチャ付き三次元モデルの特徴ベクトルとなる。

2.2 三次元モデルの正規化とボクセル表現の生成

本稿では、考古遺物を三次元スキャンし、外れ値を除去するなどして整形された三次元メッシュモデルを対象とする。三次元モデルは、位置・大きさ・回転が、製作者によって任意となる。VSSO 法では、ボクセル化のために、位置と大きさを正規化する必要がある。三次元モデルを、重心が原点となるように平行移動することで位置を正規化し、原点から頂点への最大距離を求め、各頂点座標の値を最大距離で割ることで大きさを正規化する。また、VSSO 法は、三次元モデルの回転変化の影響を受ける。三次元モデ

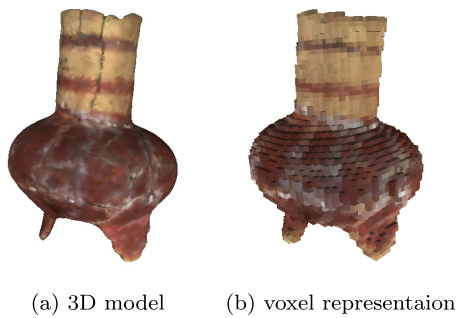


図 2 ボクセル表現の例

Fig. 2 An example of voxel representation.

ルの回転と向きを一意に決定する手法として, Continuous PCA [17] が知られている.

正規化した三次元モデルから, ボクセル表現を生成する. 提案手法では, まず, 三次元モデルの各面上に, Osada らの手法 [9] で点を生成することで, 三次元モデルを点群表現に変換する. そして, 各点の座標値を, ボクセル表現の大きさに合わせて量子化することで, 点群表現をボクセル表現に変換する. ボクセルの値は, 点を持つ RGB 値とした. このとき, 複数の点で量子化した座標値が同値となった場合, 各点の RGB 値の最大値をボクセルの値とする. 図 2 は, 以上の処理により生成したボクセル表現の例である. 提案手法では, $64 \times 64 \times 64$ の大きさでボクセル表現を生成する. 三次元モデルの形状と模様が, ボクセル表現に保存されていることが分かる.

2.3 VSSO 法による特徴抽出

ボクセル表現から, VSSO 法により特徴ベクトルを得る. まず, どのような形状とテクスチャが, どこに位置するかを表す空間的特徴をとらえるため, ボクセル表現を一定の大きさと間隔で分割する. 提案手法では, $64 \times 64 \times 64$ の大きさのボクセル表現を, 各軸方向で 4 等分することで, 64 個の $16 \times 16 \times 16$ の大きさの小領域にブロック分割した.

次に, 各小領域において, ボクセルを螺旋状に走査しながら, 現在走査しているボクセルと次に走査するボクセルとの色の距離を計算する. このとき, 比較対象となるボクセルどうしが, どちらも空ボクセルでない場合にのみ, 色の距離を計算する.

図 3 は, VSSO における螺旋状の走査の順序を示したものである. 分かりやすさのため, 図 3 では, 小領域の大きさを $4 \times 4 \times 4$ としている. 二次元の螺旋状の走査を, 1 ボクセルずつ移動しながら繰り返す. この螺旋状の走査を, x 軸・ y 軸・ z 軸それぞれを移動方向にして行う.

色の距離 d には, RGB 値のユークリッド距離を用いる. 現在走査しているボクセルを $\mathbf{v}_c = [R_c, G_c, B_c]$, 次に走査するボクセルを $\mathbf{v}_n = [R_n, G_n, B_n]$ とすると,

$$d(\mathbf{v}_c, \mathbf{v}_n) = \sqrt{(R_c - R_n)^2 + (G_c - G_n)^2 + (B_c - B_n)^2}$$

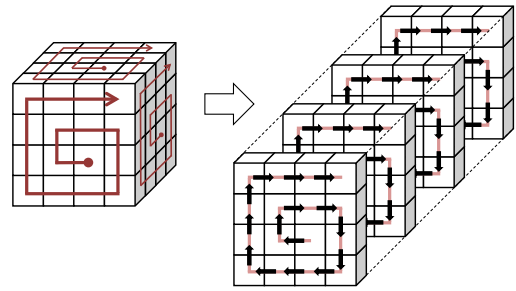


図 3 VSSO 法における走査順序

Fig. 3 Scanning order on the VSSO method.

となる.

各小領域において, VSSO による色の距離を用いて, 色の距離の総和, 色の距離を重みとした色ヒストグラムを特徴量として計算する. このうち, 色ヒストグラムの作成では, 現在走査しているボクセルの色を該当するビンに設定し, 次に走査するボクセルとの色の距離を加算していく. 提案手法では, RGB の各値を 8 段階に量子化して色ヒストグラムを作成した. よって, 色ヒストグラムのビン数は, $8 \times 8 \times 8 = 512$ となる. さらに, 大まかな形状と色の傾向をとらえるために, 各小領域での空ボクセルではない RGB 値を持つボクセルの数も特徴量として計算する.

最後に, 各小領域で計算した同種の特徴量どうしを連結して 1 つのベクトルとし, L2 正規化する. そして, 小領域全体のベクトルを連結することで, 三次元モデルの特徴ベクトルを得る. 特徴ベクトル間の相違度計算には, ユークリッド距離を用いる.

3. 実験

提案手法である VSSO 法の有効性を確認するため, 比較実験を行った.

3.1 実験環境

データセットには, Virtual Hampson Museum (VHM) [10] で公開されている三次元考古遺物モデルを使用する. VHM は, Hampson Archeological Museum State Park に収められている考古遺物の一部を, 三次元レーザスキャナ Konica-Minolta Vivid 9i により, テクスチャ付き三次元モデルにしたものである. VHM のサイトでは, 384 個の三次元モデルが公開されているが, リンク切れによりダウンロードできないものも存在する. VHM の三次元モデルは, 形状により 6 種のクラス (Bottle, Bowl, Jar, Effigy, Lithic, Other) に分類されている. このうち, Effigy に分類されている三次元モデルは, Bottle や Bowl にも分類されているため, 評価尺度の計算において Effigy クラスは考慮しないこととし, 各クラスにおいて, テクスチャをもとに三次元モデルを人手で分類した. 結果として, 302 個の三次元考古遺物モデルが, 形状とテクスチャによる 16 種



図 4 ベンチマークデータセットに含まれる三次元考古遺物の例
Fig. 4 Examples of 3D artifact model in the benchmark dataset.

表 1 ベンチマークデータセットの 16 種のクラス
Table 1 Sixteen classes in the benchmark dataset.

beige bottle	patterned bottle	reddish bottle
darkish bottle	beige bowl	reddish bowl
darkish bowl	beige jar	patterned jar
reddish jar	darkish jar	beige lithics
reddish lithics	darkish lithics	beige other
reddish other		

のクラスに分類されたデータセットを作成した。クラスの一覧を表 1 に、含まれる三次元考古遺物モデルとクラスの一例を図 4 に示す。

評価尺度には、Nearest Neighbor (NN), First Tier (FT), Second Tier (ST), Recall-Precision 曲線を用いた [15]。NN は、P@1 とも呼ばれ、検索結果第 1 位の適合率を表す。FT と ST は、それぞれ、R-Precision, Bull's Eye Performance とも呼ばれ、検索結果上位の適合率を表す。これらの評価尺度は、値が大きくなるほど、より検索性能が優れていると判断できる。さらに、再現率 (Recall) は検索結果の網羅性を、適合率 (Precision) は検索結果の正確性を表す評価尺度であり、Recall を横軸に、Precision を縦軸にとりプロットしたものが、Recall-Precision 曲線である。Recall と Precision は、一般にトレードオフの関係にあり、Recall-Precision 曲線が右上に向かって伸びるほど、より検索性能が優れていると判断できる。

比較のための従来手法には、Spherical Harmonics Descriptor and CIELab Color Histogram (SH-Lab) [5], SHOT descriptor (SHOT) [13], color-CHLAC feature (C-CHLAC) [6] を選択した。さらに、ベースライン手法として、VSSO 法と同様にしてボクセル表現をブロック分割し、各小領域ごとに RGB 色ヒストグラムを計算した手法 (Baseline) とも比較する。RGB 色ヒストグラムには、VSSO 法と同様に、RGB の各値を 8 段階に量子化した 512

表 2 NN, FT, ST による検索性能の比較

Table 2 Performance comparison in terms of NN, FT and ST.

Method	NN	FT	ST
Baseline	0.636	0.418	0.607
SHOT [13]	0.500	0.285	0.449
SH-Lab [5]	0.527	0.402	0.632
C-CHLAC [6]	0.530	0.478	0.660
VSSO	0.676	0.494	0.678

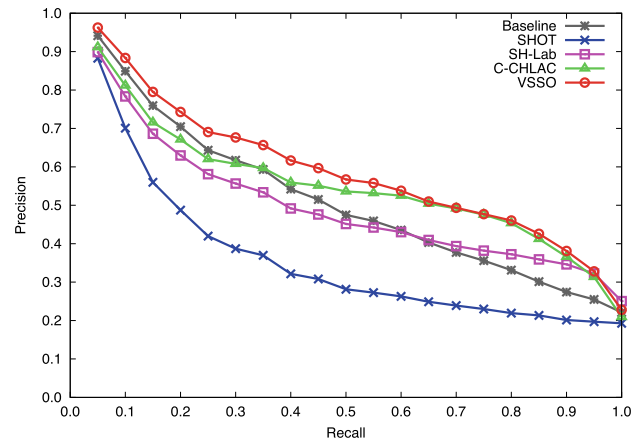


図 5 Recall-Precision 曲線による検索性能の比較

Fig. 5 Performance comparison in terms of Recall-Precision curve.

ピンのヒストグラムを用いた。SH-Lab は、ボクセル表現の球面調和関数変換のスペクトルによる形状特徴量 [8] と、三次元モデルの頂点の色をもとにした CIELab 色ヒストグラムを連結したものである。SH-Lab は、SHREC のテキストチャ付き三次元モデル検索部門で、優れた検索性能を得た [5]。SHOT は、点群表現を対象とした局所特徴量として提案された。実験では、Osada らの方法 [9] により点群表現に変換し、Wohlkinger らの研究 [18] と同様に大域特徴ベクトルとして抽出した。C-CHLAC は、色付きのボクセル表現による局所特徴ベクトルである。実験では、VSSO 法と同様に、ボクセル表現をブロック分割した小領域ごとに C-CHLAC を計算し、それらを連結して 1 つのベクトルとしたものを用いた。VSSO 法および従来手法のパラメータは、事前実験において最も優れた検索性能を得られた値である。また、ここで、VHM に含まれる三次元モデルは、三次元モデル間で回転や向きに大きな変化がなかったため、回転に関する正規化処理は行わなかった。

実験に使用した PC は、OS が Debian GNU/Linux 8, CPU が Intel Core i7-6700K 4.00 GHz, メモリが 32 GB である。実装に用いたプログラミング言語は C++ である。VSSO の特徴抽出時間は、三次元モデル 1 個あたり平均で 156 ミリ秒であった。

3.2 実験結果

表 2 は、各手法の NN, FT, ST のマイクロ平均の値を

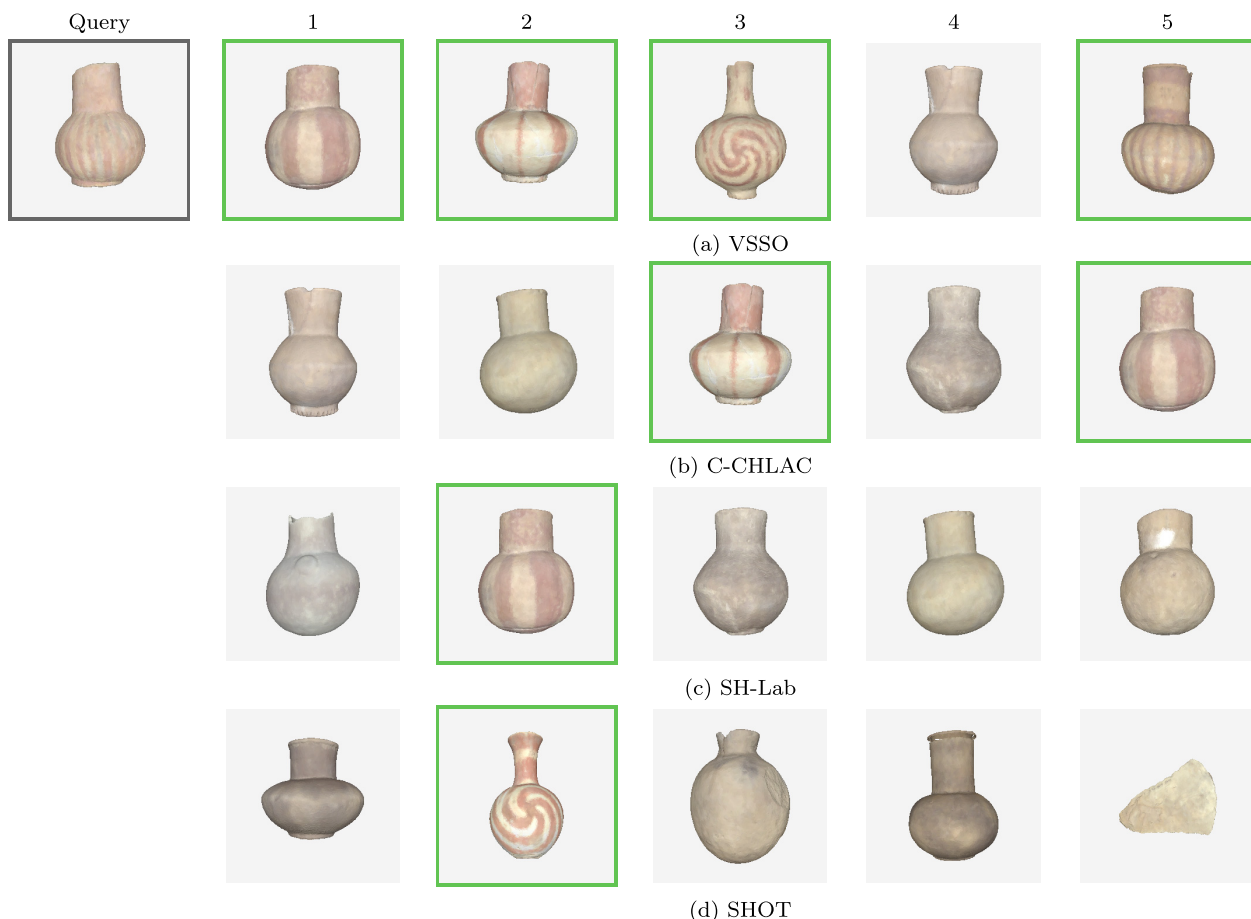


図 6 模様付きボトルモデルの各手法の検索結果
Fig. 6 Retrieval results of each method for a patterned bottle model.

まとめたものである。各評価尺度で、最も大きな値となったものを、太字で表している。すべての評価尺度で、提案手法である VSSO が、最も優れた検索性能を得ていることが分かる。Baseline は、VSSO と同様にボクセル表現を分割した後に、RGB ヒストグラムを計算したものである。VSSO は、Baseline よりも優れた検索性能を得ていることから、ボクセルを螺旋状に走査することで、色の差異をとらえることが有効であると考えられる。また、VSSO は、C-CHLAC などの従来手法よりも、優れた検索性能を得ることができた。VSSO による特徴抽出が、三次元考古遺物モデルの類似検索に適していると考えられる。

図 5 は、各手法の検索性能を、Recall-Precision 曲線で表したものである。VSSO は、多くの Recall と Precision の組合せで、他の手法を上まわっていることが分かる。一方で、従来手法の C-CHLAC も、特に Recall が 0.6 以上で VSSO と同等の検索性能を得ている。VSSO と C-CHLAC どちらも、隣接するボクセル間の色の差異に着目した手法である。三次元考古遺物モデルの類似検索では、色の局所的な分布や差異をとらえた特徴抽出手法が有効であることを示唆している。

図 6 は、Patterned Bottle クラスに属する三次元モデル

を検索質問とした、VSSO と従来手法の検索結果上位 5 位までを示したものである。緑色で囲まれたものは適合モデルを表す。VSSO は、従来手法と比較して、模様付きのボトルを多く検索できていることが分かる。

4. おわりに

本稿では、三次元考古遺物モデルの類似検索を対象とした、テクスチャ付き三次元モデルの新しい特徴抽出手法である Volumetric Spiral Scan Order (VSSO) 法を提案した。VSSO 法は、ボクセル表現を螺旋状に走査しながら、隣接するボクセル間の色の距離を計算し、色の距離の総和や色の距離を重みとする色ヒストグラムを特徴量として抽出する。Virtual Hampson Museum (VHM) で公開されている三次元考古遺物モデルを用いた評価実験で、VSSO 法は、従来手法よりも優れた検索性能を得ることができた。形状とテクスチャを考慮した三次元考古遺物モデルの類似検索では、VSSO 法のように、局所的な色の分布や差異をとらえることが有効であると考えられる。

一方で、ボクセル表現を螺旋状に走査することが、なぜ有効であるかは明らかになっていない。研究の過程で、4 近傍の色の差異を考慮する手法 [16] などを検討したが、螺

螺旋状に走査することで、最も優れた検索性能を得ることができた。螺旋状の走査の意味を定式化できれば、より適切な走査の考案につながる。また、実験で用いたVHMによるベンチマークデータセットは、302個の三次元モデルを16種のクラスに分類した小規模なものであった。多種多様な考古遺物を含み、模様の種類などの詳細な特徴でクラス分けされた、大規模なデータセットを用いて、VSSO法の有効性を確認する必要がある。たとえば、図6に示した検索結果では、VSSO法は、従来手法よりも模様付きボトルを多く検索できているが、検索結果3位と5位を見ると、模様の違いを判別する能力は十分ではない。VSSO法では、ボクセル表現を、各軸方向で4等分することで、小領域にブロック分割したが、詳細な形状とテクスチャの特徴をとらえるためには、より細かく分割することが適していると考えられる。多種多様な考古遺物を含むデータセットを用いた、走査方法やパラメータの検証が今後の課題となる。

謝辞 本研究の一部は、栢森情報科学振興財団、東海産業技術振興財団、およびJSPS科研費26280038、15K15992の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Biasotti, S., Cerri, A., Aono, M., Hamza, A.B., Garro, V., Giachetti, A., Giorgi, D., Godil, A., Li, C., Sanada, C., Spagnuolo, M., Tatsuma, A. and Velasco-Forero, S.: Retrieval and classification methods for textured 3D models: A comparative study, *The Visual Computer*, Vol.32, No.2, pp.217–241 (online), DOI: 10.1007/s00371-015-1146-3 (2016).
- [2] Biasotti, S., Cerri, A., Giorgi, D. and Spagnuolo, M.: PHOG: Photometric and geometric functions for textured shape retrieval, *Computer Graphics Forum*, Vol.32, No.5, pp.13–22 (online), DOI: 10.1111/cgf.12168 (2013).
- [3] Biasotti, S., Cerri, A., Falcidieno, B. and Spagnuolo, M.: 3D Artifacts Similarity Based on the Concurrent Evaluation of Heterogeneous Properties, *Journal on Computing and Cultural Heritage*, Vol.8, No.4, pp.1–19 (online), DOI: 10.1145/2747882 (2015).
- [4] Chan, Y.-K. and Liu, Y.-T.: An Image Retrieval System Based on The Image Feature of Color Differences on Edges in Spiral Scan Order, *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, Vol.17, No.8, pp.1417–1429 (online), DOI: 10.1142/S0218001403002927 (2003).
- [5] Giachetti, A., Farina, F., Fornasa, F., Tatsuma, A., Sanada, C., Aono, M., Biasotti, S., Cerri, A. and Choi, S.: Retrieval of Non-rigid (Textured) Shapes Using Low Quality 3D Models, *Proc. 2015 Eurographics Workshop on 3D Object Retrieval*, pp.137–144 (online), DOI: 10.2312/3dor.20151067 (2015).
- [6] Kanazaki, A., Harada, T. and Kuniyoshi, Y.: Partial matching of real textured 3D objects using color cubic higher-order local auto-correlation features, *The Visual Computer*, Vol.26, No.10, pp.1269–1281 (online), DOI: 10.1007/s00371-010-0521-3 (2010).
- [7] Karasik, A. and Smilansky, U.: 3D scanning technology as a standard archaeological tool for pottery analysis: Practice and theory, *Journal of Archaeological Science*, Vol.35, No.5, pp.1148–1168 (online), DOI: 10.1016/j.jas.2007.08.008 (2008).
- [8] Kazhdan, M., Funkhouser, T. and Rusinkiewicz, S.: Rotation Invariant Spherical Harmonic Representation of 3D Shape Descriptors, *Proc. 2003 Eurographics/ACM SIGGRAPH Symposium on Geometry Processing*, pp.156–164 (2003).
- [9] Osada, R., Funkhouser, T., Chazelle, B. and Dobkin, D.: Shape Distributions, *ACM Transactions on Graphics*, Vol.21, No.4, pp.807–832 (online), DOI: 10.1145/571647.571648 (2002).
- [10] Project, V.H.M.: The Virtual Hampson Museum, Hampson Archeological Museum State Park (online), available from <http://hampson.cast.uark.edu/> (accessed 2016-12-06).
- [11] Razdan, A., Liu, D., Bae, M., Farin, G., Simon, A. and Henderson, M.: Using Geometric Modeling for Archiving and Searching 3D Archaeological Vessels, *Proc. Conference on Imaging Science, Systems and Technology*, pp.451–457 (2001).
- [12] Roman-Rangel, E., Jimenez-Badillo, D. and Marchand-Maillet, S.: Classification and Retrieval of Archaeological Potsherds Using Histograms of Spherical Orientations, *Journal on Computing and Cultural Heritage*, Vol.9, No.3, pp.1–23 (online), DOI: 10.1145/2948069 (2016).
- [13] Salti, S., Tombari, F. and Stefano, L.D.: SHOT: Unique signatures of histograms for surface and texture description, *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.125, pp.251–264 (online), DOI: 10.1016/j.cviu.2014.04.011 (2014).
- [14] Sfikas, K., Pratikakis, I., Koutsoudis, A., Savelonas, M. and Theoharis, T.: Partial matching of 3D cultural heritage objects using panoramic views, *Multimedia Tools and Applications*, Vol.75, No.7, pp.3693–3707 (online), DOI: 10.1007/s11042-014-2069-0 (2016).
- [15] Shilane, P., Min, P., Kazhdan, M. and Funkhouser, T.: The Princeton Shape Benchmark, *Proc. Shape Modeling International 2004*, pp.167–178 (online), DOI: 10.1109/SMI.2004.63 (2004).
- [16] Stehling, R.O., Nascimento, M.A. and Falcão, A.X.: A Compact and Efficient Image Retrieval Approach Based on Border/Interior Pixel Classification, *Proc. 11th International Conference on Information and Knowledge Management*, pp.102–109 (online), DOI: 10.1145/584792.584812 (2002).
- [17] Vranić, D.V., Saupe, D. and Richter, J.: Tools for 3D-object Retrieval: Karhunen-Loeve Transform and Spherical Harmonics, *Proc. IEEE 4th Workshop Multimedia Signal Processing*, pp.293–298 (online), DOI: 10.1109/MMSP.2001.962749 (2001).
- [18] Wohlkinger, W., Aldoma, A., Rusu, R.B. and Vincze, M.: 3DNet: Large-Scale Object Class Recognition from CAD Models, *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.5384–5391 (online), DOI: 10.1109/ICRA.2012.6225116 (2012).
- [19] 山田 修, 高宮洋子: 彫刻文化財における三次元デジタルアーカイブとその活用手法, *じんもんこん 2007 論文集*, pp.333–338 (2007).
- [20] 岡本篤志: 文化財における三次元デジタルアーカイブの作成と活用, *情報処理学会研究報告 2004-CH-063*, Vol.2004, No.78, pp.7–13 (2004).



濱田 和真

平成 27 年鳥羽商船高等専門学校制御情報工学科卒業。平成 29 年豊橋技術科学大学情報・知能工学課程卒業。同年同大学大学院情報・知能工学専攻入学，現在に至る。マルチメディア情報検索等の研究に従事。



立間 淳司

平成 16 年津山工業高等専門学校情報工学科卒業。平成 18 年豊橋技術科学大学情報工学課程卒業。平成 20 年同大学大学院修士課程情報工学専攻修了。同年ヤフー（株）入社。平成 25 年豊橋技術科学大学大学院博士後期課程電子・情報工学専攻修了。博士（工学）。同年より豊橋技術科学大学助教，現在に至る。マルチメディア情報検索，パターン認識等の研究に従事。電子情報通信学会，電気学会，日本データベース学会，ACM 各会員。



青野 雅樹 （正会員）

昭和 56 年東京大学理学部情報科学科卒業。昭和 59 年同大学大学院理学系研究科情報科学専攻修士課程修了。同年日本アイビーエム（株）入社。平成 6 年米国レンセラー工科大学コンピュータサイエンス学科 Ph.D. 課程修了。平成 15 年より豊橋技術科学大学教授，現在に至る。情報検索，データマイニング等の研究に従事。電子情報通信学会，人工知能学会，言語処理学会，日本データベース学会，ACM，IEEE 各会員。

（担当編集委員 北本 朝展）