

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500117

研究課題名(和文) 3次元モデルの部分形状による比較と検索

研究課題名(英文) Part-based comparison and retrieval of 3D models

研究代表者

大淵 竜太郎 (OHBUCHI, Ryutarou)

山梨大学・医学工学総合研究部・教授

研究者番号：80313782

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、3次元(3D)モデルをその部分の形で比較し検索する「3Dモデルの部分検索」の手法の開発である。部分検索は、ある3Dモデルをクエリとし、そのクエリと類似する部分形状をもつ3Dモデル全体を検索する。そのクエリが、どの検索対象の、どの部分に、どの向きで、どのスケールで含まれるか不明のため、解決が難しい。本研究では実用的な3Dモデル部分検索手法の開発には至らなかったが、その実現に必要な要素技術である(1)局所形状特徴、(2)局所形状特徴の比較、(3)局所形状特徴集合対の比較、(4)部分検索クエリの提示、について検討した。さらに、(5)部分検索評価用ベンチマークの作成も行った。

研究成果の概要(英文)：Objective of this research is to develop an algorithm for part-based 3D model retrieval. A part-based 3D model retrieval algorithm returns a whole 3D model whose part(s) resembles to a query. Toward the goal, we have developed necessary component technologies, that are, (1) local shape features, (2) methods to compare local features, (3) methods to compare set of local features, and (4) method to compose and present a part-based query. We also developed a benchmark database for evaluating performance of part-based 3D model retrieval algorithms.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，メディア情報学・データベース

キーワード：マルチメディア検索 3次元CG 機械学習 形状CAD 画像認識

1. 研究開始当初の背景

近年、3D モデルの利用が急速に広がっている。例えば、工業製品やその部品の設計・製造、あるいは機器の故障解析、映画などの映像コンテンツの制作、X線 CT 等で獲得した 3D 画像に基づく病気の診断や治療計画、医薬品の開発における分子の 3D 構造の比較・解析、などである。つい最近、3D TV(ステレオ視の意味での)が普及し始めたが、そのコンテンツ制作のための 3D モデル利用も拡大しそうである。これらの場面で、3D モデルを、その形や、形に付随する意味などに基づいて比較し検索する要求が高まってきた。

3D モデルの検索は、大きく、3D モデルの全体の形で比較する全体検索と、3D モデルの部分形状で比較する部分検索に分類できる。3D モデルをその全体形状で比較・検索する手法は、過去 10 年ほどの研究で一定の成果が得られ、適用分野によっては実用に供することのできる精度と処理速度が得られるようになってきた。

これに対し、近年、部分の形状を検索要求として 3D 形状を検索する技術に対する要求が産業や医療などの分野から高まってきた。部分検索では、以下のような 2 種類の検索がある(図 1 参照。)

- [場合 1] 部分を指定した検索要求モデルと類似する形状を部分として含む(全体) 3D モデルを検索する。
- [場合 2] 全体を指定した検索要求モデルの(特定されていない)一部と類似する形状を部分として含む 3D モデルを検索する。

いずれの部分検索も、全体検索に比べてはるかに困難である。部分検索では、クエリの形状が、データベースの中のどの 3D モデルの、どの部分に(自由度 3)、どの大きさで(自由度 1)、どんな向きで(自由度 3)有るのが分からない(図 2)。また、部分的な隠ぺい、隣接する物体による影響がある。さらに、場合によっては、求める部分が物体の内部に存在する(例えば、自動車エンジンのピストンやクランクシャフト等)場合も考慮する必要がある。場合 1 と場合 2 を比べると、どの部分がクエリになるのか解らないという点で、場合 2 の方がより困難である。

部分検索の実現には、大きく分けて、3D モデルの局所の形状特徴をとらえた局所形状特徴の抽出と、抽出された大量の局所特徴の集合間の効果的かつ効率的な比較、の 2 つが重要である。部分検索では、これら 2 つの処理が大変困難である。まず、この 2 つの処理はいずれも計算集約的である。ある 3D モデルをその部分で比較するためには、1 モデルあたり、最低でも数千個から数万個以上の局所特徴が必要と予想される。3D モデルから十分な記述力を持った局所形状特徴を多数抽出するには、アルゴリズム上の工夫と、

多量のメモリと大きな処理能力を要する。特徴抽出以上に困難と予想されるのが、抽出された特徴の集合間での比較である。上記[場合 2]のような部分検索では、あるモデルのどの部分が別のモデルのどの部分に対応するかが不明で、また、それぞれの部分がどれだけの範囲に対応するのかも不明である。この問題は、工夫無しに解こうとすると、数千個～数万個の局所特徴を要素とする集合のべき集合の間の類似部分集合マッチングの問題に相当し、直ちに計算量の爆発が起こる。したがって、各種の制約、例えば 3D モデル上の局所特徴の配置に関する幾何的あるいは位相的な制約などを用いて計算量を刈り込んだ革新的な比較アルゴリズムを開発する必要がある。また、比較全体を高速化する為には、集合の要素である局所特徴 1 対の類似比較の高速化を、比較精度を落とさずに実現する要求もある。この目的で、例えば、大量(数万個以上)の高次元(数百～数万次元)の局所特徴の距離空間を学習することで、局所特徴の次元を大幅に削減する技術なども重要と想定される。

2 次元画像の物体認識・同定において 3D モデルの部分検索と類似した問題が研究されている。

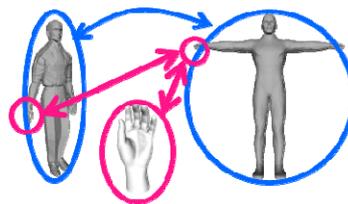


図 1. 全体検索は、クエリ全体と検索対象全体とを比較する(青丸)。部分検索(赤丸)では、[場合 1] クエリを部分形状と考えそれを含む全体を検索する、または、[場合 2] クエリは全体形状を示し、その一部の形状と類似な部分を含む全体を検索する、の 2 種類がある。

例えば、多くの画像の中から、その一部分に求める物体の画像が含まれるものを探し出す検索である。しかし、3D の場合は問題の自由度が 2D 画像より高く、その結果として計算量が高い。また、3D モデルならではの、3 次元の相似変換不変性や、多様な形状表現(多様体メッシュ、ポリゴンスープ、点群、等)に対する不変性、等の要求もある。よって、3D モデルの部分検索では、2 次元画像の場合と異なる新しいアプローチが求められる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、3 次元(3D)モデルをその部分の形で比較し検索する、「3D モデルの部分検索」のための、高精度かつ高速な手法の開発である。これまでの 3D モデルの検索は、モデルの全体の形で比較する全体検索であった。部分検索では、ある 3D モデルを検索要求とし、検索要求モデルと形が類似する部分を含む 3D モデル

全体を検索する、又は、検索要求モデルの一部と類似する形を部分として含む 3D モデルを検索する。3D モデルの部分検索の要求は工業や医療等の分野で高まっている。しかしその研究は始まったばかりで目立った成果が無く、もし成功すれば世界をリードすることができる。

3. 研究の方法

本研究では、主にポリゴンメッシュないしポリゴンスプとして表現された 3D モデルを対象に、それらを 3D モデルの部分の類似性で検索する手法の開発を目指す。その実現には複数のアプローチがあり得るが、我々は、3D モデルの局所の形状をとらえた局所形状特徴を大量に抽出し、これらを効果的かつ効率的に比較する、というアプローチを取る。そのため、本研究では、以下の 5 つのサブゴールを検討した。本研究の開始時には以下の 1~3 の 3 つのサブゴールを提示した。さらに、研究の進展に伴い、以下の 4, 5 の 2 つのサブゴールの必要性を認識し、これらを追加した。

- (1) **局所形状特徴抽出手法の開発**: 比較の精度が高く計算が高速な局所形状特徴の抽出手法を開発する。現在、3D モデルから直接抽出する手法、見かけに基づく手法の拡張、など複数個の候補アルゴリズムがある。3 次元局所特徴は CAD モデル等の内部構造が重要な場合に有効であるが、一般に、2 次元局所特徴に比べて計算量が多い。多数(1 モデルごと数千~数万個)の特徴を抽出する必要があることから、アルゴリズムの工夫とその効率的な実装が重要である。
- (2) **局所特徴対比較の効率化手法の開発**: 類似部分集合マッチングを効率化するためには、局所特徴対ごとの比較処理を高速化する必要がある。まず、これまでの研究で成果を出してきた特徴量分布の多様体学習に基づく特徴量の次元削減を用いた。高次元(数百~数千次元)特徴を、次元削減により、検索性能を落とすことなく数十~数百次元に下げる。ここで、多数(数万個以上)の特徴を学習するためには学習アルゴリズムを根底から改良する必要がある。
- (3) **局所特徴集合対比較手法の開発**: 上記で得られた局所特徴の集合の対で、部分の範囲や位置がはっきりしないまま類似比較を行う必要がある。類似部分集合マッチングを力づくに行っては計算量の壁に阻まれるのは目に見えており、各種の制約や先験的知識、例えば 3D モデル上での局所特徴の配置に関する幾何学的・位相的な制約などを用いて計算を刈り込む必要があると予想される。
- (4) **部分検索クエリ提示手法の開発**: 部分検索を行うにあたって、ユーザが、システムに対し、クエリとなる部分形状を提示する必要がある。その 1 つの方法は、(全体)3D モデルの一部を簡便に、かつ効果的にセグメンテーションし、その一部をクエリとして切り出すことで

ある。3D モデルの幾何形状を解析することで、ユーザが軽量の指示を与えるだけでユーザの目指す部分を切りだせる手法を開発する。また、3D モデルではなく、2D のスケッチ(部分ないし全体)をクエリとして 3D モデルを検索する手法も検討する。

- (5) **評価用ベンチマークデータベース開発**: 部分検索手法の開発には、その性能の客観的・数値的な評価が欠かせない。しかし、3D モデルの部分検索は未踏の分野であり、3D モデル部分検索ベンチマークデータベースが存在しない。そこで、我々自身でベンチマークデータベースを作成する。

次節ではこれらの項目について研究成果を述べる。

4. 研究成果

上記 3 節で述べた 5 つの項目について研究開発を行った。3 年間の研究の結果、現時点ではまだ部分による 3D モデルの検索を行う実用的なアルゴリズムは見いだせていない。しかし、その要素技術である局所特徴や比較の高速化・効率化、部分検索に必須の部分検索クエリ生成法、さらに部分検索アルゴリズム評価のために必要な 3D モデル部分検索ベンチマークデータベース作成等の進展があった。近い将来、何らかの有効な 3D モデル部分検索アルゴリズムを生み出す準備が整ってきたと言える。

(1) 局所形状特徴抽出手法の開発

3D 形状の部分検索に必要な局所形状特徴については、複数種類を提案し、評価した [論文 5, 6, 9, 11]。これらのうち、Local Statistical Feature (LSF) 特徴 [論文 9] と Features on Geodesics (FoG) 特徴 [論文 11] について簡単に述べる。

Local Statistical Feature (LSF) 特徴 [論文 9] は、3D ポリゴンモデルから抽出する 3D 特徴で、本質的に相似変換に対して不変という特徴がある。与えられる 3D モデルがポリゴン表現の場合、面を点群でサンプルしたのち抽出するが、見かけではなく、3D の形状・特徴を抽出する。3D モデル対の全体比較を行うには、まず多数(例えば、数千個)の LSF 特徴を 3D モデルから抽出する。ついでこれら多数の LSF を Bag-of-Features (BoF) 法などにより 3D モデルあたり 1 つの特徴ベクタに統合してから比較を行う。LSF を評価するため、3 次元モデルの全体比較による検索の場合に LSF を適用し、BoF 統合と組み合わせで性能評価を行った。その結果、姿勢変化の多いベンチマークデータベースでは高い精度を示した。

Features on Geodesics (FoG) 特徴は、多様体 3D メッシュ上の多数の点を特徴中心として計算された LSF や等の局所幾何特徴と、これら特徴中心間の、メッシュの面に沿った(多様体上の)距離の統計を組み合わせたものである。LSF

のような局所幾何特徴を BoF 法で統合すると、個々の局所幾何特徴の位置や配置関係など、空間情報が無視される。そこで、特徴間の相対位置を、3D モデルの姿勢変化や帯域変形に不変性をもつ特徴の「座標」あるいは「相対位置」を局所幾何特徴に付加することで、精度向上を狙うのが FoG である。FoG では、注目する特徴中心間から他の特徴中心へのメッシュに沿った距離の分布をヒストグラム化し、これを相対距離特徴とする。ある特徴中心において、その相対距離特徴と局所幾何特徴を接続したものが FoG 特徴である。FoG 特徴の利点は、形状変形を伴う 3D モデルについて既存の特徴よりも高い検索精度を実現した。FoG の応用としては、通常(多様体メッシュで表現された)3D モデルの比較や検索に加え、立体配座(conformation)による形状変形のある分子の形状類似検索等も考えられる。

(2) 局所特徴対比較の効率化手法の開発

局所特徴対を効果的にかつ効率的に比較する手法を目指し、以下の 3 つのアプローチを検討した。進展はあったものの、いまだ十分な速度と精度を持つ手法を見いだせたとはいえない。今後も研究を続けてゆく必要がある。

- ① 多様体学習による次元削減
- ② コンパクトな 2 進符号へのハッシング
- ③ 乱尺分類器による類似度ランキング

以下、それぞれのアプローチの検討内容について簡単に述べる。

多様体学習は、高次元空間における特徴群の分布を学習し、特徴群ののった低次元の多様体を推定したうえで、その多様体の次元へと特徴の次元削減を行う。例えば数万次元の特徴から数百次元の特徴へと次元削減できれば、特徴比較の手間が大幅に低下する。この手法の学習段階における計算コストは、学習に用いる特徴サンプル数 M と特徴の次元数 N によって決まることがある。学習の質を下げずに学習コストを低減するために、我々は、特徴をクラスタリングした結果のクラスタ重心を学習サンプルとして用いることで、特徴サンプル数 M を減らす手法を提案した[論文 12]。

特徴ベクトル間の距離(または類似度)を高速に比較する手法の一つとして近年注目されているのが、実数値要素からなる多次元の特徴ベクトルを、「コンパクトな」2 進ベクトルに写像し、2 進ベクトル間のハミング(Hamming)距離を元の特徴ベクトル間距離の近似値とする手法である。ハミング距離は Exclusive OR と"1"のビット計数により非常に高速に計算できる。我々は、[学会発表 4]に置いて、2D スケッチによる 3 次元モデル検索を例題とし、3 種類の 2 進符号へのハッシング手法の間で、これらの距離の近似精度と計

算効率を比較した。3D モデル全体検索の場合で評価した結果、計算時間は 1/50~1/100 に短縮できるものの、比較した中で最も良いハッシュ法を用いても距離の近似の精度が不十分で、検索精度が低下してしまうことが分かった。

大規模な特徴ベクトル集合に対して、ある検索要求をその類似度で順位付けする方法の 1 つに、多数の分類器、例えば前述の乱尺分類木のアンサンブルを用いる、Randomized Ranking Forest (RRF)法がある。RRF 法の利点の一つは、類似度(距離)計算の計算量が、比較したい特徴の個数に直接の関係はなく、クラス数 N_c と木の数 N_t で決まることである。実験の結果、RRF により、比較仕様とする特徴の数に直接影響されずに高速な類似度ランキングが可能なが分かった。ただ、精度を確保するには数多くの木(例えば 1000 本以上)が必要となり、多くのメモリを使用するのが課題である。

(3) 局所特徴集合対比較手法の開発

本研究課題では、「局所特徴集合対の比較手法」については特に検討を行わなかった。上記(2)の局所特徴対比較の手法と重なる部分も多く、また、「局所特徴集合対の比較」の具体的な内容は部分検索アルゴリズム全体と関わってくる。今後、部分検索アルゴリズムを考案する段に秋で必要に応じて検討を行う予定である。

(4) 部分検索クエリ提示手法の開発

全体検索、部分検索の別なく、3D モデルの検索における重要な課題の 1 つは、どのようにして検索要求を提示するか、である。本研究では 3D モデルの一部を切り取ってクエリとする手法、および部分の形状を人が 2D スケッチとして指示する方法、の 2 つを検討した。

手持ちの 3D モデルの一部を指定し、これをクエリとするためには、簡便に切り取りたい部分を指定して切り出す必要がある。これを支援する為の、3D メッシュモデルを、教師付きで、簡便にセグメンテーションするアルゴリズムを開発した[論文 10]。この手法では、ユーザは、3D モデルの色塗りソフトのようなインタフェースを用い、分割すべき領域(複数)を大まかに指定する。この大まかな指定に基づき、システムは、3D モデルの局所的幾何形状を参照しつつ、「幾何特徴が類似する部分はひとまとめに」「幾何特徴の変化の大きな境界は分割境界に」なるよう、半自動でセグメンテーションを行う。

3D モデルを検索する別法として、クエリに 2D スケッチを用いることが考えられる。2D スケッチを使えば、簡便に、しかも形状を指定したクエリができる。だが、これまでのスケッチをクエリとした 3D モデル検索手法はいずれも検索精度が不十分だった。スケッチには多様な描画スタイルがあること、抽象度が高いこと(「棒人間」等)、など

がその原因である。我々は、[論文 3]に置いて、スケッチと 3D モデルと言う異なる領域にあるデータを Cross-Domain Manifold と言う特徴多様体により関係付ける CDMR 法を提案した。CDMR 法では、特徴の類似性とラベルの類似性の双方を使い、既存の手法に比べて精度の高いスケッチによる 3D モデル検索を実現する。[論文 3]では 3D モデルの全体を描画する「スケッチによる全体検索」であったが、今後、スケッチによる部分検索を検討する予定である。また、我々は、CDMR 法を、スケッチによる 2D 画像の検索にも適用し、ドメインを超えたデータの比較における CDMR 法の有用性を確認した。

(5) 評価用ベンチマークデータベース開発

部分をクエリとする 3D モデル検索アルゴリズムの性能を数値的・客観的に評価するためのベンチマークデータベースを、既存の(全体検索評価用)3D モデルベンチマークデータベースを元に、我々の開発した教師付き 3D メッシュセグメンテーションアルゴリズム[論文 10]を用いて作成した。本 3D モデル部分検索ベンチマークデータベースは現在さらに拡充に努めている。他の研究者がそれぞれのアルゴリズムの評価に利用できるよう、公開を予定している。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 14 件)

- Bo Li, Yijuan Lu, Afzal Godil, Tobias Schreck, Benjamin Bustos, Alfredo Ferreira, Takahiko Furuya, Manuel J. Fonseca, Henry Johan, Takahiro Matsuda, Ryutarou Ohbuchi, Pedro B. Pascoal, Jose M. Saavedra, A comparison of methods for sketch-based 3D shape retrieval, *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)*, Volume 119, February 2014, Pages 57-80, 査読有り, ISSN 1077-3142, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cviu.2013.11.008>
- Takahiko Furuya, Ryutarou Ohbuchi, Visual Saliency Weighting and Cross-Domain Manifold Ranking for Sketch-based Image Retrieval, regular paper, *Proc. MMM 2014*, January, 2014, Dublin, Ireland. (*Springer LNCS* Volume 8325), 2014, pp 37-49, 2014. 査読有り, DOI: 10.1007/978-3-319-04114-8_4
- Takahiko Furuya, Ryutarou Ohbuchi, Ranking on Cross-Domain Manifold for Sketch-based 3D Model Retrieval, regular paper, *Proc. CyberWorlds 2013*, pp. 274-281, Oct. 21-23, 2013, Tokyo, Japan. 査読有り, DOI:10.1109/CW.2013.60
- Yukinori Kurita, Ryutarou Ohbuchi, View-Clustering and Manifold Learning for Sketch-based 3D Model Retrieval, short paper, *Proc. CyberWorlds 2013*, pp. 282-285, Oct. 21-23, 2013, Tokyo, Japan. 査読有り, DOI: 10.1109/CW.2013.70
- 古屋貴彦, 大淵童太郎, 見かけ特徴の組み合わせと距離尺度の学習を用いた 3 次元形状類似検索, 画像電子学会誌, 第 42 巻, 4 号, pp.438-447, 2013 年 8 月. 査読有り, http://www.iieej.org/gakkaishi3/IIEEJ_Vol42-No4ori.pdf (2012-2013 年度 画像電子学会最優秀論文賞を受賞)
- Yuya Ohishi, Ryutarou Ohbuchi, DENSELY SAMPLED LOCAL VISUAL FEATURES ON 3D MESH FOR RETRIEVAL, short paper, *Proc. WIAMIS 2013*, pp.1-4, July 3-5, 2013, Paris, France. 査読有り, DOI: 10.1109/WIAMIS.2013.6616166
- Ryutarou Ohbuchi, Yukinori Kurita, Local Geometry Adaptive Manifold Re-Ranking for Shape-Based 3D Object Retrieval, *Proc. ACM Multimedia 2012 (ACM MM 2012)*, short paper, pp. 901-904, Oct. 29-Nov. 2, 2012, Nara, Japan. 査読有り, DOI: 10.1145/2393347.2396342
- Zhouhui Lian, Afzal Godil, Benjamin Bustos, Mohamed Daoudi, Jeroen Hermans, Shun Kawamura, Yukinori Kurita, Guillaume Lavoué, Hien Van Nguyen, Ryutarou Ohbuchi, Yuki Ohkita, Yuya Ohishi, Fatih Porikli, Martin Reuter, Ivan Sipiran, Dirk Smeets, Paul Suetens, Hedi Tabia, Dirk Vandermeulen, A comparison of methods for non-rigid 3D shape retrieval, *Pattern Recognition*, Volume 46, Issue 1, Elsevier, January, 2013, 査読有り, DOI:10.1016/j.patcog.2012.07.014.
- Yuki Ohkita, Yuya Ohishi, Takahiko Furuya, Ryutarou Ohbuchi, Non-rigid 3D Model Retrieval Using Set of Local Statistical Features, *Proc. IEEE ICME 2012 Workshop on Hot Topics in 3D Multimedia (Hot3D)*, July 9, 2012, Melbourne Australia, 査読有り, DOI:10.1109/ICMEW.2012.109
- Keisuke Banba, Ryutarou Ohbuchi, Supervised, geometry-aware segmentation of 3D mesh models, *Proc. IEEE ICME 2012 Workshop on Human-Focused Communications in the 3D Continuum*, July 9, 2012, Melbourne Australia. 査読有り, DOI: 10.1109/ICMEW.2012.16
- Shun Kawamura, Kazuya Usui, Takahiko Furuya and Ryutarou Ohbuchi, Local Geometrical Feature with Positional Context for Shape-based 3D Model Retrieval, poster paper, *Proc. Eurographics 2012 Workshop on 3D Object Retrieval*, pp.55-58, 査読有り, 2012. DOI:10.2312/3DOR/3DOR12/055-058
- Megumi Endoh, Tomohiro Yanagimachi, Ryutarou Ohbuchi, Efficient manifold learning for 3D model retrieval by using clustering-based training sample reduction,

- poster paper, *Proc. IEEE Int'l Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing 2012 (IEEE ICASSP 2012)*, Kyoto, Japan, March 2012 (2012). 査読有り,
DOI: 10.1109/ICASSP.2012.6288385)
13. B. Li, A. Godil, M. Aono, X. Bai, T. Furuya, L. Li, R. López-Sastre, H. Johan, R. Ohbuchi, C. Redondo-Cabrera, A. Tatsuma, T. Yanagimachi, S. Zhang, SHREC'12 Track: Generic 3D Shape Retrieval, *Proc. Eurographics Workshop on 3D Object Retrieval*, May, 2012. 査読無し,
DOI: 10.2312/3DOR/3DOR12/119-126
 14. B. Li, A. Godil, T. Schreck, M. Alexa, T. Boubekeur, B. Bustos, J. Chen, M. Eitz, T. Furuya, K. Hildebrand, S. Huang, H. Johan, A. Kuijper, R. Ohbuchi, R. Richter, J. M. Saavedra, M. Sherer, T. Yanagimachi, G. J. Yoon, S. M. Yoon, SHREC'12 Track: Sketch-Based 3D Shape Retrieval, *Proc. Eurographics Workshop on 3D Object Retrieval*, May, 2012. 査読無し,
DOI: 10.2312/3DOR/3DOR12/109-118

[学会発表](計 6 件)

1. 古屋 貴彦, 松田 隆広, 栗田 侑希紀, 大瀧 竜太郎, 多視点画像特徴の多様体を用いたスケッチによる 3D モデルの検索, NICOGRAPH 2013, 2013 年 11 月 8~9 日. 査読有り. (**NICOGRAPH 2013 優秀論文賞受賞**)
2. 古屋 貴彦, 大瀧 竜太郎, クロスドメイン多様体ランキングを用いたスケッチによる 3D モデルの検索, *Proc. Visual Computing グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2013*, 2013 年 6 月 22 日~23 日. 査読有り. (**情報処理学会・グラフィクスと CAD 研究会優秀研究発表賞受賞**)
3. Hamid Laga, Ryutarou Ohbuchi, 3D Shape Analysis and Retrieval - Recent Advances and Trends, *Invited tutorial, 21st International Conference on Pattern Recognition (ICPR) 2012, Tutorial AM-04*, Tsukuba, Japan, Nov. 11-15, 2012.
4. 田中竜仁, 柳町知宏, 黄 松華, 陳サイホウ, 大瀧竜太郎, スケッチを入力とした 3 次元モデル検索の高速化, セッション S6-3, 2012 年度画像電子学会第 40 回年次大会, 2012 年 6 月 23-24 日. 査読無し.
5. 後藤 啓太, 古屋 貴彦, 大瀧 竜太郎, 内部構造を考慮した 3 次元形状モデルの検索, *IPSJ SIG Notes 2011-CG-145(3)*, 1-8, 情報処理学会, 2011-11-10. 査読無し.
6. 栗田 侑希紀, 大瀧 竜太郎, 近傍の距離に注目した多様体ランキング法の改良とその 3 次元モデル検索への応用, *IPSJ SIG Notes. CVIM 2011-CVIM-179(4)*, 1-7, 情報処理学会, 2011-11-10. 査読無し.

6. 研究組織

(1) 研究代表者
大瀧 竜太郎 (OHBUCHI, Ryutarou)
山梨大学・医学工学総合研究部・教授
研究者番号:80313782