

三次元コンテンツに対する高性能な形状類似検索・部分検索の研究開発 (112306001)

Research and Development on Efficient Similarity Shape Search for
Global and Local Three-Dimensional Digital Content

研究代表者

青野 雅樹 豊橋技術科学大学
Masaki Aono Toyohashi University of Technology

研究分担者

座光寺 勇[†] 郷 秀明[†]
Isamu Zakouji[†] Hideaki Go[†]
[†]株式会社ファルコン
FALCON Corporation

研究期間 平成 23 年度～平成 24 年度

概要

我々が独自に開発し、特許を保有する「多重フーリエスペクトル特徴量」(略称 MFSD) の検索性能を向上すると同時に、新特徴量開発、特徴量のインデックス圧縮、検索クエリ面での使いやすさ向上を行った。主眼は、世界最高性能の検索性能をもたらすための 3D 検索技術の研究開発である。結果として、複数の新特徴量の開発、特に新規 3D ボクセル特徴量の開発と特許出願、特徴量の次元削減による圧縮の達成、「穴」や「突起」などの局所部分形状に着目した検索手法開発、ならびに検索クエリで 3D クエリから 3D を検索するだけでなく、2D の写真等から 3D の検索できる新規技術開発と検索インタフェースの開発を行い、3D 形状検索の国際コンペで 2013 年に世界第一位の検索精度を達成した。

1. まえがき

研究代表者が開発し特許技術を有する三次元形状の「多重フーリエスペクトル特徴量」(MFSD 特徴量)は事前学習が不要な三次元形状の検索手法として、高い検索性能を有する。しかし、特徴量次元の肥大化、「穴」「突起」などの局所部分形状を指定した検索に弱いこと、また 3D 検索のために 3D のクエリを入力で与えないといけないという問題等があった。本研究開発では、これらの問題に焦点をあて、実用的にも優れた世界最高性能の三次元形状類似検索技術を目指し、研究開発を行った。

2. 研究開発内容及び成果

本研究開発では、以下の 3 点に具体的な目標を定め、研究開発を行った。

- 三次元コンテンツ検索に最適な新特徴量と次元削減手法の開発の開発。
- 三次元デジタルコンテンツから、意味のある部品に分割し、部品単位で三次元形状の類似検索(部分検索)を行うための三次元形状の局所特徴量の開発。
- Web アプリケーションでのサービス化に関して、「Web アプリケーション(サービス)での検索インタフェースの多様化」。具体的には、実用化で欠かせないと考えられる 3D を与えて 3D を検索ではなく、2D の写真やスケッチを与えて 3D を検索できる挑戦的な「二次元画像からの三次元形状の類似検索インタフェース」の試験的な実装。

2. 1 三次元コンテンツ検索に最適な新特徴量と次元削減手法の開発

最初の目標に関しては、(1) ボクセル空間重複分解スペクトル記述子 (DVD) の開発、(2) Depth-buffer Bag of Visual word (DBoV) の開発、(3) 局所計量保存射影 (LMPP) による次元削減法の開発を行った。(1) に関しては、特許出願と論文誌での出版を行うことができた。(2) と (3) に関しては、国内会議で発表し、論文誌への投稿を準備中である。以下では、(1) に関して述べる。

新しい三次元形状を捉える特徴量として、ボクセル空間重複分解スペクトル記述子 (Dense Voxel Spectrum Descriptor (略称 DVD 特徴量)を開発した。この DVD 特徴量と奥行特徴量 (Depth Buffer (DB) 特徴量) の 2 つを組み合わせた DVD+DB 特徴量が新提案である。MFSD 複合特徴量にもボクセル特徴量を有していたが、それと DVD との大きな違いは、以下の点である。

三次元物体が与えられたとき、MFSD に含まれるボクセル特徴量では、姿勢正規化の後、 $N \times N \times N$ で定義したボクセル空間に、三次元物体を構成する個々のポリゴンを埋め込み、全体で 1

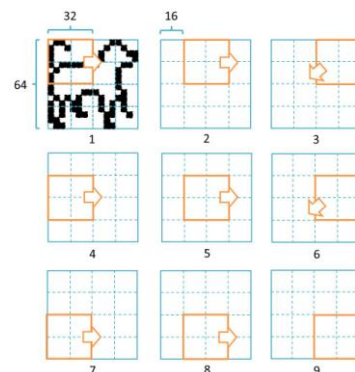


図1 ボクセル空間を「ブロック」で重複分解 (2D 的にイラスト)

回、三次元フーリエ変換を行い、そのスペクトルで特徴量を定義していた。これに対し、DVD では、図 1 に示すように、ボクセル空間にボクセルサイズより少し大きい「ブロック」を定義し、ブロックをボクセル空間内で重複してスキャンしながら、ブロックごとに 3 次元フーリエ変換を適用し、それぞれのブロックからのスペクトルを並べたものを計算した。その後、主成分分析で次元圧縮したものを最終的な特徴量とした。結果として、検索インデックスのサイズは、奥行き特徴量(DB)を加えても、全体として MFSD の 8 割程度で済み、しかも、平均検索性能で MFSD を上回ることができた。DVD+DB 手法は、論文誌出版だけでなく、特許出願を果たした (出願番号: 特願 2012-275452)。

2. 2 「穴」「凹凸」等の部分形状特徴量手法

MFSD、ならびに新規に開発した DVD+DB 手法では、一般的な形状に強い、形状特徴量を用いた。しかし、実用的には、たとえば製造業での CAD 応用を考えると、部分形状である「穴」や微細な「凹凸」形状を捉えられるかどうか重要な場面がある。このような場面に対応するため、「穴」・「凹凸」・「輪郭」・「直線」・「円弧」等の形状抽出を積極的に行う特徴量を考案した。これは図 2 に示すようである。この特徴量を使うことで、機械部品からなる ESB ベンチマークにて、MFSD を上回る検索性能を達成した。これは従来手法が「穴」や「凹凸」のような局所的な部分形状を捉えるのが困難であったのに対して、提案手法では、局所特徴量をうまく捉えることができたことと解釈できる。この結果は 2013 年 10 月末の国際会議で発表予定である。

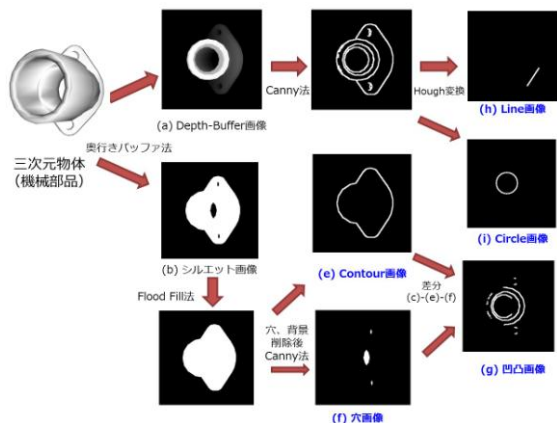


図 2 機械部品に向けた局所特徴量

2. 3 Web アプリケーション化

上述のような新特徴量を有する三次元検索エンジンをもとに、三次元コンテンツの検索 Web アプリケーションシステムを構築することは重要である。3D のコンテンツから 3D の類似形状を検索する場合の高性能化は達成できたが、ユーザに 3D のコンテンツをクエリとして準備させることは敷居が高い。そこで、3D ではなく、2D の写真やスケッチを与えて、そこに撮影されている(描画されている) 3D コンテンツを検索できると非常に有用である。2D の写真から 3D を検索するための技術は世界的にも前例がほとんどない難しい(曖昧性が潜在的にある)問題であったが、これに関しても国際会議(論文[2])で発表することができた。図 3 は、共同研究者のファルコン(株)により作成した Web アプリケーションで、2D の写真から 3D データを検索する様子を示す。



図 3 写真から 3D を検索する Web アプリケーション

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

「三次元コンテンツに対する高性能な形状類似検索・部分検索の研究開発」に関して、最終年度に(2013年3月)に参加した国際 3D 検索コンテストの参加部門で世界一の検索精度を達成できた。また、地域の製造業や電機メーカーから部品管理に、我々の 3D 検索技術を利用したい、との相談を受け、そのうち電機メーカーに関しては、共同研究契約を終えたところである。

長期ビジョンとして、3D 形状類似検索は Google もまだ技術をもっておらず、世界的にも我々がリードしていると自負しており、新技術を継続的に研究開発し、特許を戦略的に取得することを考えている。一方、中国に代表されるアジア諸国も 3D 検索技術に注目しはじめているので、日本の優位性をキープし、この分野で社会経済への波及効果を含め、リーダー的位置をキープしていくことが重要あると考えている。

今後、マイクロソフトの KINECT に代表される安価なセンサやスマートフォンでのタブレット入力などを組み合わせた入力装置から簡便に 3D データを検索し、操作できる仕組みの研究に取り組む予定である。

4. むすび

大域的ならびに局所的な特徴量をもとに、全体あるいは部分に着目した三次元の高性能な検索技術を開発することができた。当該 SCOPE プロジェクトで研究開発できた技術をもとに、ユニークでかつ実用的なシステム開発を今後も目指す予定である。

【誌上发表リスト】

- [1] 立間 淳司, 青野 雅樹, ボクセル空間の重複分解により空間的特徴を捉えた特徴量を用いた三次元物体の形状類似検索, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J95-D, No.12, pp.2090-2101, (2012年12月号)
- [2] Masaki Aono and Hiroki Iwabuchi, "3D Shape Retrieval from a 2D image as Query", Signal & Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA 2012), ISBN: 978-1-4673-4863-8, Los Angeles, pp.1-10, (2012年12月6日)
- [2] 立間 淳司, 青野 雅樹, 多視点画像の局所的な特徴の相関に基づく三次元物体の形状類似検索, 知能と情報(日本知能情報ファジィ学会誌), Vol.25, No.1, pp.556-567, (2013年2月号)

【申請特許リスト】

- [1] 青野雅樹・立間淳司、ハッシュ関数の変換行列を定める方法、該ハッシュ関数を利用するハッシュ型近傍最近傍探索方法、その装置及びそのコンピュータプログラム、PCT 加盟国、(PCT 出願日)、PCT/JP2011/078702, H23.12.12
- [2] 青野雅樹, 立間淳司、三次元物体モデルを検索するための方法、コンピュータプログラム及びシステム、及び、三次元物体を分類するための方法、コンピュータプログラム及びシステム、日本、特願 2012-275452, 出願日: 2012.12.18、

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

- <http://mfsd.fal.co.jp/> (MFSD での検索実例サイト)
<http://mfsd.fal.co.jp/2d3d/> (2D->3D検索サイト)
<http://www.kde.cs.tut.ac.jp/benchmark/tsb/> (Toyohashi Shape Benchmark)