

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26280038

研究課題名(和文) 意味属性と2D入力を含む多様なクエリ下での高精度な三次元物体検索の研究

研究課題名(英文) Research on High Performance 3D Shape Retrieval under Diversified Queries including 2D Inputs and Semantic Attributes such as Holes and Concavities

研究代表者

青野 雅樹 (AONO, MASAKI)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00372540

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,400,000円

研究成果の概要(和文)：三次元物体に対する形状類似検索手法として、事前に訓練の必要のない学習手法(教師無し学習手法)において、多重解像度ローカルバイナリパターン法(MRLBP法)を開発し世界最高性能を達成した。また、この手法で特許を出願した。また、通常、三次元物体を検索するためにクエリとなる別の三次元物体を入力する必要があるが、これはユーザに負担が大きいため2Dのスケッチ入力からの三次元物体の検索新手法としてOPHOG法を開発し、SHREC2014国際コンテストの2Dスケッチからの3D検索トラックで世界第一位の検索精度を達成した。三次元物体の部分検索手法に関しても特許出願を果たした。

研究成果の概要(英文)：We have developed high performance 3D shape retrieval called MRLBP, which stands for Multi-Resolution Local Binary Pattern. MRLBP has brought us, to our knowledge, the best search performance which can run without prior training. We have submitted a patent on MRLBP. 3D shape retrieval usually requires an arbitrary 3D shape as the query, but this is sometimes very burdensome. To cope with this problem, we have developed a novel method for 3D shape retrieval from an arbitrary 2D sketch, which we call OPHOG (Overlapped Pyramidal Histogram of Oriented Gradients). With OPHOG, we achieved world number 1 record for SHREC2014 international contest. For partial 3D shape retrieval, we have developed a new method based on 3D point clouds with a new feature vector, which we submitted another patent.

研究分野：マルチメディア検索

キーワード：情報検索 機械学習 3D 特徴量

### 1. 研究開始当初の背景

代表者が H 20~H22 年度までの科研基盤研究 (C) で取り上げた多重フーリエスペクトル (MFSD) 特徴量研究開発・特許出願を行ってきた。しかし、機械部品群など、そもそも類似する 3D 形状データ群 (例: パデュー大学の Engineering Shape Benchmark (ESB)) では、「見た目」の特徴量だけでは高精度が出ないことが問題であった。

また、3D 検索に対するクエリに関して、2012 年以降、2D のスケッチから、スケッチに描かれている 3D 形状を検索するタスクが 3D 類似形状検索の国際コンテスト SHREC で始まっているが、2D スケッチ検索では、検索精度が P@1 (検索結果の第一位の精度) で 20% すら達しないという背景があった。

さらに、3D CAD を扱う企業では、「部分検索」が求められているが、実用的に使える部分検索手法がほとんどない、という背景があった。

### 2. 研究の目的

(1) 「穴」「凹凸」の位置などの意味属性を与える 3D 形状類似検索はほとんど未開拓領域であり、詳細の違いを吸収できる高精度な検索性能をもたらす特徴量を開発することが主たる研究目的である。

(2) 2次元のスケッチから、3D 形状を検索できる実用に近い高精度の検索手法の開拓を研究目的に含む。

(3) さらに、複雑な形状の一部 (「部分」) を捉えられる部分検索技術の開発も研究目的に含む。

### 3. 研究の方法

(1) 従来提案してきた (教師無し学習法における) 3D 形状類似検索手法として、「穴」「凹凸」の位置などの意味属性も考慮できる最高性能を追求すべく、多重解像度表現での Local Binary Pattern 特徴量 (MRLBP: Multi-Resolution Local Binary Pattern) を提案した。MRLBP では、3D モデルを二次元画像である深度バッファ画像にした後、スケールの異なるガウスフィルタを施して多重解像度表現を生成し、ヒストグラムを計算することで 3D モデルの特徴を捉えるものである。

具体的には、以下のようにして特徴量を構築する。まず、図 1 に示すように、3D モデルを単位球で正規化したあと、球に内接する正多面体 (各面は三角形) の各面の重心から球の中心方向に投影面を置いた多視点レンダリングを実行し、2次元投影面に射影して得られる深度バッファ画像 (多面体の面の数だけ生成される) を求める。これは、視点から

3D モデルの表面までの距離をグレースケール (256 輝度レベル) で表現した画像であり、形状の凹凸を捉えることができる。しかし、3D モデルは、類似した形状であっても、頂点や面の構成により詳細度が異なるという問題がある。単一解像度の深度バッファ画像では十分に形状的特徴を捉えられない場合があるため、解像度の異なるガウスフィルタにより、「ぼかし」が加えられた深度バッファ画像を用いた多重解像度表現を用いることで形状的特徴を捉える手法を考案した。(図 2 では 5 段階の多重解像度表現)

ヒストグラムは 64 ビンとし、深度バッファごとに画面を 4 分割したため、一枚あたりの特徴量は  $64 \times 4 = 256$  次元である。

全体としては、5 レベルの多重解像度で行い、5 つのヒストグラムを Max Pooling (各ビンの最大値) で融合した。

提案手法である MRLBP 法の有効性を確認するために、従来手法との比較実験を行った。

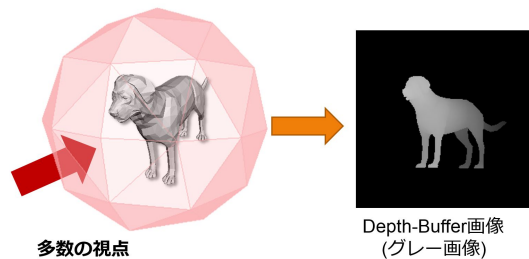


図 1 3D モデルの多視点レンダリング

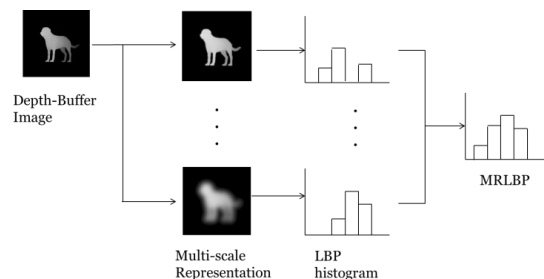


図 2 MRLBP 特徴量の計算プロセス

実験では、3D モデルのベンチマークとしてよく用いられる PSB (Princeton Shape Benchmark) と「穴」「凹凸」を含む機械部品だけからなる ESB (Engineering Shape Benchmark) を用いた。比較したのは、D2 特徴量, SHD 特徴量 (以上 Princeton 大学), LFD 特徴量 (国立台湾大学), LBP 特徴量, DESIRE 特徴量 (ドイツ Konstanz 大学), HSRD 特徴量 (我々の先行研究で提案した特徴量) と比較した。結果は図 3 と図 4 に示すとおりで、いずれも、提案の MRLBP 特徴量が検索での最高性能を呈した。

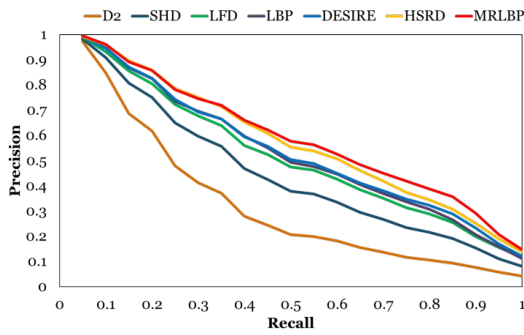


図3 PSBでの再現率・適合率曲線

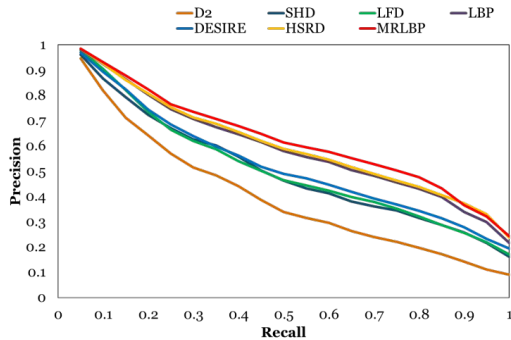


図4 ESBでの再現率・適合率曲線

(2) 2Dのスケッチからの高精度な3D形状の検索に関しては、SHREC2014国際コンテストに向けて、OPHOG(Overlapped Pyramidal Histogram of Oriented Gradients)を開発した。

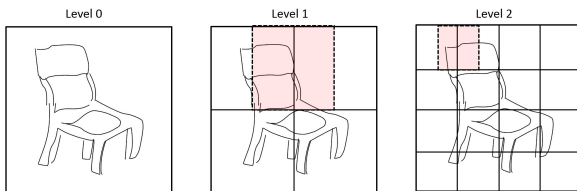


図5 OPHOG法の概要 (Level 2まで)

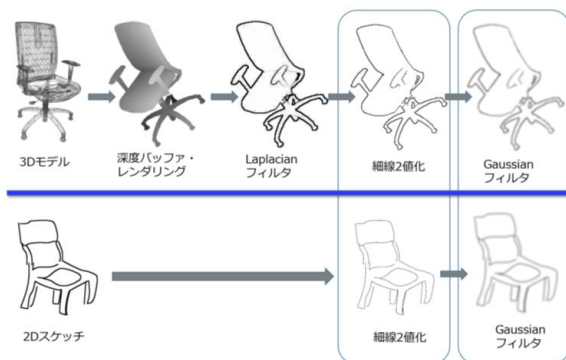


図6 3D前処理とスケッチからの特徴量抽出

OPHOGの概念図はレベル付きの図5に示すように、スケッチ画像をピラミッド型に再帰的に縦横サイズを1/2に分割しHOG特徴量を計算する。ただしその際、分割された矩形領域を完全に分離せず、点線で囲った矩形で例示するように、左右上下にオーララップした位

置においてもHOG特徴量を計算する。これにより、局所的な特徴が滑らかに変化することが保証される。

一方、OPHOG特徴量は3D側のモデルと2Dからのスケッチの両方で計算する必要がある。このため、図6に示すような前処理を3D側と、スケッチが入力されてからの2D側でそれぞれ行う。3D側では、3Dモデルを複数の視点から深度バッファ画像レンダリングを行う。具体的には、3Dモデルを姿勢正規化し、102面の三角形で近似した測地線球で囲み、各三角形の頂点と球の中心を結ぶ方向に投影し、深度バッファ法でレンダリングを行い256x256解像度の深度バッファ画像を得る。得られた投影図にLaplacianフィルタをかけ、エッジを抽出する。これは一般に多値で同時にノイズが多いため、細線化して大津アルゴリズムで2値化する。得られた2値化画像にGaussianフィルタをかけて平滑化する。OPHOG特徴量は、最終的に得られたGaussianフィルタを適用した画像に対して行う。

(3) 可視部分に着目した部分形状検索手法で、高精度に実行可能な技術を考案した。工夫した点は、

3Dモデルから(3D点群生成を経由して)の「多視点レンダリングを利用した部分形状」の抽出法

「法線ベクトルを3つの直交する平面に射影したデータから得られるヒストグラムを用いた独自の部分形状特徴量」の定義・抽出法(図7)

「相違度計算で上位K位までの重みつき順位で与える検索およびランキング」手法である。

このうちに関しては、図1でも述べた多視点レンダリングを用いるが、大前提として3DモデルはKINECTのような3Dセンサーから不完全な形で入力されるとし、点群として与えられるという前提をおく。部分形状の抽出は、図1に示す測地線球面上の各視点からレンダリングにより生成した2次元画像と、点群へ変換した3次元物体を用いて、平行投影に基づいて行う。

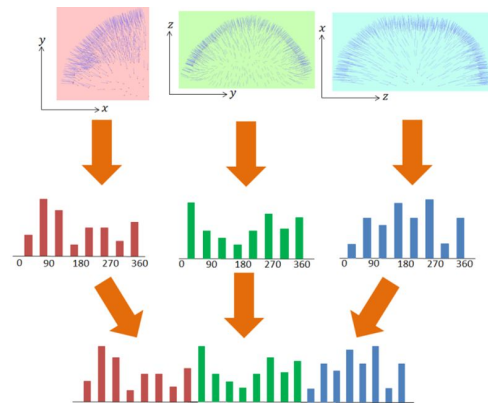


図7 法線ベクトル特徴量  
法線ベクトル特徴量(処理)は、図7のよ

うに、3 平面に投影して抽出した。相違度計算(処理)は、特徴量が多視点から得られているため、複数の特徴量の候補間で行い、上位 K 個まで(例 K=64)対象とすることで高精度化を目指した。

実証実験は SHREC2015, SHREC2016 国際コンテスト(KINECT から獲得された不完全物体)のデータを用いて行った。結果として、従来法よりも高精度な部分検索手法の開発が出来た。

#### 4. 研究成果

- (1) MRLBP 特徴量での 3D 形状類似検索手法は、我々が知る限り、事前に訓練の必要のない学習手法において、世界最高性能を達成した。また、この手法で特許を出願した。
- (2) OPHOG 法は SHREC2014 国際コンテストの 2D スケッチからの 3D 検索トラックで世界第一位の検索精度を達成した。
- (3) 3D の部分検索手法の特許出願(出願リスト)を果たした。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 8 件)

Md Zia Ullah and Masaki Aono, **A Bipartite Graph-based Ranking Approach to Query Subtopics Diversification Focused on Word Embedding Features**, *IEICE Transactions on Information and Systems*, 査読有, pp. 3090-3099, Vol. E99-D, No.12, 2016, dx.doi.org/10.1587/transinf.2016EDP7190

D.Pickup, Masaki Aono, A. Tatsuma, et al. (32 人中 7 番), **Shape Retrieval of Non-rigid 3D Human Models**, *International Journal of Computer Vision*, 査読有, Volume 120, Issue 2, pp. 169-193, Springer Verlag, 2016, dx.doi.org/10.1007/s11263-016-0903-8

Atsushi Tatsuma and Masaki Aono, **Food Image Recognition using Covariance of Convolutional Layer Feature Maps**, *IEICE Transactions on Information and Systems*, 査読有, Vol.E99-D, No.6, pp.1711-1715, 2016, dx.doi.org/10.1587/transinf.2015EDL8212

S. Biasotti, Masaki Aono, Chika Sanada, Atsushi Tatsuma, et al.(13 人中 3 番), **Retrieval and classification methods for textured 3D models: A comparative study**, *Visual Computer*, 査読有, Vol. 32, Issue 2, pp.217-241, Springer, 2016, dx.doi.org/10.1007/s00371-015-1146-3

Md Zia Ullah, Masaki Aono, Md Hanif Seddiqui, **Estimating a Ranked List of**

**Human Genetic Diseases by Associating Phenotype-Gene with Gene-Disease Bipartite Graphs**, *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 査読有, Vol.6, No.4, pp.56:1-21, 2015, dx.doi.org/10.1145/2700487

Bo Li, Masaki Aono, Atsushi Tatsuma, et al. (22 人中 6 番), **A comparison of 3D shape retrieval methods based on a large-scale benchmark supporting multimodal queries**, *Computer Vision and Image Understanding*, 査読有, Elsevier, vol.131, 2015, pp.1-27, dx.doi.org/10.1016/j.cviu.2014.10.006

Alena Neviarouskaya, Masaki Aono, Helmut Prendinger, and Mitsuru Ishizuka, **Intelligent Interface for Textual Attitude Analysis**, *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 査読有, Vol.5, No.3, pp.48:1-48:20, 2014, dx.doi.org/10.1145/2535912

Alena Neviarouskaya, Masaki Aono, **Sentiment Word Relations with Affect, Judgment, and Appreciation**, *IEEE Transaction on Affective Computing*, 査読有, Vol.4, No.4, pp.425-438, 2013, dx.doi.org/10.1109/T-AFFC.2013.31

[学会発表](計 37 件)

高垣幸秀, 立間淳司, 青野雅樹, 時空間自己相似ヒストグラムと統計量を用いた人物動作認識, D-12-57, 電子情報通信学会総合大会, 3月25日, 名城大学, 2017  
真田知佳, 立間淳司, 青野雅樹, 近傍集合類似度を用いた多様体ランキングによる三次元物体の形状類似検索, D-4-8, 電子情報通信学会総合大会, 3月25日, 名城大学, 2017

小林将也, 立間淳司, 青野雅樹, 再構成誤差の重みを類似度としたスケッチによる三次元物体の検索, D-4-7, 電子情報通信学会総合大会, 3月25日, 名城大学, 2017  
宮城諒, 青野雅樹, LSTMとCNNを用いたボクセル表現に基づく三次元形状類似検索手法の提案, パターン認識・メディア理解(PRMU)研究会, PRMU 2016-230, pp.203-208, 名城大学, 3月21日, 2017  
姫野晋之介, 青野雅樹, 単語のポジティブ・ネガティブでの出現比率に着目したツイートの極性分類, 言語処理学会第23回年次大会(NLP2017), P18-7, 4pp, 筑波大学, 3月16日, 2017

高島侑里, 青野雅樹, 化粧品レビューサイトにおけるクチコミの有用性判定, 言語処理学会第23回年次大会(NLP2017), C5-4, 4pp, 筑波大学, 3月15日, 2017  
大塚達也, 青野雅樹, 単語分散表現と文法的な表現に着目したカスタマーレビュ

ーの観点ごとの評価値推定, DEIM2017 (第9回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム), F8-2, 8pp, 高山グリーンホテル, 3月8日, 2017

Siang Thye Hang and Masaki Aono, **Open World Plant Image Identification Based on Convolutional Neural Network**, *APSIPA2016*, 4pp, December 16th, Jeju, Korea, 2016

Md. Zia Ullah, Md. Shajalal, Abu Nowshed Chy, and Masaki Aono, **Query Subtopic Mining Exploiting Word Embedding for Search Result Diversification**, *12th Asia Information Retrieval Societies Conference (AIRS2016)*, pp 308-314, November 30th, Beijing, China, 2016

遠藤 昂, 船越孝太郎, エリック・ニコルズ, 青野雅樹, テキストクエリで指定した画像中の領域を特定する一手法, 電子情報通信学会 画像工学研究会 信学技報, IE2016-66, pp.7-12, 福岡大学, 10月6日, 2016

Siang Thye Hang, Atsushi Tatsuma, and Masaki Aono, **Bluefield (KDE TUT) at LifeCLEF 2016 Plant Identification Task**, *LifeCLEF 2016 Workshop in Conference and Labs of the Evaluation Forum (CLEF2016)*, 10pp, September 6th, University of Évora, Portugal, 2016

Md Shajalala, Md Zia Ullahb, Abu Nowshed Chy, and Masaki Aono, **Query Subtopic Diversification based on Cluster Ranking and Semantic Feature**, *The 2016 International Conference on Advanced Informatics: Concepts, Theory and Applications (ICAICTA 2016)*, 6pp, August 18th, Park Royal Hotel, Penang, Malaysia, 2016

Md Zia Ullah, Md Shajalal and Masaki Aono, **KDEIM at NTCIR-12 IMine-2 Search Intent Mining Task: Query Understanding through Diversified Ranking of Subtopics**, *NTCIR12, IMine-2*, 4pp, June 8th, Tokyo, Japan, 2016

Abu Nowshed Chy, Md Zia Ullah, Md Shajalal and Masaki Aono, **KDETM at NTCIR-12 Temporal Task: Combining a Rule-based Classifier with Weakly Supervised Learning for Temporal Intent Disambiguation**, *NTCIR12, Temporalia-2*, 4pp, June 8th, Tokyo, Japan, 2016

吉井和輝, エリック・ニコルズ, 船越孝太郎, 中野幹生, 青野雅樹, 顕著性マップを用いた画像の説明文自動生成, JSAI 2016, 人工知能学会全国大会, 4K1-5, 4pp, 北九州国際会議センター, 6月9日,

- 2016
- 高垣幸秀, 青野雅樹, 時間軸を考慮した特徴量の提案とそれを用いた動画分類, D-12-34, 電子情報通信学会総合大会, 3月16日, 九州大学伊都キャンパス, 2016
- 小田将規, 青野雅樹, 重要単語からなる料理テキストと料理画像のマルチモーダル特徴量を用いた料理名推定, D-12-186, 電子情報通信学会総合大会, 3月15日, 九州大学伊都キャンパス, 2016
- Shofi Nur Fathiya and Masaki Aono, Authorship Identification focused on Sentence and Document Based Features, D-5-9, 電子情報通信学会総合大会, 3月15日, 九州大学伊都キャンパス, 2016
- 真田知佳, 立間淳司, 青野雅樹, 色付き三次元物体の類似検索, 1X-04, 情報処理学会第78回全国大会, 3月10日, 慶応大学矢上キャンパス, 2016
- Shoki Tashiro and Masaki Aono, **3D Shape Retrieval from a Photo Using Intrinsic Image**, *APSIPA2015*, 4pp, December 19, Hong Kong, 2015
- 21 大塚達也, 立間淳司, 青野雅樹, 文法的な表現を手がかりとした宿泊施設レビュー文の意見分類, E-013, 第14回情報科学技術フォーラム (FIT2015), 愛媛大学, 2pp, 9月17日, 2015.
- 22 阿部卓也, 立間淳司, 青野雅樹, 料理レシピサイトから抽出される特徴に基づいた調理時間予測, D-018, 第14回情報科学技術フォーラム (FIT2015), 愛媛大学, 2pp, 9月16日, 2015.
- 23 Abu Nowshed Chy, Md Zia Ullah and Masaki Aono, **Combining Temporal and Content Aware Features for Microblog Retrieval**, *The 2015 International Conference on Advanced Informatics: Concepts, Theory and Applications (ICAICTA 2015)*, 6pp, August 20th, The Tide Resort, Bang Saen Beach, Chonburi, Thailand, 2015
- 24 Hero Yudo Martono, Masaki Aono, **New Composite Shape and Texture Descriptors for 3D Model Retrieval**, *4th ICCCV2015*, 5pp, June 23rd, Hong Kong, 2015
- 25 Chy Abu Nowshed, Ullah Md Zia, 青野雅樹, Time and Context Aware Re-ranker for Microblog Retrieval, 2I1-5, 人工知能学会全国大会, 5月31日, はこだて未来大学, 2015
- 26 吉井和輝, ニコルズエリック, 中野 幹生, 青野 雅樹, 日本語単語ベクトルの構築とその評価, 情報処理学会第221回自然言語処理研究会, 5月25日, 東北大学, 2015.
- 27 吉井和輝, 立間淳司, 青野雅樹, クロスドメイン推薦に向けたユーザ嗜好の予測

- 手法の提案, 6M-06, 情報処理学会第 77 回全国大会, 3 月 19 日, 京都大学, 2015
- 28 桜田亮太, 青野雅樹, 株価急変動要因に着目した株価予測, D-4-12, 電子情報通信学会総合大会, 3 月 13 日, 立命館大学, 2015
- 29 Siang Thye Hang, 立間淳司, 青野雅樹, 分類器の予測確率情報を用いた葉画像分類の提案, D-12-41, 電子情報通信学会総合大会, 3 月 10 日, 立命館大学, 2015
- 30 Atsushi Tatsuma, Shoki Tashiro, Masaki Aono, **Benchmark for Photo-based 3D Shape Retrieval**, APSIPA2014, 4pp, December, Seim Reap, City of Angkor Wat, Cambodai, December 12<sup>th</sup>, 2014
- 31 奥村泰明, 青野雅樹, レビュー文書を用いた観点ベースの単語極性判定法の検討, 第 12 回情報学ワークショップ (Winf2014), 静岡大学, 4pp, 11 月 29 日, 2014
- 32 三和未佐希, 立間淳司, 青野雅樹, 単語位置と強弱表現に着目したツイートの感情分析, E-011, 第 13 回情報科学技術フォーラム (FIT2014), 筑波大学, 2pp, 9 月 4 日, 2014
- 33 Pav Vanna, 青野雅樹, 立間淳司, 地理情報を埋込んだ画像特徴量に基づく写真画像の位置情報推定, H-016, 第 13 回情報科学技術フォーラム (FIT2014), 筑波大学, 2pp, 9 月 3 日, 2014
- 34 桜田亮太, 青野雅樹, 株式掲示板を用いた投稿数のバースト発生時における株価・株式関連指標動向の予測, D-013, 第 13 回情報科学技術フォーラム (FIT2014), 筑波大学, 2pp, 9 月 3 日, 2014
- 35 Md Zia Ullah, Masaki Aono, **Query Subtopic Mining for Search Result Diversification**, *The 2014 International Conference on Advanced Informatics: Concepts, Theory and Applications (ICAICTA 2014)*, 6pp, August 21st, Bandung, Indonesia, 2014
- 36 Ismat Ara Reshma, Md Zia Ullah, Masaki Aono, **Ontology based Classification for Multi-label Image Annotation**, *The 2014 International Conference on Advanced Informatics: Concepts, Theory and Applications (ICAICTA 2014)*, 6pp, August 20th, Bandung, Indonesia, 2014
- 37 Ismat Ara Reshma, Md Zia Ullah, Masaki Aono, **Ontology based Supervised Learning for Image Annotation**, 電子情報通信学会 画像工学, IE2014-22-IE2014-29, 信学技報 Vol. 114, No.172, pp. 41-56, 千葉工業大学, August 1, 2014

〔図書〕(計 1 件)

著者名: Masaki Aono and Mei Kobayashi, K. Yada ed.  
 出版社名: Springer Verlag  
 書名: Studies in Big Data: Data Mining for Service  
 発行年: 2014 年  
 ページ: 271-291 を担当 (総ページ数:291)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 3 件)

名称: 画像特徴量及びそれを用いる三次元形状検索システム

発明者: 立間淳司, 小林将也, 青野雅樹

権利者: 同上

種類: 特許権

番号: 特願 2017-042156

出願年月日: 2017 年 3 月 6 日

国内外の別: 国内

名称: 三次元モデル検索方法及び三次元モデル検索システム

発明者: 小林祐輝, 青野雅樹

権利者: 同上

種類: 特許権

番号: 特願 2017-029425

出願年月日: 2017 年 2 月 15 日

国内外の別: 国内

名称: 画像認識装置、画像認識方法、及び画像認識プログラム

発明者: 立間淳司, 青野雅樹

権利者: 同上

種類: 特許権

番号: 特願 2016-008273

出願年月日: 2016 年 2 月 25 日

国内外の別: 国内

取得状況 (計 1 件)

名称: データのインデックスの次元削減方法及びそれを利用したデータ検索方法並びに装置

発明者: 青野雅樹, 立間淳司

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許第 5818023 号

取得年月日: 2015 年 10 月 9 日

国内外の別: 国内

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

青野 雅樹 (AONO, Masaki)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 00372540

(2) 連携研究者

立間淳司 (TATSUMA, Atsushi)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 60711166