

氏名・（本籍） 小西 嘉典（大阪府）

学 位 の 種 類 博士（情報科学）

報 告 番 号 乙 第63号

学位授与年月日 2019（平成31）年 3 月19日

学位授与の要件 学位規則（昭和28年 4 月 1 日文部省令第 9 号）

第 4 条第 2 項該当

論 文 題 目 Real-Time 2D/3D Object Detection and Pose Estimation based on Template Matching

（テンプレートマッチングに基づく 2 次元及び 3 次元リアルタイム物体位置姿勢認識に関する研究）

審 査 委 員 （主査） 橋 本 学

長谷川 純一

青 木 公 也

## 審査概要および審査結果（論文）

### 〈審査請求論文の経過と論文の概要〉

申請者小西嘉典氏は、2000年 3 月に京都大学総合人間学部を卒業後、2002年 3 月に同大学大学院人間・環境学研究科博士前期課程を修了し、2005年 3 月に同大学大学院同研究科の博士後期課程を指導認定退学され、現在、オムロン株式会社技術本部に在職中である。同氏は、2015年 4 月から2018年 3 月の期間、中京大学情報科学研究科の研究生として研究を続け、その成果をまとめて、2018年10月 8 日に学位授与申請書を提出された。

申請論文は、ロボットの視覚技術に関わるものであり、ランダムに置かれた 3 次元対象物体の位置および姿勢を、高信頼かつ高速に認識する手法に関する研究をまとめたものである。特に、データ入力として、通常のカメラから取得された 2 次元画像と、レンジファインダで取得された 3 次元データの 2 種類があること、また、認識対象物体としても、平面的すなわち 2 次元的な対象物と、立体的すなわち 3 次元的な対象物があることに着目し、これらの入力データと対象物の組合せそれぞれに適した認識手法を提案している。

具体的には、第 1 章において研究の背景と課題、研究目的を明確にしたのちに、第 2 章にて関連する従来研究について述べられ、第 3 章において 2 次元データに基づく対象物の 2 次元認識手法を提案し、第 4

章において2次元データに基づく3次元認識手法を提案し、第5章において3次元データに基づく3次元認識手法を提案している。最後に、第6章において、本論文に示された研究成果をまとめるとともに今後の展望が述べられている。

### 〈審査申請論文の内容と評価〉

申請者 小西嘉典氏 が提出した論文は、以下の全6章から構成されている。なお、当該論文は英文で執筆されている。

第1章では、本研究の背景として、工場、物流、家庭の3分野におけるニーズと、それらにおける物体位置姿勢認識技術への要求項目が整理されている。特に、特定物体位置姿勢認識として、入力および出力の2次元、3次元の組合せとして、3種類のアルゴリズムが必要であることについて、実ニーズをもとに丁寧に説明されている。また、これらの必要性をもとに、本研究で目指すべき性能や機能が指摘されており、研究目的が明確に述べられている。

この点に関しては、研究背景となる実ニーズの緻密な分析と適切な研究目的の設定がなされていると評価した。

第2章では、特定物体位置姿勢認識の既存研究が整理されている。従来の技術が、大域特徴量に基づく手法、局所特徴量に基づく手法、機械学習に基づく手法の3つに大別されうること、およびこれらの分類の詳細についても述べられている。さらに、これらの手法の長所と短所として、大域特徴量に基づく手法はテクスチャ有無に依存しない反面隠れや変形に弱い点、局所特徴量に基づく手法は隠れや変形にロバストであるがテクスチャが少ない場合には適用しにくい点、また、機械学習に基づく手法はさまざまな対象物に適用可能であるものの膨大な学習データと特殊な計算機アクセラレータを必要とする可能性が高い点を指摘している。また、これらの考察の結果として、本研究では大局的特徴量に基づく手法をベースにしつつも、高速化や高信頼化を目指す必要があるとの研究目的が述べられている。

この点に関しては、既存研究の網羅的かつ的確な分析と、それに基づいた提案手法の基本的な方向性の設定がなされていると評価した。

第3章では、2次元データに基づく2次元物体に対する認識手法の提案として、累積勾配方向特徴量(COF)の提案、およびこれを用いた具体的な認識アルゴリズムが示されている。同特徴量の具体的な抽出方法や性質が明らかにされるとともに、他の特徴量との性能比較実験の結果をもとに、提案手法の有効性が示された。

この成果については、実画像を用いた実験によって従来手法よりも高性能であることを実証できていることから、本章にて提案された技術が有効であると評価した。

第4章では、2次元データを利用した3次元物体に対する認識手法として、階層的姿勢探索木を用いた手法が提案された。また、ここでは、特徴量としても前章で紹介されたCOF特徴量を改良した、透視投影に基づく累積勾配方向特徴量(PCOF)も提案され、階層的姿勢探索木の効果と相まって、従来手法と比較しても顕著な性能向上が見られたことについて、多数の実画像を用いた実験を通して示された。

以上のことから、本章における提案手法の着眼点が新規であり、なおかつ研究成果として十分な信頼性と有効性を併せ持っていると評価した。

第5章では、レンジファインダのようなセンサから得られる3次元データをもとにした3次元物体認識の手法として、特徴量再配置によるRGB-D画像からの3次元物体位置姿勢認識として、マルチモーダルPCOF特徴量および平衡姿勢探索木の提案、さらには粗密探索の高速化を目的とした特徴量の再配置技術が提案された。また、実験によって、提案手法がばら積み部品認識などにおいてきわめて高い性能をもつ

ことが実証された。

このことから、本章で述べられた研究成果が、斬新なアイデアに基づくオリジナルなものであり、関連する従来手法と比較しても十分に有用な内容であると評価した。

第6章では、本論文における研究成果を要約するとともに、この研究によって実現できること、および残された課題を整理し、それらの課題を解決するための今後の展望に関しても言及している。本章で得られた結論は、申請論文全体の研究目的が十分に達成されていることを示していることから、本論文が物体認識の研究分野における重要かつ有意義な学術成果として認めるに足る内容であることを確認した。

#### 〈研究推進の評価〉

これらの研究によって生み出されたそれぞれの成果は、学術論文としてまとめられ、公刊されることによって学術的な価値が認められていることに加え、国際会議や国内学会での口頭発表、および学会からの表彰受賞によっても、広く学術進展上の価値が認められるに至っている。

具体的には、本論文に直接的に関係する査読つき学術論文として、電子情報通信学会論文誌等、計3件の採録済み論文があり、国際会議発表としては、同分野のトップカンファレンスの一つとされる European Conference on Computer Vision の Main Conference への採択等、計3件の業績がある。また、国内学会発表としては、画像センシングシンポジウム等、計3件の発表がなされており、これらはすべて申請者本人が筆頭著者となっている。さらに、これらの発表に伴う学会表彰として、2014年画像センシングシンポジウム優秀学術賞および2015年ビジョン技術の実利用化ワークショップ小田原賞を受賞しており、申請者が継続的に独創的な研究を主体的に推進していると判断できる。

#### 〈研究の今後の展開〉

申請論文において明らかになった研究成果としての技術および試作されたシステムは、コンピュータビジョンやロボットビジョンに関連するさまざまな学術コミュニティにおいて注目されているだけでなく、実際に、申請者の属する企業において一部が利用されるなど、さらなる発展が強く期待されているところである。

#### 〈剽窃の確認〉

申請論文における剽窃に関して、チェックソフト iThenticate を用いて論文全文を確認した結果、問題がないことを確認した。

#### 〈審査結果〉

以上の審査結果を総合的に判断して、本審査委員会は、申請者小西嘉典氏の提出した論文は論文博士(情報科学)の学位論文として十分に適格であると認め、全員一致にて「合」と判定したので、ここに報告する。

## 審査概要および審査結果（最終試験）

### 1. 口頭試問の実施

当審査委員会は、最終試験にかえて、2018年11月30日の予備審査会、ならびに2019年1月31日の公聴会において、申請者の論文内容に関する口頭発表を求めるとともに、専攻分野における学識と研究能力を審査するための口頭試問を行った。

### 2. 既刊論文の調査

当審査委員会は、2018年10月8日の学位審査申請時点で、申請者を筆頭著者とし、かつ、第三者の査読を経て採録もしくは採録が決定されている関連論文を調査し、以下に示す6編がこれに該当することを確認した。

学術論文			
小西嘉典、服部宏祐、橋本学	平衡姿勢探索木を用いた RGB-D 画像からの高速3次元物体位置姿勢認識	精密工学会誌, vol.J84, no.4, pp.348-355	2018
小西嘉典、半澤雄希、川出雅人、橋本学	階層的姿勢探索木を用いた単眼カメラからの高速3次元物体位置姿勢認識	電子情報通信学会論文誌 D, vol.J100-D, no.8, pp.711-723	2017
小西嘉典、井尻善久、川出雅人、橋本学	累積勾配方向特徴量を用いたテクスチャレス物体検出	電子情報通信学会論文誌 D, vol.J99-D, no.8, pp.689-698	2016

国際会議			
Yoshinori Konishi, Yuki Hanzawa, Masato Kawade, Manabu Hashimoto	Fast 6D pose estimation from a monocular image using hierarchical pose trees	Proceedings of European Conference on Computer Vision (ECCV), pp.398-413	2016
Yoshinori Konishi, Yoshihisa Ijiri, Masaki Suwa, Masato Kawade	Textureless object detection using cumulative orientation feature	Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pp.1310-1313	2015
Yoshinori Konishi, Yasuyo Kotake, Yoshihisa Ijiri, Masato Kawade	Fast and precise template matching based on oriented gradients	Proceedings of European Conference on Computer Vision (ECCV) Demonstration, pp.607-610	2012

### 3. 最終試験結果

当審査委員会は、上記1. および2. の結果から、申請者小西嘉典氏は、専攻分野における十分な学識と研究能力を有すると判断し、全員一致にて最終試験を「合」と判定したので、ここに報告する。

## 審査経過

2018年10月 8 日	学位申請受付
2018年10月10日	論文受理
2018年10月10日	学位審査委員会設置（研究科委員会）
2018年11月30日	予備審査会（口述発表および口頭試問）
同日	予備審査委員会開催
2018年12月20日～2019年 1 月 5 日	修正論文の確認（メール審議）
2019年 1 月22日～29日	論文公示
2019年 1 月31日	公聴会（発表および口頭試問）出席者28名
同日	審査委員会開催
2019年 2 月13日（予定）	研究科委員会に対する審査結果の報告 投票による可否の判定