

氏名・（本籍） 秋月 秀一（愛知県）

学位の種類 博士（情報科学）

報告番号 甲 第125号

学位授与年月日 2016（平成28）年9月20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1項該当

論文題目 形状的整合性および配置実現性に基づく3次元物体認識に関する研究

審査委員（主査） 橋本 学

輿水 大和

長谷川 純一

目加田 慶人

青木 公也

## 審査概要および審査結果

### 〈審査請求論文の経過と論文の概要〉

申請者秋月秀一氏は、2008年4月、中京大学情報理工学部機械情報工学科に入学し、2012年3月に当該学科を卒業後、同4月、同大学院情報科学研究科（修士課程）情報科学専攻に進学、2014年4月、同研究科（博士課程）情報認知科学専攻に進学、現在に至っている。この間、本学大学院および人工知能高等研究所において、また2016年4月より、日本学術振興会特別研究員（DC2）として、申請学位論文「形状的整合性および配置実現性に基づく3次元物体認識に関する研究」に至る一連の研究を推進してきた。なお、学位論文題目については、2016年4月13日の受理時から、審査経過においてその内容に合致するよう、審査委員会より変更が指示され、これに基づいて変更されている。

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単一種類あるいは複数種類の3次元対象物体の位置および姿勢を、高信頼かつ高速に推定する手法に関する研究をまとめたものである。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章にて特定の対象物の位置と姿勢を認識するための3次元特徴量とそれによるモデル照合手法を提案し、さらに第3章にて適用対象を拡大するための手法を提案している。第4章では、物体認識の性能が計測された点群密度変化や情報欠落の影響を受ける点を指摘した上で、この問題を回避するための局所参照座標系の設計方法を提案している。続く第5章では、第2章～第4章にて提案された技術要素を利用した、仮説検証型の複数

物体認識手法を提案し、有効性を実証している。最後に、第6章に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 秋月秀一氏 が提出した論文「形状的整合性および配置実現性に基づく3次元物体認識に関する研究」は、以下の全6章から構成されている。

第1章「緒言」では、本研究の背景として、製造分野ならびにサービス分野の2つの適用分野を設定し、現存する3次元物体認識技術の現状と課題を分析した上で、処理時間の改善、対象物の形状に対する制約の緩和、計測データ点群密度に対する頑健性の拡大、および密に配置されている状況への適用の4つの技術目標が設定されている。

この点に関しては、実課題に対する緻密な分析および適切な目標設定がなされていると評価した。

第2章「ベクトルペアマッチング法に基づく位置姿勢認識」では、対象物の3次元形状が既知であることを前提としたモデルマッチングにおける重要な要素である、3次元局所特徴量として、ベクトルペア特徴と呼ぶ特徴量を新たに提案し、これを用いたモデルマッチングおよび対象物の位置と姿勢を計算するためのアルゴリズムを提案している。さらに本章では、センサ視点に依存しない安定した認識を実現するために、センサ視点から見た対象物の可観測性を数値として指標化し、特徴点の選択に利用する手法についても提案し、関連技術との比較実験を通じて有効性を実証している。

このことから、本章における提案技術は、独創的であるとともに、その有用性においても十分なレベルに達していると評価した。

第3章「照合戦略の適応的選択に基づく対象物の凹凸形状に依存しない物体仮説生成」では、第2章で提案した手法の適用先の拡大を目的として、工業部品などの実対象物における平面的な見えを有する対象物の認識が重要であることを述べ、さらにそのための新しい参照座標系として Global Reference Frame と呼ぶ新しい座標系の設定方法を提案している。また、本技術の実利用状況を想定し、見えている面が平面的であるかどうかを自動的に判定し、それに応じて適切な特徴量を選択するためのアルゴリズムについても提示している。

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「点群密度の変化に頑健な物体仮説生成のための3Dキーポイントマッチング」では、3次元物体認識技術の、生活支援におけるサービスロボット等への適用を目指した場合に問題となるセンサからの取得点群の密度変化や、情報欠落への対応として、これらに頑健な新しい局所参照座標系である DPN-LRF と、それに基づく3Dキーポイントマッチング手法を提案し、さらに十分な量の実験を通じてその有効性を実証している。

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して評価した。

第5章「形状的整合性と配置実現性に基づく仮説検証型物体認識アルゴリズム」では、第2章～第4章にて提案した要素技術を基礎として、複数物体の同時認識手法を提案している。ここでは、テーブルに置かれた複数種類の物体を認識することを目的とし、これまでのモデルベースマッチングモジュールの出力を物体候補仮説ととらえ、その組み合わせとして生成されたシーンの仮説を検証することによって最終出力を得るという仮説検証型の認識アルゴリズムを提案している。その際に、形状的な整合性と各物体の配置の実現性のバランスを考慮するための具体的な方法、および配置実現性を効率よく計算するための方法

についても提案し、実験によってそれらの有効性を実証している。

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ついても言及している。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3次元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、電気学会論文誌等、計4件(うち1件については学位申請時点で採録決定済、現在印刷中)、国際会議発表としては、International Conference on Computer Vision Theory and Applications 等、計7件、国内学会発表としては、画像の認識・理解シンポジウム等、計18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、第18回画像センシングシンポジウム優秀学術賞等、計7件の受賞も得ている。

また、本論文には直接関係しない研究成果発表として、査読つき学術論文7件、国際会議発表6件、国内学会発表25件、表彰受賞が4件あり、これらは、申請者が十分な研究実績を持つことの傍証になり得ると考えられる。

さらに、申請者は2016年4月に日本学術振興会特別研究員(DC2)および精密工学会アフィリエイトにも採択されており、これも、申請者が独創的な研究を主体的に推進していることの一つの根拠になり得ると判断できる。

### 〈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、ロボットメーカ、流通システムメーカ、医療関係メーカ等の企業との共同研究や、NEDO、JST等の競争的資金を含むプロジェクトへの参画にも結びついており、さらなる発展が強く期待されているところである。

### 〈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、申請者秋月秀一氏の提出した論文は課程博士(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、2016年5月2日の予備審査会、ならびに2016年6月27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、2016年4月13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13編がそれに該当することを確認した。（審査中に生じた変更は加筆した）

ただし、※印を付した学術論文1件および国際会議1件については、本学位申請論文には直接的に関連しない論文である。

学術論文			
秋月秀一、橋本学	3次元キーポイントマッチングのための点群密度変化および欠落に頑健な Local Reference Frame	電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J99-D, No.8, (印刷中)	2016
Shuichi Akizuki, Manabu Hashimoto	Stable Position and Pose Estimation of Industrial Parts using Evaluation of Observability of 3D Vector Pairs	Journal of Robotics and Mechatronics (Special Issue on Vision and Motion Control), Vol.27, No.2, pp.174-181	2015
秋月秀一、橋本学	Global Reference Frame を用いた対象物の見えに依存しない3次元位置姿勢認識	精密工学会誌, Vol.80, No.12, pp.1176-1181	2014
※ 秋月秀一、橋本学	最適配置された画素群の濃度共起発生確率に着目した画像のテクスチャ量にロバストな照合手法	電気学会論文誌 C, Vol.133, No.10, pp.1943-1949	2013
秋月秀一、橋本学	特徴的 3-D ベクトルペアを用いたばら積み部品の高速位置姿勢認識	電気学会論文誌 C 研究開発レター, Vol.133, No.9, pp.1853-1854	2013

国際会議			
Shuichi Akizuki, Manabu Hashimoto	Multiple 3D Object Recognition using RGB-D Data and Physical Consistency for Automated Warehousing Robots	11th International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP), pp.605-609	2016
Shuichi Akizuki, Manabu Hashimoto	Relative Point Density (RPD) Feature for Object Recognition Independent of Point Cloud Sparseness	The Korea-Japan joint workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV), pp.137-140	2016

Shuichi Akizuki, Manabu Hashimoto	DPN-LRF: A Local Reference Frame for Robustly Handling Density Differences and Partial Occlusions	11th International Symposium on Visual Computing (ISVC), Part I, LNCS 9474, pp.878-887	2015
Shuichi Akizuki, Manabu Hashimoto	A Proposal of the Global Reference Frame for Surface Flatness-independent 3D Object Detection	Joint Conference of the International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) and the International Forum on Medical Imaging in Asia (IFMIA), OS. 27, pp.1-3	2015
Shuichi Akizuki, Manabu Hashimoto	Position and Pose Recognition of Randomly Stacked Objects using Highly Observable 3D Vector Pairs	The 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp.5266-5271	2014
Shuichi Akizuki, Manabu Hashimoto	Fast and Reliable 3-D Object Recognition based on Surface Normal Distributions	International Symposium on Optomechatronic Technologies (ISOT), pp.1-9	2013
※ Shuichi Akizuki, Manabu Hashimoto	Robust Matching for Low-texture Images based on Co-occurrence of Geometry-optimized Pixel Patterns	IEEE International Conference on Quality Control by Artificial Vision (QCAV), pp.113-116	2013
Shuichi Akizuki, Manabu Hashimoto	High-speed and Reliable Object Recognition using Distinctive 3-D Vector Pairs in a Range Image	International Symposium on Optomechatronic Technologies (ISOT), pp.1-6	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、申請者秋月秀一氏は、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は「合」と判定したので、ここに報告する。

## 審査経過

審査経過：

2016年4月13日	論文受理
2016年4月13日	学位審査委員会設置（研究科委員会）
2016年5月2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
2016年6月7日～10日	修正論文の確認（メール審議）
2016年6月22日～7月1日	論文公示
2016年6月27日	公聴会開催（口述発表および口頭試問） 出席者42名
同日	審査委員会開催
2016年7月13日	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