

氏名・（本籍） 望月 優介（静岡県）

学位の種類 博士（情報科学）

報告番号 甲 第119号

学位授与年月日 2015（平成27）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1項該当

論文題目 単眼単視点による三次元画像計測に関する研究

審査委員（主査） 青木 公也

輿水 大和

沼田 宗敏

橋本 学

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・望月優介氏は、2002年4月、中京大学情報科学部に入学し、2006年3月に同学部を卒業後、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、2008年4月、同研究科（博士課程）情報認知科学専攻に進学、2014年3月同課程を満了し、現在に至っている。この間、2014年4月より株式会社とめ研究所に在職しながら、本学人工知能高等研究所において、申請学位論文「単眼単視点による三次元画像計測に関する研究」に至る研究を推進してきた。なお、学位論文タイトルについては、2014年3月の受理時（「単眼単視点画像におけるシフトバリエーションな焦点ボケ強度推定に関する研究」）から、審査過程においてその内容により合致するよう、審査委員会より変更を指示した。

申請論文は、画像処理・コンピュータビジョン分野における最重要課題の一つである三次元画像計測について、特に単眼単視点、つまり画像1枚からシーンの三次元形状を再構成し、またその時系列画像から任意物体の三次元運動を推定する新たな手法を提案するに至った研究成果をまとめたものである。具体的には、先ず第1章において、画像処理分野における現状の三次元画像計測を概観し、本論文の主題である単眼単視点計測の研究意義と基本アイデアについてまとめている。これを受け、第2章では画像中の焦点ボケ特徴に基づく三次元画像計測手法について二つの新たな手法を提案し、実験によってその有効性を確認した。次に第3章では、やはり単視点計測によって得られる時系列距離画像を入力として、任意物体の三次元運動を推定する新たな手法を提案し、実験によってその有効性を確認した。第4章では、本論文で主張する単眼単視点計測の工学的意義と、前章までで提案した三次元画像計測手法の有効性について、

幾つかの具体的な応用事例によって示した。最後に第5章において、本研究のまとめと今後の展望と課題を論じている。

〈審査申請論文の内容と評価〉

申請者・望月優介氏が提出した論文「単眼単視点による三次元画像計測に関する研究」は、以下の全5章から構成されている。

第1章「序論」では、本論文の背景、すなわち三次元画像計測の学術・技術的な経過と現状について概観し、本論文の主題である単眼単視点計測の重要性について論じている。また、単眼単視点計測を実現するための課題と基本アイデアについてまとめている。また、本論文の各章で扱う内容とそれらの関係を整理している。以上によって本学位論文の基本構成を定めることに成功している。ここで、単眼とは画像入力デバイスとしてカメラ1台のみを使用すること、単視点とはステレオカメラに代表される多視点法やフォーカス調整等によって複数画像を使用することとは異なることを意味する。つまり、最も厳しい制約下における三次元画像計測を主題とした点は、それが成功した場合は学術的・技術的意義は深く、博士學位論文テーマとして相応しい課題設定であると評価した。

第2章「焦点ボケ強度推定に基づく単眼単視点計測」では、先ず、静止画像1枚からシーンの三次元を再構成する手がかりとする焦点ボケの現象について解説し、その可能性と課題について分析している。それを受けて、焦点ボケ特徴の空間不変性が担保される局所領域毎にフィルタリング処理することにより、単眼単視点画像中の相対的な三次元情報を推定する手法を提案した。続いて、入力画像の高周波成分を除去した場合に発生するリングング現象に着目し、様々なカットオフ周波数におけるリングング成分を積算することによって画素毎の焦点ボケ特徴を算出する手法を提案した。提案手法について、シミュレーション及び実画像を用いた実験評価を行い、その有効性を示すことに成功している。提案手法の着眼点やアルゴリズムに対する新規性と、また実験評価からその有効性が認められた。

第3章「単視点距離画像による実物体の運動推定」では、第2章での静的なシーンの三次元再構成に続いて、センサ前の任意物体の運動推定を実現している。本章でもやはり、単視点画像を用いること、運動推定対象に関する既知情報がないこと、さらに対象が非剛体であること等の厳しい条件を設定している。これに対して、シーンの距離画像から算出される三次元シーンフローを仮想外力として、それによって運動する仮想浮標と呼ぶバネネットワークモデルによって間接的に実物体の運動を推定する手法を提案した。提案手法の着眼点やアルゴリズムに対する新規性と、また実験評価からその有効性が認められた。

第4章「単眼単視点による三次元画像計測の応用」では、第1章序論でその必要性を主張し、かつ第2章、第3章で実現した単眼単視点計測について、その応用例を示した。それは、入力画像中の背景・前景のセグメンテーション、裸眼立体視への応用、ジェスチャインターフェイスへの応用事例である。また、「人代替わり取りロボット」のビジョン要素技術への適用は、本論文で主張する単眼単視点計測の有意性を実問題において実証した例であり、本章によって本論文全体が昇華している。

第5章「結論」では本論文での主張を再度まとめ、得られた結果を誠実に整理し、結論を述べている。さらに今後の展望について示すことにより、本論文が三次元画像計測分野における研究のマイルストーン、かつ道標となった。

〈研究推進の評価〉

この間の研究によって生まれた成果について報告する。本論文の内容は、幾つかの学術論文としてまとめられ、国際会議及び国内学会・研究会・シンポジウムにおいて発表の機会を得ており、研究内容が学術

的に十分な認知を得ている。それらは、2件の学術論文（電気学会）、1件の国際学会発表、多数の国内学会・研究会発表である。また、経済産業省戦略的基盤技術高度化支援事業「人代替わり取りロボット」において、本論文で主張する単眼単視点計測によってビジョン要素技術を実装したこと、さらに事業審査において好評価を受け、発明者として特許出願（特開2014-161980）に至ったことは、本学位論文の産業的有効性を実証している。

〈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、申請者望月優介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」と判定したので報告する。

以上

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、2014年12月23日、2015年2月9日の予備審査会、ならびに2015年2月28日の公聴会において、申請者に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. 研究業績の調査

当審査委員会は、2015年2月28日の学位審査終了日時点までにおける、申請論文に係る研究業績、及び申請者の選考分野における学識と研究能力を示すその他の研究業績を調査した。前者については先ず、申請者を筆頭著者としかつ第3者の査読を経て採録された関連論文を調査し、3件がそれに該当することを確認した。なお、2件目については申請者が第2著者であったが、筆頭著者は申請者の指導教員であり、同教員より当該論文を本学位申請の業績基準として利用することの同意書（最後に添付）が提出されている。加えて、同教員より当該論文投稿時において望月氏を第2著者とした事由、及び望月氏が主導的に同研究を推進したことを確認した。また、望月氏は申請論文に係る1件の特許出願（特開2014-161980）の発明者であることを確認した。

1. 望月優介・青木公也・輿水大和：焦点ずれによる画像ぼけ特徴を用いた三次元形状計測、電気学会論文誌C、Vol.129、No.5、pp.909-915（2009-5）
2. 青木公也・望月優介：仮想浮標を介した実物体の運動推定、電気学会論文誌C、Vol.131、No.2、pp.393-403（2011-2）
3. Y.Mochizuki, K.Aoki: Estimation of Shift-variant Focus Degree in Image Obtained by Single Camera from Single Viewpoint, Proc. of 20th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2014) (2014-2)
・青木公也・望月優介・輿水大和：バリ取りシステム、特願2013-37340、特開2014-161980

3. 最終試験結果

当審査委員会は、上記1.及び2.の結果から、申請者・望月優介氏は、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、全員一致で最終試験を「合」と判定した。

以上

審査経過

2014年	3月27日	論文受理
2014年	4月16日	論文博士審査委員会設置（研究科委員会）
2014年	12月23日	第1回予備審査会（口述発表、口頭試問） 第1回予備審査委員会
2015年	2月9日	第2回予備審査会（口述発表、口頭試問） 第2回予備審査委員会
2015年	2月21日 ～2月28日	論文公示
2015年	2月28日	公聴会（口述発表、口頭試問） 第3回予備審査委員会
2015年	3月2日	研究科委員会に審査結果の報告 投票による合否の判定

以上