

博士學位論文

内容の要旨
および
審査結果の要旨

第29編

平成29年度

神奈川工科大学

は し が き

本編は、学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条によるインターネットの利用により公表を目的として、平成29年度内に本学において博士の学位を授与した者の、論文内容の要旨および論文審査の結果の要旨を収録したものである。

学位記番号に付した甲は、学位規則第4条第1項（いわゆる課程博士）によるもの、乙は、同規則同条第2項（いわゆる論文博士）によるものであることを示す。

< 目 次 >

甲第34号	宇佐美 真	視覚と力覚を整合するための物体インタラクション 技術の研究 副題—VOIT (Visual Object-Interaction Technique)の提案と開発— 1
-------	-------	--	---------

氏名(本籍)	宇佐美 真 (神奈川県)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第 34 号
学位授与日	平成 29 年 9 月 30 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻名	工学研究科 電気電子工学専攻
学位論文題目	視覚と力覚を整合するための物体インタラクション 技術の研究 副題—VOIT (Visual Object-Interaction Technique)の提案と開発—
論文審査委員	(主査) 神奈川工科大学 一色 正男 教授 神奈川工科大学 奥村 万規子 教授 神奈川工科大学 武尾 英哉 教授 神奈川工科大学 松本 一教 教授 千葉工業大学 森 信一郎 教授

内容の要旨

本論文は人と特定物体とのインタラクション状態を認識するためのマーカと認識技術に関する研究をまとめたものである。「対象物体と人とのインタラクションに対する反力を発生させながら力覚を含めて1つのカメラで認識・推定する技術」として Visual Object-Interaction Technique (以降 VOIT)を新規開発した。

VOIT はインタラクションを認識するとき新開発の L 字型 2 次元および L 字型 3 次元マーカが装着された物体の「3次元姿勢」と「柔軟性を有する特定物体からの反力として知覚される力覚」を同時に認識・推定する技術である。また著者は本提案の応用としてバーチャルリアリティ(VR), 拡張現実感(AR)を含めた複合現実感(MR)領域へ適用した MR システムを考案・提案し, VOIT は, バーチャル世界に力覚を与えることで MR 体験における視覚と力覚を整合し違和感を縮小することを目的とする技術である。

「バーチャル世界に力覚を与える」ことから「視覚と力覚の整合による違和感縮小の効果」が得られる。バーチャル映像に対しても人は力覚を期待するため, 有ると思って手を差し伸べた映像を押したとき感触がないと違和感が発生し臨場感の低下に繋がるという課題を解決した。

本論文では上記課題を解決するために, 以下, 2つの研究成果を得た。

- ① 「3次元マーカ」の開発による「物体姿勢」と「形状変化」の提供
- ② 「力覚センサ」と「コンピュータビジョン (以降 CV) 技術」の開発による「視覚と力覚の整合」

また, 上記 2つの成果のため下記 3つ具体的技術を開発した。

- ① 3次元姿勢推定と形状変化の認識に対応するL字型マーカ（2次元，3次元円柱型および3次元四角柱型）を開発した。
- ② L字型マーカを，柔軟性を有する実体物に装着することで，姿勢だけでなく反力を発生させながら力覚を同時に推定するための力覚センサ（Passive Force-Sensor，以降 PFS）を開発した。
- ③ PFSを1つのカメラによるコンピュータビジョン（CV）方式により姿勢と力覚を同時に推定する技術を開発した。

本論文は以下，第1章から第7章で構成される。

第1章「序論」では，研究の背景と目的，研究方針，創出する世界および，VOIT 確立に必要な技術要件を俯瞰・分類し論文構成について説明した。

第2章「関連技術分野の分析」では実体物のコンピュータビジョンによる認識技術および力覚提示技術に関して分析し，本研究で活用するマーカ方式の技術優位性を検証した。

VOIT 実現に必要な特定物体の認識および動的形状変化の認識性を考慮した。

第3章「基礎実験」では，1次元データタグからL字型2次元マーカを開発した。実用性評価により4章以降で活用するためのマーカ認識に関する基本性能を確認した。

第4章「幾何学的整合と高速動作物体への対応」では人の動作に対する感覚一致，さらに実体物に模した3次元物体にマーカを装着する必要性から「円柱形状のL字型3次元マーカ」を開発した。360度回転方向からの認識性，継続性および回転方向の誤差を確認した。また対象物体の高速動作時にカメラのイメージセンサに起因する顕著な画像歪みが発生した場合における物体認識継続性を実験結果から確認した。

第5章「背景色対応による使用環境の拡大」では，使用環境を拡大する目的から「四角柱形状のL字型3次元マーカ」を開発することで背景色依存性問題を解決し，使用環境の拡大を実現した。

第6章「VOITによる視覚と力覚の整合」では視覚と力覚の整合するMRシステムの提案を行い5章までの技術を統合するVOITの開発と評価を行った。VOITがMRシステムにおける視覚と力覚を整合することで違和感縮小に効果的であることを示した。

第7章「結論」では，本研究の研究全体を総括して結論を述べた。

以上のことから，本研究で開発したVOITはコンシューマグレードのデバイスのみで構成する制約条件のもとに開発された点も含め，実社会で実装可能なユニークな技術であり既存MRシステムへの容易な展開技術であることは将来，新しいサービス（ゲーム等）を享受し得るという点で価値ある成果になった。また本研究の成果は2020年に16兆円市場とも言われるMR領域に留まらずコンピュータにおける現実世界の視覚と力覚の整合技術はロボットアームの対人制御やゲーム機のコントローラへの新感覚の創出への貢献も期待しており，さらなる発展が期待される成果を得た。

審査経過の要旨

1. 審査の経過

審査の経過

- (1)2017年4月5日(水)指導教員一色に対し、本学博士後期過程の宇佐美真君により学位論文が提出された。
- (2)2017年4月12日(水)電気電子工学専攻会議にて予備審査の開始と審査委員が承認された。
- (3)2017年5月23日(火)17:00-18:50に、予備審査会が開催された。その際出された各審査委員からのコメントを受けて論文の修正及び推敲を行う、との条件に本請求論文は本審査に十分耐えうると判断され予備審査は終了した。
- (4)2017年5月24日(水)に、電気電子工学専攻会議にて予備審査の結果が主査から報告され、論文受理の可否投票の結果論文の受理を決定した。
- (5)2017年7月13日(木)16:50からの専攻主任会議で説明し、提出論文の受理が決定し、審査委員として上記5名を決定した。本審査の開始が承認された。
- (6)2017年7月30日(日)16:30-17:45に公聴会を開催した。
- (7)2017年7月30日(日)17:45-18:00に最終試験及び審査委員全員による審査委員会を開催した。審査期間中における各審査委員の個別審査及び公聴会での発表内容、質疑応答の内容に基づいて審議の結果、申請論文は博士論文としての学術性、新規性、有用性、実用性を有していること、また申請者は博士の学位に相応しい学力、語学力を有していることを審査委員全員で確認した。
- (8)2017年9月4日(月)電気電子工学専攻会議における可否投票の結果、学位授与を可と判定した。
- (9)2017年9月8日(金)専攻主任会議にて学位の授与が可と承認された。

2. 審査結果

申請者が提出した博士論文は、今後社会利用が増えていくMRシステムで重要になるMR体験での違和感解消へ貢献する極めて簡便かつ有用な新技術(VOIT)を開発して提案した。特に、カラービットコードを、初めてビット位置認識技術の視点から活用する手法を設計開発し、3次元マーカを提供した。さらに、等方変形部材と組み合わせることで歪みを利用した力覚推定ができることを発見し、力覚センサ(PFS)を世界で初めて実現可能であることを提示、ゲーム等での利用が拓けた。

申請者のMR用新技術の成果は先駆的で簡便であるという意味で画期的であり、特に今後発展していくMR市場での我が国の優位性向上に貢献する意義ある成果と考える。本論文の内容、公聴会での質疑応答、学術論文および国際会議での発表論文の内容などから、申請者の学力および外国語の能力が十分であると考えられ、学位申請者は、博士(工学)の学位に十分な資質を有するものと判断し合格とした。