

氏名・(本籍)	石 田 裕太郎 (兵庫県)		
学位の種類	博 士 (工 学)		
学位記番号	生工博甲第360号		
学位授与の日付	令和2年 3月25日		
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	ホームサービスロボットのための基盤システムの確立: 知的処理の実装および組み込みアクセラレータの統合		
論文審査委員会	委員長	教授	堀 尾 恵 一
		〃	森 江 隆
		准教授	田 向 権
		〃	大 川 猛

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、ホームサービスロボットのための基盤システム確立を提案している。特に、この基盤システムを構築する上で重要となる、ロボットの物体検出・認識のためのシステム・データセット作成法、および、知的処理を高速かつ低消費電力で計算する組み込みアクセラレータとロボットの統合法を提案している。各種実験を通し、物体検出・認識、組み込みアクセラレータ共に、従来手法より優れていることが示されている。さらに、両者ともに、ロボットに実装した実機評価と、RoboCup や WRS といったロボット競技会を通した実現性および有効性が議論されている。

本論文の構成は以下の通りである。

第1章は序論である。本論文の背景として、ロボットの基盤ソフトウェアや、深層学習による認識、その実現に必要な計算機に関する解説と、それらの問題点が述べられている。深層学習による認識は、強力な特徴抽出能力と高い汎化性能があるため、ロボットの物体検出・認識に応用することが期待できるが、深層学習をロボットへ応用する際、そのロボットが働く環境に特化したビックデータの生成が課題となる。また、FPGA (Field Programmable Gate Array) へロボットの知的処理を実装することで、計算の高速化・低消費電力化が見込めるが、FPGA はロボットの基盤ソフトウェアとのインタフェースが確立されておらず、その応用には膨大な工数を要する。これらの解決がホームサービスロボットで重要になることが、本論文の研究目的として述べられている。

第2章では関連研究について述べられている。本研究の中心であるホームサービスロボットおよび、ROS (Robot Operating System)、知的処理、およびアクセラレータに関するレビューがなされている。その中で、ロボットの知的処理の実装にはアクセラレーションが必須であるが、消費電力・計算速度・再構成性の面から、FPGA が適していることが指摘されている。また、ホームサービスロボットのための基盤プラットフォーム

ムの構成が提案されている。

第3章では、基盤プラットフォームの一部である、点群処理による物体検出・DNN (Deep Neural Network) による物体認識について述べられている。提案手法は、ロボット上に点群処理による物体検出およびDNNによる物体認識システムを実現し、ロボット専用のデータセットを作成することを示した。検証実験により、提案手法が従来手法より高精度な物体認識が可能であることを確認した。

第4章では、第3章の研究を進めたDNNによるend-to-endの物体検出・認識について述べられている。提案手法は、end-to-end型DNNをロボットで応用するため、ロボットが作業する環境に対する制約が少ない専用データセットを半自動で作成することを示した。検証実験により、提案手法は第3章の研究と比べ、高速に物体検出・認識が可能であり、ロボットの作業環境の制約が減少したことを示した。また、データセット作成を半自動化することで、今後ロボットによる全自動データセット獲得への応用を示した。

第5章では、高位合成とROSを統合することで、ロボットのための組み込みアクセラレータを実現することについて述べられている。提案手法は、Objectと呼ばれるインタフェースをユーザへ提供し、FPGAとROSを自動統合できることを示した。ロボットによる人物追跡を課題とした検証実験により、提案手法は他の計算機と比べ高効率で計算可能であることを示し、ロボットへの組み込みに対して有効であることを示した。

第6章では、第5章の研究を進めた、SoC開発環境とROSの統合について述べられている。提案手法は、SoC開発環境とROSを統合するインタフェースを自動生成することで、SoC内の通信の最適化およびユーザへROSと互換性のあるFPGAのインタフェースを提供できることを示した。DNNによる物体認識を課題とした検証実験により、提案手法は他の計算機と比べ高効率で計算可能であることを示し、ロボットへの組み込みに対して有効であることを示した。

第7章は結論であり、本論文の貢献がまとめられていると共に、今後の展望が示されている。本論文で提案された基盤システムをホームサービスロボットへ応用することで、研究開発の加速および、高効率な知的処理のロボットへの実装が期待されることが議論されている。

学位論文審査の結果の要旨

本論文に関し、論文審査委員から専用データセットを作成することでロボットが行える仕事はどのように変わるのか、データセットの半自動生成は今後どのように発展するのか、FPGAとROSの統合法を確立したことによるユーザのメリットは何かなどの質問が多数あったが、いずれも著者の明快な説明により質問者への理解が得られた。

また、公聴会では、学内外より51名の出席があり、データセット合成時の影や光源の影響、CPU-FPGA間通信を自動生成する際の汎用性と専用性のバランス、

TensorFlow 等の一般的な深層学習ライブラリから提案手法に如何に接続するか、クラウドと 5G 通信で全ての知的処理を行うのに比べてのエッジ AI の優位性、エッジとクラウド間における処理の分割方法、などをはじめとする質問が多数あったが、いずれも著者の明快な説明により質問者の理解が得られた。

以上により、論文審査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。