

低消費電力ロボット応用の為の FPGA コンポーネント化技術の研究開発 (152103014)

R&D of FPGA componentization technology for low power robots

研究代表者

大川 猛 宇都宮大学

Takeshi Ohkawa Utsunomiya University

研究期間 平成 27 年度～平成 29 年度

概要

ロボット開発のプラットフォームである ROS(Robot Operating System)の通信プロトコルに準拠し、電力効率の高い FPGA(Field Programmable Gate Array)を用いたハードウェア回路のコンポーネント化技術の研究開発した。データ入力から出力の遅延時間(Publish/Subscribe 通信を含む)と消費電力の評価結果、通常の PC と比較して電力性能比 10 倍を達成可能であることを示した。これにより FPGA を用いた低消費電力な画像認識処理とクラウドを連携するロボットシステムを、容易に構築可能となることが期待される。

1. まえがき

日常生活支援ロボットにおいては、ロボットとクラウドの連携が必須であり、同時にロボット本体の消費電力削減が望ましい。本研究ではロボット開発のプラットフォームとして主流となりつつある ROS(Robot Operating System)に準拠した形で、電力効率の高い FPGA(Field Programmable Gate Array)を用いたハードウェア回路のコンポーネント化を行う技術を開発する。これによりロボットにおける FPGA を用いた低消費電力な画像認識処理とクラウドを連携するシステムを容易に構築可能とすることを目的として研究開発を行った (Figure 1 参照)。

2. 研究開発内容及び成果

本研究開発(平成 27 年度から平成 29 年度)の全体目標を整理して以下に示す。

目標 1:【性能】ROS 準拠 FPGA コンポーネント技術を確立する。通常のソフトウェアによるシステムと比較して、電力効率の良い FPGA 処理を活用することで電力性能比 10 倍を達成する。成果を分かりやすく示すために、日常生活支援ロボットの実証システムを構築する。具体的には、構築に必要な ROS 準拠 FPGA コンポーネント群を開発し、それらを活用して、ロボット・クラウド連携による分散 SLAM 処理システムを開発する。前記の実証システムにおいて、ロボット本体の計算処理に関する性能電力比 10 倍を達成する。(モータ駆動等の電力は含まない)

目標 2:【機能】ROS 準拠 FPGA コンポーネントの開発、および ROS 準拠 FPGA コンポーネントを用いたロボットシステム開発の設計生産性に関する評価を行い、提案の開発手法の有用性を示す。

目標 3:【レビュー】研究開発成果および戦略について、委員会にてレビューを行う。

目標 4:【成果の可視化】査読付論文、口頭発表、特許出願を行う。開発したシステムおよび各コンポーネントはオープンソースとして ROS 公式サイトにて配布する。

これらの目標を達成するために、8 つの研究開発課題に取り組んだ。まず平成 27 年度に、

① ROS 準拠 FPGA コンポーネント化手法確立

② 画像認識処理(ラベリング)の HW(ハードウェア)化を行った。Xilinx 社製の ARM プロセッサ搭載 FPGA チップ Zynq-7020 を用い FPGA で処理することにより ARM プロセッサの 26 倍の性能電力比を実現可能であることを示した。その一方、通信を含む遅延時間で比較したところ、ソフトウェアのみを用いた場合と、ソフトウェア + FPGA の場合を比較すると、1.7 倍の性能向上にとどま

った。そのため平成 28 年度は、

③ コンポーネント化のオーバーヘッド削減

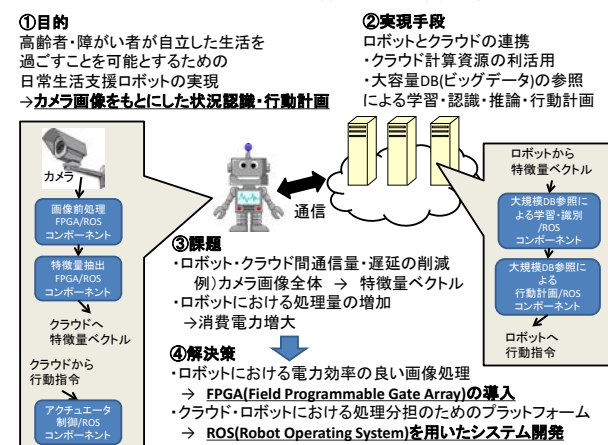
④ ROS 準拠 FPGA コンポーネントの性能評価

に取り組んだ。通信時間オーバーヘッド削減のためにハードウェア TCP/IP 通信を用いた「完全ハードウェア版の ROS 準拠 FPGA コンポーネント」の実現を検討した。ROS プロトコルの通信内容分析を行い、結果に基づいて ROS 準拠 FPGA コンポーネント(ハードウェア ROS ノード)を実現した。一般的な PC ソフトウェア ROS ノードと比較すると、通信処理遅延時間が同等(約 19ms)であるのに対して、電力は 10 分の 1 程度であることが明らかとなった (Figure 2)。ノード情報の問い合わせ(XMLRPC)とデータ通信(TCPROS)を分離実装するハードウェア構成については特許出願済みである。

⑤ ロボット本体コンポーネント群の開発

⑥ 画像認識処理(局所特徴量)の HW 化

については、平成 27 年度、プログラマブル SoC を用いた場合の ROS 準拠 FPGA コンポーネント開発のフローを分析し、FPGA の回路となる HDL と、DSL(Domain Specific Language)で記述したコンポーネント定義ファイルを入力し、プログラマブル SoC 上の ROS ノードを自動生成するツール(cReComp)を提案し開発した。平成 28 年度は、cReComp の機能向上のための開発を行い、オープンソースソフトウェアとして公開した。更に、平成 29 年度は、完全ハードウェア ROS ノードを Vivado HLS から生成されたハードウェアをもとに構成する手順の確立を行った。



キー:ROS準拠FPGAコンポーネント技術の開発

Figure 1 研究開発の概要

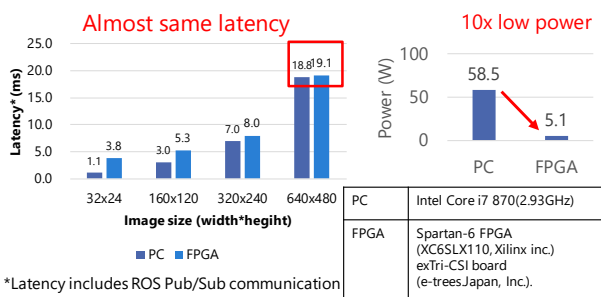


Figure 2 ハードウェア ROS 準拠 FPGA コンポーネント性能電力評価結果

⑦ クラウド上での SLAM マッピング処理の開発

⑧ システム統合と評価(性能・設計生産性)

については、生活支援ロボットを始めとする自律移動ロボット応用において重要な課題である SLAM (自己位置マッピング) 処理を低消費電力ロボットで実現する手法を検討した。FPGA とクラウドの連携による画像認識を実証する性能シミュレーションを行い、提案の FPGA コンポーネントを用いることで、ロボット側の処理負荷を大幅に削減可能であることを明らかにした。また、オープンソース実装である ORB-SLAM を題材として実証実験を行った。

以下に、本研究開発終了時点における、目標に対する成果をまとめて示す。

目標 1 : 【性能】については、プログラマブル SoC (FPGA+ARM プロセッサ) を用いる場合と、完全に FPGA のみで構成する場合の、2 通りの ROS 準拠 FPGA コンポーネントの構成提案を行い、設計手法を確立し、画像処理を題材として通信を含めた電力性能比 10 倍を達成することができた。また、ロボット・クラウド連携の分散 SLAM ソフトウェアを実装・評価した

目標 2 : 【機能】については、設計ツールの開発を行い、被験者実験による設計生産性評価を行うことができた。また、高位合成で生成したハードウェアの ROS コンポーネント化が可能となった。

目標 3 : 【レビュー】は、期間中 2 回の委員会を開催しフィードバックを得ることができた。

目標 4 : 【成果の可視化】については、査読付き論文 1 件(英語)採録、査読付き口頭発表 5 件 (うち英語 4 件)、口頭発表 25 件 (うち英語 4 件)、特許出願 1 件、受賞 4 件の研究開発成果を上げた。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究開発成果により、FPGA 技術者が開発した高性能な回路 (例: 画像処理、画像認識処理 (特徴抽出、ニューラルネットワークによるクラス分類、一般物体認識など)、セキュリティ(暗号化・認証)、ビッグデータ処理 (データマイニング等)) を、ROS の枠組みでソフトウェアから容易に使えるようになると、ロボットへの FPGA 導入が加速すると考えられる。また ROS を用いると、クラウド上のサービスとの連携も容易になる。

社会実装が見込まれる応用分野としては、以下が有力であると考えられる。

- ・産業用ロボット機器 (インダストリー4.0)
 - ー工場の目視検査工程の FPGA による代替

- ・自動運転
 - ー画像認識部分
- ・生活支援 パートナーロボット・サービスロボット
 - ー見守り画像認識処理の FPGA 化とクラウド連携

本研究成果をロボット開発に応用することで、新たな軸からのアプローチが可能となり、ロボティクスにおける先行研究への急速なキャッチアップが可能となる。

波及効果創出への取り組みとして、産業用ロボット機器 (インダストリー4.0) への ROS 準拠 FPGA コンポーネントを導入可能な応用事例に取り組んでいる。

4. むすび

本研究開発で得られた成果は、「ロボットに FPGA 上の高性能な回路を容易に組み込むことが可能になる」技術である。今後、ROS 準拠 FPGA コンポーネントをロボットに導入し低消費電力ロボット・クラウド連携システムの構築に役立つことを期待する。

【誌上発表リスト】

- [1] Takeshi Ohkawa, Kazushi Yamashina, Hitomi Kimura, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, “FPGA Component Technology for Easy Integration of FPGA into Robot Systems”, IEICE Transactions on Information and Systems (Special Section on Reconfigurable Systems), Vol.E101-D, No.2, pp.363-374, (2018.02)
- [2] Kazushi Yamashina, Hitomi Kimura, Takeshi Ohkawa, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, “cReComp: Automated Design Tool for ROS-Compliant FPGA Component”, Proc. 2016 IEEE 10th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip, pp.138-145, Sep. 2016. (2016.09)
- [3] Yuhei Sugata, Takeshi Ohkawa, Kanemitsu Ootsu and Takashi Yokota, “Acceleration of publish/subscribe messaging in ROS-Compliant FPGA Component”, The 8th International Symposium on Highly Efficient Accelerators and Reconfigurable Technologies (HEART2017), (2017.06)

【申請特許リスト】

- [1] 大川 猛、菅田 悠平、大津 金光、横田 隆史, “通信デバイス、情報通信端末装置及び通信方法”, 特願 2017-178197, 2017 年 9 月 15 日

【受賞リスト】

- [1] 山科 和史、電子情報通信学会リコンフィギャラブルシステム研究会 優秀リコンフィギャラブルシステム講演賞 若手部門, “FPGA 処理をソフトウェアコンポーネント化する設計ツール cReComp の高機能化の検討”, 平成 28 年 11 月 29 日
- [2] 山科 和史、第 60 回システム制御情報学会研究発表講演会 (SCI' 16) SCI 学生発表賞, “FPGA 処理を ROS コンポーネント化する自動設計環境”, 平成 28 年 5 月 25 日
- [3] 菅田 悠平、情報処理学会 第 79 回全国大会 学生奨励賞, “ROS の Publish/Subscribe 通信のハードウェア実装による高速化の検討”, 平成 29 年 3 月 18 日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.is.utsunomiya-u.ac.jp/pearlab/openrroc/ja/>