

ROS 準拠 FPGA コンポーネントを用いた複数ロボット経路探索処理の高速化

橋本 紘樹[†] Daniel Pinheiro Leal[‡] 渡辺 晴美[†] 大川 猛[†]

東海大学情報通信学部組込みソフトウェア工学科[†]

Engineering Science, Electrical and Computer Engineering, Toronto University[‡]

1. はじめに

ROS (Robot Operating System) およびその次世代バージョン ROS2 は、ロボットシステム開発において不可欠なオープンソースソフトウェアである。ROS2 を用いることでロボットの動作計画や行動指示を容易に実装することができる。しかし、複数ロボットシステムを開発する場合、計画処理はロボット台数の増加と共に計算量は増加し、ロボット搭載の低消費電力プロセッサを用いる場合には処理時間の増加が問題である。一方、FPGA (Field-programmable gate array) は低消費電力で高速な処理が可能であるが設計コストが高く、ロボットへの導入が困難である。

この問題に対して、F0rEST (FPGA-Oriented Easy Synthesizer Tool) [1] を用いて、ROS 準拠 FPGA コンポーネントの枠組みで生成した FPGA モジュールを ROS2 [2] ノードとして実現することが提案された。この枠組みを用いることで、複数ロボットの計画処理を、FPGA を用いて加速するシステムの実現が容易になると考えられる。

本稿では FPGA を用いた複数ロボット計画処理の ROS2 ノード化に関する初期評価について報告する。

2. 複数ロボット経路探索システムの設計

本研究で提案する複数ロボットシステムは、ロボット台数の増加と共に計算量が増加する計画処理を、FPGA を用いた ROS2 ノードとしてシステムに実装することで、システム全体の処理時間を短縮する方式である。複数ロボットシステムの全体像を図 1 に示す。

本研究の複数ロボットシステムの計画処理として、単一始点最短経路問題 [3] に注目した。図 2 に示すように、単一始点最短経路問題とは特定の 1 つのノードから他の全ノードとの間の最

短経路問題のことである。本研究では、この問題を解くアルゴリズムとしてベルマン-フォード法を採用した。このシステムモデルから、FPGA 処理を含む ROS2 実装を生成することによりモデル駆動設計を可能とすることを旨とする。

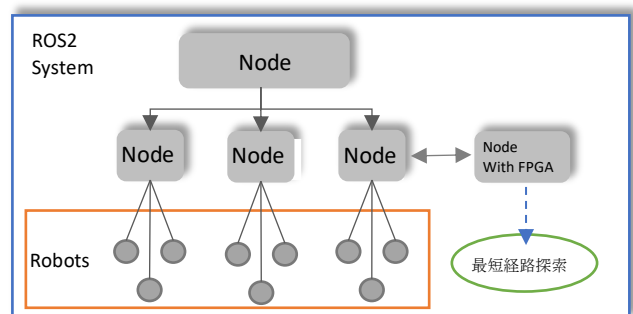


図 1 提案する複数ロボットシステムの全体像

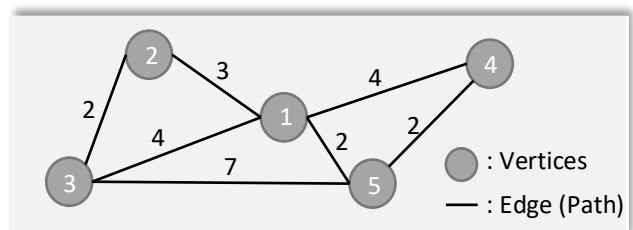


図 2 単一始点最短経路問題のグラフマップ

3. F0rEST (FPGA-Oriented Easy Synthesizer)

本研究で用いる F0rEST とは、Xilinx Zynq SoC OR Zynq UltraScale+ MPSoC を用いた HLS ベースの FPGA モジュールを ROS2 システムに統合するオープンソースツールである。ロボット計画処理を Vivado HLS で高位合成して生成した FPGA ロジックを自動的に ROS2 ノード化し、PYNQ ドライバと、他の ROS2 モジュールが FPGA ハードウェアと容易に通信可能にする ROS2 インターフェイスを生成する。

図 3 は、F0rEST によって生成される ROS2-FPGA と呼ばれるコンポーネントの構造を表している。FPGA ロジックと HLS デザインに関する情報がコンフィグレーションファイルとして与えられると、F0rEST は PYNQ ドライバと Zynq Soc の処理システム (PS) 部分で実行される ROS2 ノードをソフトウェアインターフェイスとして生成する。生成されたソフトウェアインターフェ

Acceleration of Multi-robot Path Search Processing using ROS-compliant FPGA Components

[†] Hiroki Hashimoto, Harumi Watanabe, Takeshi Ohkawa
Department of Embedded Technology, School of Information and Telecommunication Engineering, Tokai University

[‡] Daniel Pinheiro Leal

Engineering Science, Electrical and Computer Engineering, Toronto University

イスは外部のノードと FPGA ロジック間の通信を可能とする。

本研究では入力用のトピック (fpga_in_topic) にグラフデータ (.dat) をパブリッシュするノードを用いてデータ入力し, FPGA が入力データを基に最短経路を算出, 最短経路の解となる2つの配列 (cost_from_parent, parent_node) を出力用のトピック (fpga_out_topic) にパブリッシュする。

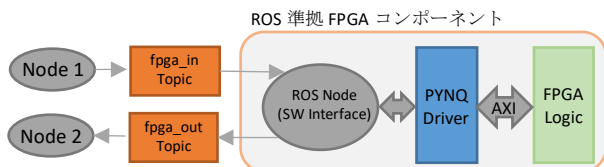


図 3 ROS 準拠 FPGA コンポーネント

4. 評価

複数ロボットを用いた最短経路問題を計画処理として実装した ROS 準拠 FPGA コンポーネントを含めた複数ロボットシステムの評価を行なった。評価のために用いた処理環境は, OS: Ubuntu 18.04.5 LTS, ROS2: Eloquent Elusor である。用いた入力データセットは 9th DIMACS Implementation Challenge[4]が提供するグラフ生成ツールで作成した2種類のグラフデータ (.p2p ファイル, .gr ファイル)を基に生成した3つの .dat ファイル (n6.dat, n8.dat, n2048.dat) である。これらのデータファイルの詳細を, 表 1 に示す。

以下の評価を行なった。

1) 作成したアルゴリズムを実装した ROS 準拠 FPGA コンポーネントが正しく動作しているか確認するために処理結果をソフトウェアのアルゴリズム処理結果と比較し, 正常に動作していることを確認した。

2) 処理時間の測定を行った。評価環境としては, PC (CPU: Intel(R) Core(TM) i7-7660U CPU @ 2.50GHz, Memory:8GB) で処理を行った場合 (ソフトウェア) と RaspberryPi3 Model B V1.2 で処理を行った場合 (ソフトウェア), FPGA (Zynq UltraScale+ MPSoC ZCU104) で処理を行った場合の3つの環境を用いた。

本評価では, 入力データファイルからデータを読み込む時間を除いたアルゴリズム単体の処理時間を測定した。

処理時間の測定結果を, 表 2 に示す。ノード数が少ない (n=6, n=8) グラフの場合はソフトウェアでの処理時間が FPGA による処理時間よりも短くなった。ノード数が多い (n=2048) グラフの多い場合, PC 環境での処理時間が最も短かった

ものの, FPGA での処理時間は RaspberryPi3 と比較して, 処理時間が約 2 分の 1 であることを確認した。すなわち大きなグラフデータを問題として扱う場合, 提案の ROS 準拠 FPGA コンポーネントは, RaspberryPi3 以上の性能で単一始点最短経路問題を処理することが可能であることを示している。

表 1 評価に用いたグラフデータ

	n6.dat	n8.dat	n2048.dat
ノード数	6	8	2048
エッジ数	10	12	8192

表 2 Bellmanford アルゴリズム処理時間 (ms)

	n6.dat	n8.dat	n2048.dat
ZCU104	0.711	0.706	504.157
Local PC	0.043	0.055	71.931
RapPi3	0.272	0.289	1183.632

5. おわりに

本稿は, 複数ロボットを用いた計画処理の ROS 準拠コンポーネント化およびシステムの高速度化を目的とし, 自動化ツール (F0rEST) を用いて FPGA による計画処理 (単一始点最短経路問題) を ROS2 ノード化しソフトウェアと統合したシステムの設計と評価について述べた。結果として, 膨大な入力データを扱う場合において, ROS 準拠 FPGA コンポーネントは RaspberryPi のような小型コンピュータ以上の性能で, 単一始点最短経路問題を処理することが出来る可能性を示した。なお, データの入出力処理・ROS の通信にかかる時間の削減や作成した FPGA ロジックの更なる効率化は今後の課題である。

謝辞

本研究は, JST, CREST, JPMJCR19K1 の支援を受けたものです。

参考文献

- [1] Daniel Pinheiro Leal, et al., “Automa-ted Integration of High-Level Synthesis FP-GA Modules with ROS2 Systems,” Proc. Intl. Conf. on FPT20 Dec. 09-11, 2pages, 2020.
- [2] Yuya Maruyama et al., “Exploring the performance of ROS2,” IEEE Intl. Conf. on Embedded Software, pp.1-10, 2016.
- [3] Tianrui Li et al., “An efficient algorithm for the Single-Source Shortest Path Problem in graph theory,” Proc. 3rd IEEE Intl. Conf. on ISKE pp.152-157, Nov. 2008.
- [4] Demetrescu, Camil et al., “The Shortest Path Problem,” Ninth DIMACS Implementation Challenge. Vol. 74. American Mathematical Soc., 2009