

## F0rEST による ROS2-FPGA ノード自動生成手法の評価

森 隼人<sup>†</sup> 菅谷 みどり<sup>‡</sup> 大川 猛<sup>†</sup>東海大学情報通信学部組込みソフトウェア工学科<sup>†</sup>芝浦工業大学工学部情報工学科<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

ROS(Robot Operating System)2[1]は通信ミドルウェアに DDS(Data Distribution Service)を採用しているリアルタイムの組込みシステムに適したミドルウェアである[2]. 主に, 低消費電力であることが求められる複数ロボットの制御や組込みマイコン環境での活用が期待されている. 一方, 低消費電力・高性能のハードウェア処理を可能とする FPGA(Field-programmable gate array)の導入が期待されている[3].

そこで, FPGA の ROS2 システムへの容易に統合を可能にするオープンソースツールである F0rEST(FPGA-Oriented Easy Synthesizer Tool)が提案された[4]. F0rEST を用いることで, FPGA コンポーネントを ROS2 システムに容易に統合することが可能であり(以下, ROS2-FPGA ノードと呼ぶ), 設計コストの低減が期待される. 一方で, F0rEST による ROS2-FPGA ノード自動生成手法は有用性における評価や課題が明らかでない. そこで本研究では F0rEST の機能拡張に向けて FPGA コンポーネントの ROS2 システム統合における有用性及び課題を明らかにする事を目的とする.

本稿では, ROS2-FPGA ノード自動生成ツールである F0rEST のサンプルプロジェクトを題材に ROS2-FPGA システムを開発し, 自動生成手法について評価した結果を述べる.

## 2. F0rEST による ROS2-FPGA ノード自動生成

F0rEST は, PYNQ フレームワーク上で動作する HLS(High Level Synthesis)ベースの FPGA ロジックを ROS2 システムに容易に統合することが可能なオープンソースツールである[4]. 図 1 に F0rEST によって生成される ROS2-FPGA ノードのシステム構造を示す. F0rEST では, HLS ベースで生成した FPGA ロジックと通信する PYNQ ドライバ及び C 言語で書かれた FPGA 回路の関数呼び出しパラメータを基に, 他の ROS2 ノードと通信する為の独自メッセージを自動生成する.

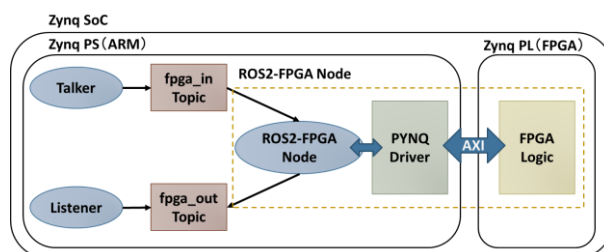
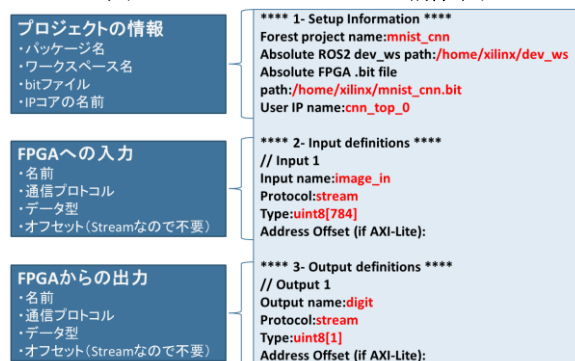


図 1 ROS2-FPGA ノードの構成図



## 図 2 設定ファイル(config.forest)の記述例

本研究では, F0rEST のサンプルプロジェクトの 1 つである「Convolutional Neural Network for MNIST Digit Recognition」を用いて, 手書き数字認識処理の ROS2-FPGA ノード開発を題材に自動生成手法の評価を行った. 以下に, 本評価で行う F0rEST のサンプルプロジェクト実施手順を示す.

- ① Vivado HLS を用いて C 言語関数を高位合成し, IP コアを生成する.
- ② Vivado を用いて生成した IP コアを含む FPGA 回路を作成し, bitstream ファイルを生成する.
- ③ 設定ファイル(config.forest)に FPGA 回路の C 言語関数呼び出しパラメータを記述する.
- ④ Python スクリプト(forest.py)を実行する.
- ⑤ ROS2-FPGA ノードの動作確認を行う.

また, 図 2 に記述例として本評価で用いたサンプルプロジェクトにおける設定ファイルを示す. 設定ファイルには, ROS2 のパッケージ情報や FPGA の入出力信号のデータ型や通信プロトコルを記述する必要がある.

FPGA 開発環境としては, Vivado HLS 2019.1 及び Vivado 2019.1 を使用した. また FPGA ボードは Xilinx 社製 PYNQ-Z2 (XC7Z020-1CLG400C) を用いており, OS には PYNQ v2.5 を用いた.

Evaluation of Automatic ROS2-FPGA Node Generation Method by F0rEST

<sup>†</sup>Hayato Mori, Takeshi Ohkawa, Tokai University  
<sup>‡</sup>Midori Sugaya, Shibaura Institute of Technology

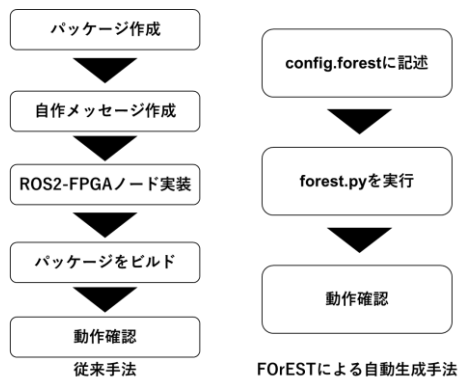


図 3 従来手法と F0rEST による自動生成手法の比較

表 1 評価結果

	従来手法	F0rESTによる自動生成手法
開発時間[分]	31'35	7'45
必要コード数[行]	113	10

### 3. 評価

図 3に従来手法と F0rEST による自動生成手法の開発フロー比較を示す。従来手法ではパッケージ作成から PYNQ ドライバの開発まで全て手動で行う必要があった。一方、自動生成手法では設定ファイル(config.forest)の記述と Python スクリプトの実行が主な作業工程である。本評価では、従来手法で行った場合と、F0rEST を用いて自動生成した場合のそれぞれ動作確認を行うまでの時間を開発時間とする。なお、どちらも予め ROS2 のサンプルファイルである talker/listener ノードおよび FPGA ロジックは用意されているものとし、FPGA 開発にかかる時間は本評価の測定範囲外とした。

表 1に評価結果を示す。ここでは評価指標として、開発時間[分]と、開発したソースコードや設定ファイルを必要コード数 [行]として用いる。従来手法では、開発に 31 分 35 秒かかった一方で、自動生成手法では、約 1/4 である 7 分 45 秒で開発することが出来た。また、必要なコード行数は従来手法では 113 行、自動生成手法では 10 行であり、約 1/11 のコード数で実装する事が出来た。結果より、サンプルプロジェクトを題材とした開発においては、開発時間、コード数共に削減することが可能であると言える。

### 4. 考察

F0rEST を用いた場合、ROS2-FPGA が必要とする ROS2 パッケージをまとめて生成する点が有用であった。通常、独自のメッセージ型を持つ ROS2 ノードの開発においてはメッセージ用と処理ノード用の 2 つのパッケージの作成が必要であるが、F0rEST は必要な 2 つのパッケージを自動で生成する為、開発時間を削減出来た。また、

PYNQ においては Python から FPGA 回路を駆動する為にメモリアクセス用の mmio パッケージを用いるが、F0rEST は FPGA 回路の駆動に必要な Python コードを自動生成する上、ROS2 ノードとして Topic からメッセージを受信した際に C 言語関数を呼び出すコードを自動生成する。したがって、FPGA 回路の駆動方法を意識せずに ROS2 ノードとして動作させる事が可能な点は有用であると言える。

一方で、F0rEST によって生成される ROS2-FPGA ノードは Python プログラムであり、Python2 系と Python3 系が混在する環境では F0rEST に必要な Python パッケージのインストールや環境設定を誤りやすい。また、ROS2-FPGA ノード開発では設定ファイルの記述に Vivado の出力ファイルを参照する必要があり、設定手順が煩雑である。すなわち、F0rEST が ROS2 (Python)・FPGA の両方の技術領域の知識を必要としないツールを目指しているのに対して、現状は両方の領域の知識を必要とする課題が残っている事が分かった。

### 5. 結論

本研究では ROS2-FPGA ノードを自動生成するツールである F0rEST を用いた場合と用いない場合の、ROS2-FPGA システム開発時間を比較した。結果として、サンプルプロジェクトを用いた ROS2-FPGA ノード開発において、従来手法に比べて開発時間は 1/4、コード行数は 1/11 であった。

F0rEST による自動生成の手順を明確化した結果、F0rEST の有用性は(1)必要な ROS2 パッケージをまとめて生成出来る点、(2)FPGA 回路の駆動方法を意識せずに ROS2 ノードとして動作させる事が出来る点、であった。一方、課題は(1)Python の環境設定、(2)FPGA 合成結果に基づく config.forest のパラメータ設定が煩雑である点であり、今後 F0rEST の機能拡張の際には考慮すべきである。

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

### 文献

- [1] ROS2 github, <https://github.com/ros2/ros2>
- [2] Yang, Yuqing, and Takuya Azumi. "Exploring Real-Time Executor on ROS 2." 2020 IEEE International Conference on Embedded Software and Systems (ICCESS). IEEE, 2020.
- [3] 大川猛, et al. "ROS2/DDS における FPGA を用いた Publish/Subscribe 通信処理の初期検討." 研究報告組込みシステム (EMB) 2018.3 (2018): 1-2.
- [4] D. Pinheiro Leal, M. Sugaya, H. Amano, T. Ohkawa "Automated Integration of High-Level Synthesis FPGA Modules with ROS2 Systems", International Conference on Field Programmable Technology (FPT), 2020.