

# ロボット応用のための ROS 準拠 FPGA 画像処理コンポーネントの基礎設計

山科和史<sup>†</sup> 大川猛<sup>†</sup> 大津金光<sup>†</sup> 横田隆史<sup>†</sup>

<sup>†</sup>宇都宮大学工学部情報工学科

## 1 はじめに

ロボットシステムにおける消費電力の制約は大きく、高性能のマイクロプロセッサを導入できないため FPGA を用いた制御・処理のハードウェア化による処理性能の向上が期待される。一方、FPGA を用いたハードウェア回路の開発は開発コストが大きい。一般にロボット開発は多岐にわたる専門分野によって成り立っており開発コストが大きい。高性能な FPGA による処理を少ない開発コストでロボットシステムに統合する技術が求められている。そこで我々は FPGA を用いた制御・処理を、ロボット用の基盤ソフトウェアである ROS(Robot Operating System) に準拠したコンポーネントとして用いるための研究を行っている。ROS のプロセスと FPGA の処理で構成される ROS 準拠のコンポーネントは、ROS によって構築されたロボットシステムに容易に統合可能とすることを大きな目的とする。

本稿では画像認識処理の一つであるラベリング処理を FPGA 上で行い、ROS のプロセスと連携する ROS 準拠コンポーネントの基礎設計について述べる。

## 2 ROS (Robot Operating System) の概要

ROS は OSRF (OpenSource Robotics Foundation) によってオープンソースで公開されている [1] ロボットシステムの運営を行うためのミドルウェアであり、おもな動作プラットフォームは Linux である。ロボット開発のためのさまざまなアプリケーションを作成するためのライブラリとツールを提供するとともに、ロボットシステムに関わる処理や制御の実行、管理を行う。ROS の大きな目的はロボット工学分野の研究・開発におけるコードの“再利用”を支援し、処理や制御をコンポーネント化(部品)してそれらをつなぎ合わせることでロボットシステムの構築を可能とすることである。また ROS はプロセス間同士の通信モデルとして、Publish(配信)/Subscribe(購読)を採用しており各プロセスは、図 1 に示すモデルで通信を行う。

プロセスとプロセスはトピックを介してメッセージの Publish(配信)/Subscribe(購読)を行い、データのやり取りをすることで、制御や処理を行う。ここで述べたトピックとは、各プロセスが配信/購読するメッセージの内容を区別するための名前であると同時に、メッセージが通過する専用の経路である。トピックの中に

は自分の名前に属するメッセージのみが存在し、各プロセスは自プロセスに関連したトピックへの配信/購読を行う。

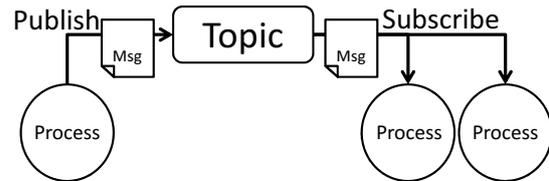


図 1: ROS におけるシステム通信モデル

## 3 ROS 準拠コンポーネント基礎設計

### 3.1 コンポーネントに対する要求および実装方針

実現する ROS 準拠コンポーネントの最大の特徴は、ROS のプロセスと FPGA 上に実装した回路が同時に存在し、協調処理を行うことである。協調処理を行うためには ROS プロセスによるソフトウェアの処理と FPGA による処理との間で、双方の入出力を行うインターフェイスが必要である。またソフトウェアのみによって処理を行っていたロボットシステムの一部の処理を FPGA に委託する際に ROS プロセスと FPGA 間での通信が発生するため ROS 準拠コンポーネントで行う処理は、通信時間による遅延を含めたとて要求性能を満たすことが必須である。したがって ROS 準拠コンポーネントを実現するうえで重要な要求は以下の 2 点である。

- FPGA のインターフェイスとなるソフトウェアと他の ROS プロセスは、ROS システム上で同等の扱いが可能であること
- FPGA と ROS プロセス間の通信遅延は、処理全体の性能の向上が可能な程度であること

これらの要求は、FPGA による処理が必要なロボットシステムへ ROS 準拠コンポーネントを統合するとき、すでに存在する ROS プロセスとの互換性を保ち、FPGA の容易な接続を可能にするとともに、処理全体の性能を向上するために必要である。

実現する ROS 準拠コンポーネントのモデルを図 2 に示す。ROS 準拠コンポーネントが行う処理の役割であるが、実際のロボットに関する処理(画像処理など)は FPGA 上に実装した回路上で実行する。ROS プロセスは FPGA 上で実行する処理に必要な入力データの用意を行い、FPGA への入力を行う。また、FPGA によって処理された出力データの受け取りと他の ROS プロセスへの受け渡しも行う。したがって ROS 準拠

Fundamental Design of ROS Compliant Components of Image Processing on an FPGA for Robotic Application  
<sup>†</sup>Kazushi Yamashina

<sup>†</sup>Ohkawa Takeshi, <sup>†</sup>Ootsu Kanemitsu, <sup>†</sup>Takashi Yokota,  
 Department of Information Science, Faculty of Engineering,  
 Utsunomiya University (†)

コンポーネントにおいて具体的に実装する要素は以下の4点である。

- FPGA を用いた制御処理
- FPGA と ROS プロセス間の通信を行うインターフェイスとなる ROS プロセス
- 入力データの用意を行う ROS プロセス
- 出力データの配信 (他プロセスへ) を行う ROS プロセス

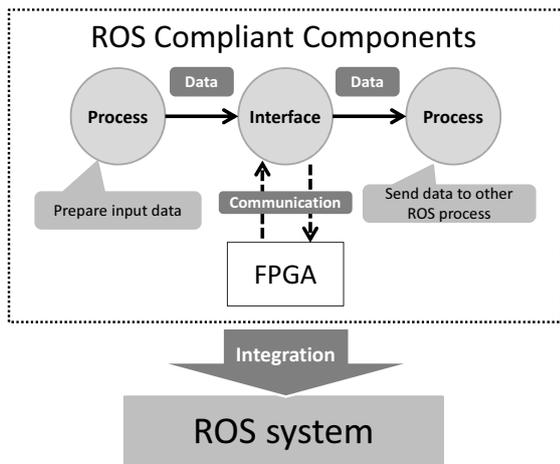


図 2: 実現する ROS 準拠コンポーネントのモデル

### 3.2 応用事例：ラベリング処理

以上のような実装方針から応用事例として、画像認識処理であるラベリング処理を行う ROS 準拠コンポーネントを実装する。実装するシステム全体のイメージを図3に示す。ラベリング処理とは二値化した画像において連続した白色画素の集合体ごとに番号を割り振る処理である。処理の用途としては、同一の番号の集合体の画素数や幅、高さなどの特徴量を求め、欠陥検査や分類処理などに用いることが出来る。

実装した ROS プロセスは3つある。1つ目は `input_image` というプロセスである。画像入力を行い、画像の情報 (縦横サイズ, RGB 値など) をトピック (`data_input`) に配信を行う。2つ目は `labeling` というプロセスである。このプロセスが FPGA と実際に通信を行い、インターフェイスとなるプロセスである。まず, `input_image` が配信した画像情報を購読し FPGA へ送信する。次に FPGA のハードウェアによるラベリング処理の結果を `labeling` へ返信する。FPGA が出力した処理結果は順次トピック (`data_output`) に配信をする。なお, 現状では `labeling` と FPGA における通信路の実装は未完了である。3つ目は `output_result` である。これはトピック (`data_output`) からラベリング処理の結果を購読しコンソール出力を行うプロセスである。

また実装したプロセスのうち, `input_image` と `labeling` 間でメッセージ通信を行い, 通信遅延を測定した。10回のメッセージ通信において, 平均して  $292 \mu\text{s}$ 、最大で  $357 \mu\text{s}$  であった。一般的に, ロボットが画像認識としてラベリング処理を1枚の画像に対して行う場合, 処理時間は30ms程度 [3] であるが今回測定した通信遅延における最大値は  $357 \mu\text{s}$  にとどまるため, 全体の処理性能には大きく影響しないことが分かった。

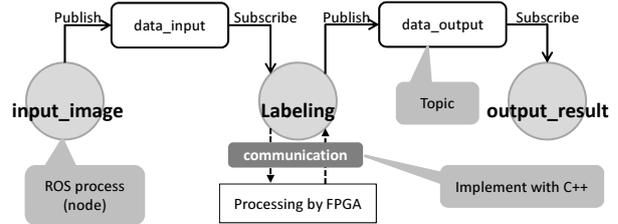


図 3: 目標とするシステムの全体像

今後の予定は, `interface_fpga` と FPGA との通信路の実装が未完了であるため, 実装をする。本研究で使用する FPGA ボードは Terasic 社製の DE2-115, FPGA チップは Altera 社製 Cyclone4 である。通信は DE2-115 に搭載しているイーサネットポートを使用し, イーサネットケーブルを用いた UDP/IP 通信 (1000Base-T) により行い, C++による実装を行う。この際に, FPGA と今回実装した ROS プロセスである, `labeling` との通信時間の測定を行う。

### 4 まとめ

本稿では, ロボット応用のための ROS 準拠コンポーネントの基礎設計を行い, 応用事例としてラベリング処理を行うコンポーネントの実装について述べた。FPGA へのインターフェイスとなるソフトウェアを ROS プロセスとして実装することで FPGA による制御, 処理は他の ROS プロセスと同等の扱いが可能である。また, 実装した ROS プロセス群と FPGA による処理を接続し1つの ROS 準拠コンポーネントとする。

今後の予定として, FPGA と ROS プロセスとの通信路の実装が完了次第, システム全体の動作確認と性能評価を行う。

#### 謝辞

本研究は, 一部日本学術振興会科学研究費補助金 (基盤研究 (C)24500055, 同 (C)24500054, 同 (C)25330055, 若手研究 (B)25730026) の援助による。

#### 参考文献

- [1] <http://wiki.ros.org/>, Open Source Robotics Foundation
- [2] 日本ロボット学会 (編), ロボットテクノロジー, オーム社, pp.224~228, 2011
- [3] 渡辺光貴, 大久保重範 “視覚センサを用いたライトレースのための自律移動ロボット”, 自動制御連合講演会講演論文集, pp.446~449, 2009