

物流向けロボットプラットフォームのオープンソースを活用した短期開発

Short-Term Development of Software Platform for Robots in Logistics Field Applying Open Source Software

江原 浩二 EHARA Koji 野口 弘貴 NOGUCHI Hiroataka 小川 昭人 OGAWA Akihito

物流・流通分野では、少子高齢化による人手不足や作業負荷の増大などが各国で社会問題化しており、AI技術やロボットなどを活用した業務の自動化が期待されている。

東芝インフラシステムズ(株)は、物流などのグローバル市場において、東芝グループが持つメカトロニクス及び画像認識技術により、長年にわたり顧客のニーズに応じて省力化に貢献してきた。今回、更なる省力化を目指し、多種多様な商品のハンドリングの自動化を目的とするピッキングロボットのプラットフォームを構築した。今まで省力化機器を開発してきた技術者が、オープンソースを積極的に活用することで短期開発を実現し、ロボットコンテストで機能・性能面のベンチマーキングポイントを確認した。

Both the labor shortage accompanying the decline in the birthrate and aging of society and the increased workloads in the logistics and distribution fields are becoming social issues in various countries. There is consequently an increasing need for the introduction of automated processes through the use of robot and artificial intelligence (AI) technologies.

In response to customers' requirements, Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation has been contributing to labor saving in logistics and physical distribution businesses utilizing mechatronics and pattern recognition technologies developed by the Toshiba Group, cultivated through the development of logistics and postal sorting systems in the global market. With the aim of further improving the efficiency of operations, we have developed a software platform for picking robots capable of automatically handling various items. The development of this platform was achieved by engineers in charge of various labor-saving equipment within a short time through the active application of open source software. We have confirmed several benchmarking points associated with the performance and functionality of our platform on the basis of test results obtained through participation in a robot competition.

1. まえがき

近年のeコマース(電子商取引)の普及によって、物流・流通分野では、多種多様な商品を大量に扱うことが増えているが、その多くは人手で処理されている。一方で、その労働力を確保することが難しくなっているため、AI技術やロボットなどを活用した業務の自動化が求められている。

東芝インフラシステムズ(株)は、ロボットの活用による、物流分野での荷降ろしや倉庫でのピッキングなどの自動化に取り組んでいる。製造現場では、以前から産業用ロボットによる定型業務の効率化が図られてきているが、多種多様な商品を扱う非定型な業務の自動化は難しいため、物流・流通分野の自動化は進んでいなかった。

しかし、オープンイノベーションの世界では、このような非定型業務向けの産業用ロボットにも適用可能な、オープン

ソースのプラットフォームであるROS (Robot Operating System)などが提供され始めている。当社は、これをいち早く取り込み、製品への応用展開を目指した開発に着手した。また、オープンイノベーションの世界における一つの流れとして、米国のアマゾンロボティクス社がアマゾン ロボティクスチャレンジ(以下、ARCと呼ぶ)というオープンなコンテストを開催している。当社は、東芝グループの一員としてARCに参加し、オープンソースを活用したロボットプラットフォームを10か月という短期間で立ち上げるとともに、社外の最先端の知見やアイデアを吸収する場として活用することにした。

更に、当社は、立ち上げたロボットプラットフォームを活用し、商品のピッキングなどを担うロボットの受注・開発を早期に行い、図1に示すような物流現場の自動・省力化に貢献していく。ここでは、ARCへの参加に向けて開発したロボットプラットフォームの概要を述べる。

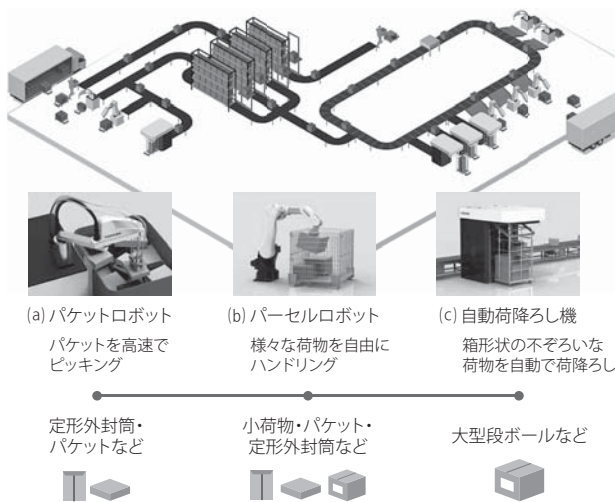


図1. 物流自動化システムの概要

東芝インフラシステムズ(株)が、物流システム向けに想定している自動化機器の一覧を示しており、これらの実現により、物流現場の自動・省力化に貢献していく。

Outline of logistics automation system

2. ARC に向けた開発

2.1 参加チームと競技の概要

ARCは、商品をピッキングするロボットのコンテストである。第1回は2015年に米国で、第2回は2016年にドイツで開催され、第3回は2017年に我が国で開催されることになった。世界中の大学や、研究機関、企業などが参加して、商品ピッキングの正確さやスピードなどを競うものである。海外からは、MIT(マサチューセッツ工科大学)やBonn大学をはじめ、世界的にも有名な大学などが名を連ねた。我が国からは、学校法人 中部大学、学校法人 梅村学園 中京大学、及び三菱電機(株)(出場3回目)のチーム、国立大学法人 東京大学(出場3回目)のチーム、国立大学法人 奈良先端科学技術大学院大学及びパナソニック(株)(初出場)のチーム、そして、国立大学法人 鳥取大学(以下、鳥取大学と略記)及び東芝グループ(初出場)のチームの合計4チームが参加した。鳥取大学と東芝グループのそれぞれの頭文字が“T”であるため、Team T2というチーム名でエントリーした。Team T2は、画像処理技術に強みを持つ鳥取大学 メディア理解研究室の研究者、画像処理とメカトロニクス技術を組み合わせて様々な自動化システムの製品化を行ってきた当社の技術者、及び東芝のロボット・画像処理技術の研究者を中心にチームを構成した。

競技は“Stowタスク”と“Pickタスク”の二つがある。また、

上位8チームは“ファイナルタスク(Stow & Pick)”を行う。Stowタスクは、トート(バケット)に入った20個のアイテム(ARC競技で使われる商品)をストレージ(収納棚)へ収納する競技で、どのアイテムをどの棚に収納したかの自己宣言と一致していることが必要である。Pickタスクは、ストレージに入ったアイテム32個のうち、ARC事務局から指定された10個を、別途指定された3種の段ボール箱に各々取り出す競技である。今年からは、競技に使用するアイテムの半数(Stowタスクで10アイテム、Pickタスクで16アイテム)は、開始45分前に渡される未知アイテムになり、それ以外は従来同様、事前配布された既知のアイテムであった。

2.2 オープンイノベーションに基づいた初のロボット開発

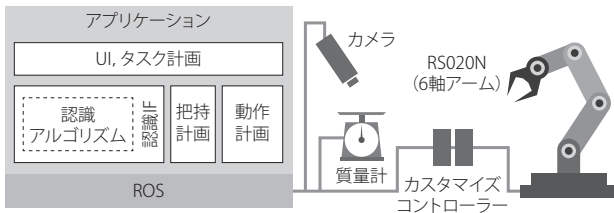
従来の産業用ロボットは、事前にティーチングと呼ばれる操作によって、決められた作業をロボットに覚え込ませて、それを繰り返すという機能を有している。一方で、多種多様なアイテムのピッキングを行うロボットとしては、個々のアイテムを物体認識して的確に把持し、移動先までの環境を認識した上で障害物を避けて動かすという高度な技術を組み合わせる必要がある。そのような中で、ソフトウェアとしては、ROSが世界中で活用され始めており、ロボティクスの要素技術の各研究・開発基盤としても積極的に採用されている。今回は、このような研究開発基盤を取り込み、認識技術やメカトロニクス技術などの技術者と研究者が連携する、オープンイノベーションに基づいた初の物流向けロボット開発となった。

3. システムアーキテクチャー

今回のプロジェクトで開発したロボットシステムのアーキテクチャーについて、以下で説明する。

3.1 ロボット向けオープンプラットフォーム

従来の産業用ロボットは、産業用ロボットメーカーが、ハードウェアからソフトウェアまでの開発を一貫して実施していた。このため、それを導入する場合には、産業用ロボットメーカーが提供する専用のロボット言語を使用し、そのハードウェアに特化した開発しかできなかった。また、開発効率や流用性などに課題があったため、近年ロボット向けのオペレーティングシステム及びソフトウェアプラットフォームが開発されつつある。このプラットフォームに準拠すれば、ハードウェアの違いなどを意識せずに各用途向けの開発を容易に行うことができる。今回の開発では、このようなロボット向けソフトウェアプラットフォームの中で、採用ユーザー数や関連ライブラリーの種類などが多く、全世界で活発に使用さ



UI:ユーザーインターフェース
IF:インターフェース

図2. 競技用ロボットのアーキテクチャー

今回開発したロボットは、ROSを活用してシステムのアーキテクチャーを構築した。

Architecture of robot developed for robot competition

れているROSを採用した。ROSは、ロボティクス研究・開発用のオープンソースの配布・管理を行う米国の非営利団体のOSRF (Open Source Robotics Foundation)によって、開発・メンテナンスが行われている。今年のARCでも、全16チーム中15チームが採用している模様で、その普及度の高さが推測できる。

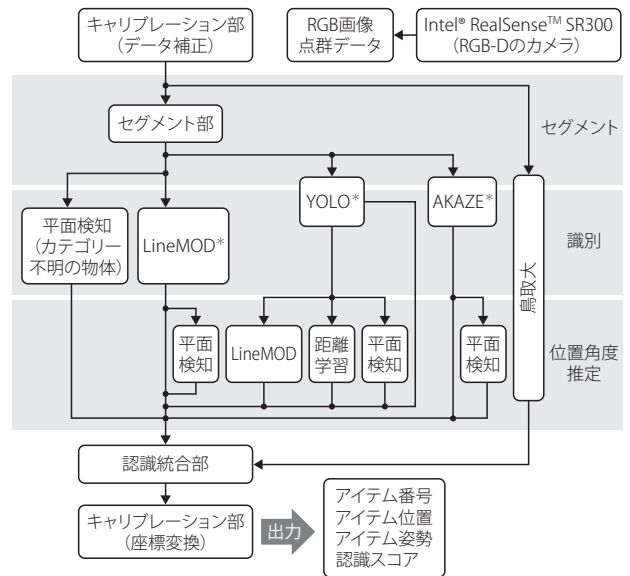
このROSを採用した結果、今回開発したロボットのアーキテクチャーは、図2に示すようになった。

ロボットは、川崎重工業(株)製の6軸アームの汎用ロボットRSO20Nを用いた。より柔軟に操作できるようにプログラムを用意し、ROS上の動作計画で生成される各関節の角度情報をストリームとして送信することで、手先を任意の姿勢・位置に移動できるようにした。この動作計画では、経路計画や、運動学、干渉チェック、障害物回避などのアルゴリズムを含む、MoveIt!というロボットの動作計画を立てるためのパッケージを活用した。また、認識、計画のデバッグ、シミュレーターとして、ROS上のデータを可視化するツールであるRVizというパッケージも活用した。ほかにも、ROSには多くの有用なパッケージが存在するため、開発を効率的に進めることができた。

3.2 画像認識処理

画像認識処理の機能は、ロボットの作業を計画、管理するタスク計画からの撮影要求に応じて、3D (3次元)カメラによる撮影を行う機能、同じくタスク計画からの認識要求に応じて、先に撮影された画像の中から複数のアイテムを認識してアイテム番号と位置・姿勢を返す機能、3D画像の距離情報を使って空間の空き状況を返す機能を実装した。

画像からアイテムを認識する機能は、図3のように、複数のアルゴリズムを並列に実装し、それぞれの特性を生かして認識率を向上させるアーキテクチャーとした。各アルゴリズム



RGB-D:赤, 緑, 青, 深さ
*画像検出, 認識用のソフトウェアパッケージの名称

図3. 画像認識の処理フロー

並列に実装した複数のアルゴリズムと、それらの特性を生かして認識率を向上させるアーキテクチャーである。

Flow of processes of image recognition

ムは、一般に公開されているオープンソースを活用して実装した。その理由は、一般公開されているアルゴリズムの特性を理解し、その実力を把握するとともに、短期間での開発を行うためである。

それぞれのアルゴリズムが、認識した結果を統合部で判断し、タスク計画に対して最も適切と思われる認識結果を返信するようになっている。

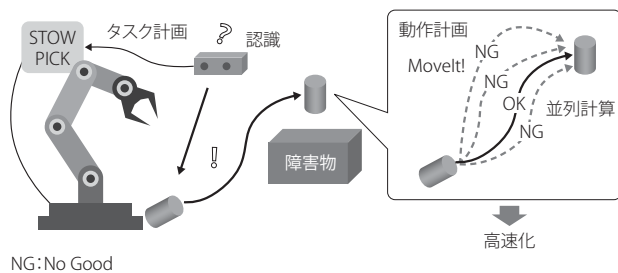
また、アイテムの種類(アイテム番号)と大まかな位置は認識できるが、具体的な姿勢については推認できない場合もあり、そのような場合には、吸着できそうな平面を返信する機能(平面検知機能)も実装した。これによって、不完全な認識結果をある程度補うことができた。

3.3 計画・制御処理

タスク計画では、画像認識処理で認識された結果を使って、対象のアイテムを把持するための軌道を生成し、実際に把持をしてから移動させ、段ボール箱などにリリースするという一連の処理を行う。軌道生成では、画像認識結果からアイテムの位置・姿勢を得て、そこから、把持する候補点が事前に登録されている把持候補点データベースを使って把持点を算出し、その把持点にハンドを移動させるまでの処理を行う。

ハンドを把持点に移動させるためには、現在のハンド位置から把持点に対して、直線上若しくは乱数で移動経路を決めながら、逆運動学を使って各サーボモーターの角度を算出していき、その際に、障害物に干渉するなどのエラーが発生することもあり、その処理が必要になる。この処理は、ROS上のコンポーネントであるMoveIt!及びその内部に入っているライブラリー類によって実現した。MoveIt!には多くのパラメーターがあり、そのパラメーターのチューニングに多くの時間を要したが、機能としては強力なもので、このような機能をオープンソースとして活用することは、製品開発を迅速に行うためには重要と考えられる。特に、図4に示すように、軌道生成にはCPUのコア数に応じた並列計算を行わせることで、高速な処理ができるように工夫した。

また、画像認識処理から空間の空き状況を返す機能を使って、ピッキングしたアイテムを段ボール箱に詰める計画を算出する箱詰め機能を実装した。この機能では、図5に



NG: No Good

図4. アイテム把持後の軌道生成の概要

アイテム把持後の軌道生成は、CPUのコア数に応じた並列計算を行わせることで高速な処理ができる。

Outline of generation of manipulator orbit after grasping item

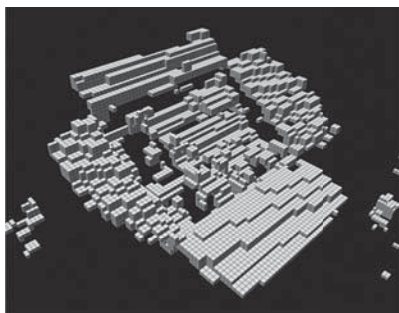


図5. OctoMapの例

空間上の空き状態を示すOctoMapを、可視化ツールであるRVizで表示させた例で、対象アイテムを段ボール箱のどこにリリースしたらよいかを求めることができる。

Example of OctoMap providing three-dimensional map of items in box

示すような段ボール箱の中でどの部分が空いているかを、OctoMapという占有率を表現する形式で画像認識処理が返す。これを用いて、段ボール箱の最も低い位置から順番に、箱詰めしたい対象アイテムが入るかどうかを算出し、どの部分にリリースしたらよいかを求めることができる。

また、ピッキング対象アイテムが画像認識結果で得られなかった場合の処理も実装した。具体的には、対象アイテムがほかのアイテムの下に隠れていることを想定し、ほかのアイテムを退けた後に、対象アイテムがその下に入っているかどうかを確認する処理である。これによって、単なる産業用ロボットとは違い、より人に近い処理をルールベースで実装することができた。

3.4 機構系

今回開発したハンドを、図6に示す。対象アイテムの多くは真空ポンプを使った吸着で把持することができるが、例えば、スポンジのように空気が抜けて吸着できないものは、箸状のハンドで挟持する方式とした。

また、棚の壁に立て掛けられている本などは、吸着パッドでもそのままでは吸着できないため、手先に7軸目を設けて180°角度を変えられるようにすることで、吸着できるようにした。

3.5 未知アイテムの認識

ARCでは、45分前に渡された未知アイテムをシステムで認識・把持できるように、短時間で登録する必要がある。そこで東芝グループは、高速撮影登録システムを開発した。

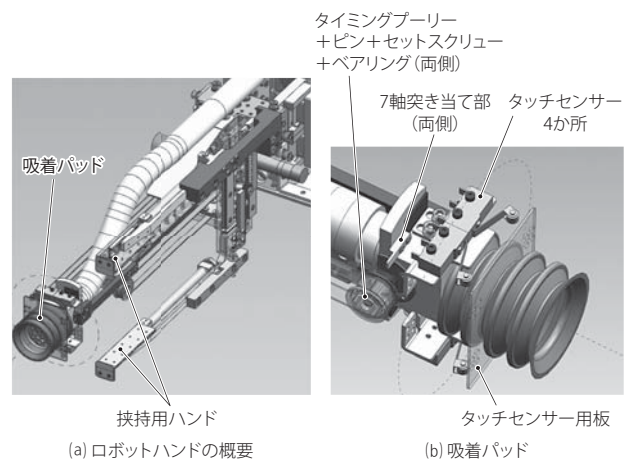


図6. 吸着と挟持機能を併用するハンド

今回開発したハンドは、対象アイテムを吸着する吸着パッドと、挟み込む箸状のハンドから成り、吸着と挟持を併用している。

Manipulator using both adsorption and clamping functions

高速にアイテムの全方位の画像を撮影する装置と、把持点・質量などのアイテムの固有情報を生成する装置などから構成されている。

この高速撮影登録システムによって、一つのアイテムをロボットシステムに登録する時間を、2分以内に収めることができた。

4. ARC の参加結果

2017年7月末に実施されたARCには、図7のようなロボットで参加した。結果は、全16チーム中、Stowタスクは11位、Pickタスクは8位であった。当初からの目標は二つあり、一つが100点以上を取ることで、もう一つが決勝に出ることであった。Pickタスクでは100点以上を取ることができたが、決勝に進むことができなかったことは残念であった。しかし、このプロジェクトをゼロから立ち上げ、10か月でここまで到達することができ、ロボット制御や画像認識のオープンソースが非常に充実してきていることを実感した。また、その一方で、ARCで、より上位の成績を残すには、画像認識部分の更なる高性能化と、認識、計画、制御のより高度な連携強化が必要であることが分かった。

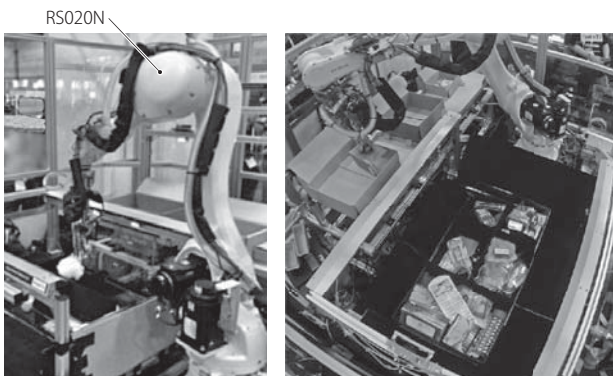


図7. ARCでのロボットの様子

Team T2のロボットは、ピッキング対象のアイテムが画像認識できない場合でも、ほかのアイテムを退けて下にあるかどうか確認する処理ができる。

Scenes of robot operating at robot competition

5. あとがき

ROSを使って開発することで、物流分野での製品化が可能なピッキングロボットのプラットフォームを短時間で構築することができた。今後、高性能な認識処理、並びに認識、計画、制御の更なる連携強化を実現し、従来よりも高度なピッキングロボットの製品開発を加速して、物流現場の自動・省力化に貢献していく。



江原 浩二 EHARA Koji
東芝インフラシステムズ(株)
小向事業所
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



野口 弘貴 NOGUCHI Hirota
東芝インフラシステムズ(株)
小向事業所
SAソフトウェア設計部
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



小川 昭人 OGAWA Akihito
研究開発本部
研究開発センター
機械・システムラボラトリー
Mechanical Systems Lab.