

# Mikata Arm + FingerVision

—センサリッチ教育研究用ロボット—

Mikata Arm + FingerVision

—Sensor Rich Robot Platform for Education and Research—

○ 山口明彦 (東北大) 柴田 善広 (ロボティズ日本支店)

Akihiko YAMAGUCHI, Tohoku University, info@akihikoy.net  
Yoshihiro SHIBATA, ROBOTIS Japan

We explore an open robot platform for education and research where we combine a robot Mikata Arm and vision-based tactile sensor FingerVision. Both Mikata Arm and FingerVision are open source projects, i.e. we can access to the source code of software and hardware design (e.g. CAD models). In this paper we try to motivate the researchers and learners of robotics and artificial intelligence to use this open platform.

**Key Words:** Mikata Arm, FingerVision, Open platform, Robotics, Artificial Intelligence

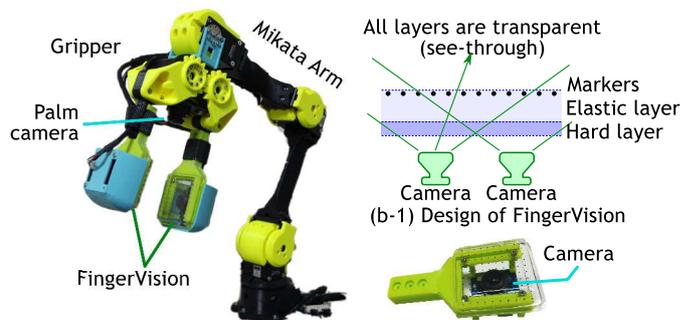
## 1 はじめに

ロボットによる物体操作 (マニピュレーション) は人間のレベルには遠く及ばず, 旧来のロボティクスの枠組みを超えて, 人工知能・機械学習を利用した広範囲なアプローチが必要である. そのようなマニピュレーション研究のプラットフォームとして, ロボットアームおよびグリッパが搭載されたシステムの導入を考えた場合, 産業用アームからホビーロボットまで多種多様な選択肢があるが, 教育研究の要求を満足するものは限られる, と感じている. 特に, 人工知能, 機械学習, コンピュータビジョンなど, 情報系ロボティクス分野における研究開発においては, ラピッドプロトotypingが重要であり, 「納品された日からプログラミングを開始」できることが必須である. このような観点から, 価格, カタログや技術仕様に記載されている情報 (自由度, アームの到達範囲, 可搬重量, 位置決め精度, サイズ, 重量, 電源, デフォルトで搭載されているセンサ等) 以外にも, 購入の際には以下のような点を考慮すべきと考える.

- (1) PC からの制御が可能か否か. 通信プロトコルや SDK の提供等.
- (2) 組み込みプログラミング, その際のプラットフォーム (OS 等).
- (3) ROS 対応レベル. 具体的には, URDF<sup>1</sup> の存在, トピック等を通して取得できる状態の詳細 (関節位置, 関節角速度, 関節トルク・エフォート等), 制御コマンドの中身や多様性 (位置制御, 速度制御, トルク制御, 目標軌道の追従等).
- (4) (1),(2),(3) のサンプルコード・事例集の存在.
- (5) プログラムのオープンソース性: 機能拡張を想定した場合, ソースコードにアクセスできた方が望ましい.
- (6) ハードウェアの拡張性, モデルパラメータ, CAD モデルの入手可否.
- (7) 周辺機器の充実度. デフォルトで搭載可能なグリッパ, 吸着, 力覚センサ, 触覚センサ等.
- (8) ユーザ数, コミュニティの存在.

エンドエフェクタについても, 同様の観点が当てはまる. ラピッドプロトotypingの観点から, ROS (Robot Operating System) に対応していることが望ましい. しかし (3) の ROS 対応レベルにはロボットごとに大きな違いがあるため, 注意が必要である. ROS 対応を謳っていても, 関節角しか状態が取得できない, 制御コマンドが目標関節角軌道のみで実行途中に変更できないなど, 限定的な使い方ができないものもある.

一方で, 人間のように多様な状況にロバストに対応できるマニピュレーションの実現には, 触覚の利用が重要である. ロボットグリッパに触覚センサを搭載することを考えた場合, Barrett-



(a) Mikata Arm + FingerVision (b-2) Prototype of FingerVision

**Fig. 1:** (a) Mikata Arm + FingerVision. Mikata Arm has 4 degrees of freedom. Two FingerVision sensors are mounted on the fingers of the gripper. A fisheye camera is also mounted on the palm. (b-1) Conceptual design of FingerVision. (b-2) A prototype.

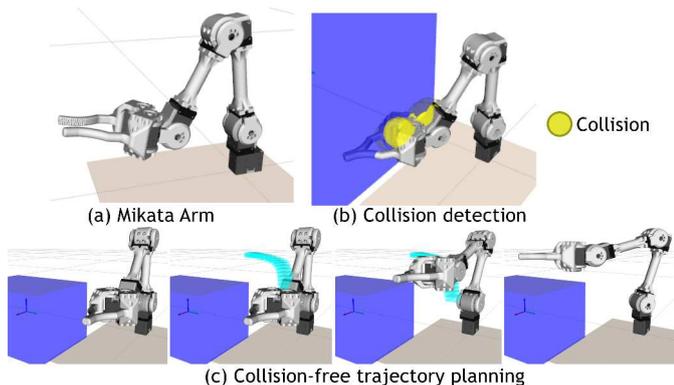
Hand [1], PR2 [2], ReFlex Hand [3] 等のようにロボットハンドに搭載されて売られている製品や, BioTac [4], RoboTouch [5], OptoForce [6], タッチエンス社の製品 [7] がある. しかしながら, 性能 (分布で力が取得できない, 滑りが取得できない, 等), 搭載の面倒さ (センサとグリッパのマウント, 配線等), 価格 (BioTac は極めて高価), 耐久面・メンテナンス性を考慮すると, いずれの製品も一長一短で, デファクトスタンダードと呼べるものがいまだ存在しない. 共通の課題として, 触覚センサ搭載によって生じる問題 (改造のしにくさ, 故障率の上昇等) もある. 最大の課題は, 「触覚センサを利用する研究者の少なさと, 共通の知見やソフトウェアが蓄積される仕組みの欠如」であろう.

本論文では ROBOTIS 社の柴田らが開発するロボット Mikata Arm (4 自由度+グリッパ 1 自由度), および山口らが開発する視覚ベースの触覚センサ FingerVision を統合した, オープンロボットプラットフォームを紹介する (Fig. 1). いずれもオープンソースプロジェクトとして開発されており, 以上の課題解決に向けて, 取り組んでいる. Mikata Arm + FingerVision の教育研究分野における有用性を議論する.

## 2 Mikata Arm

Mikata Arm はオープンソースのロボットアームであり, エンドエフェクタとして 1 自由度のグリッパが搭載されている. グ

<sup>1</sup>Unified Robot Description Format



**Fig.2:** (a) Visualization of Mikata Arm. (b) Collision detection of Mikata Arm with a virtual object by MoveIt!. (c) Planning a collision-free trajectory by optimizing spline parameters. In (a)-(c), RViz, a standard visualization tool of ROS, is used.

リッパを除く自由度は、現状では4軸だが、6軸のものも開発中である（本論文では4軸のものを使用）。ハードウェアはフレームやグリッパパーツの大部分が3Dプリンタで造形する部品であり、ソフトウェアはROSに対応している。関節駆動用のDYNAMIXELアクチュエータは世界的に入手性が高く、教育研究分野で広く採用されている。このため、論文やソフトウェア事例など、オープンで利用できるリソースが数多く存在する。以下のようなコンセプトで開発を進めている。

- (1) 3Dプリンタでパーツを自作すれば比較的低価格で用意できる。
- (2) 技術情報を得るためにメーカーとNDAを締結するなどの手間を省く。
- (3) 研究者や学生にもっと手軽に基本機能を備えたロボットアームを使って頂く。

Mikata Armは、OpenCMなどの組み込みボードを用いた制御と、シリアル通信によるPCからの制御の両方に対応している。PCからの制御も、DYNAMIXELのSDKを利用した低レベル制御や、ROSを介した制御に対応しており、SDKはPython, C++, Matlab等に対応している。SDKとROSパッケージのいずれもオープンソースで、GitHubからソースコードをダウンロード<sup>2</sup>できる。ROSパッケージ版にはURDFも付属する。このため、MoveIt!などの既存のROSパッケージを利用した衝突判定や、モーションプランニングが実行可能である（Fig.2）。ROSパッケージは開発段階で未成熟だが、DYNAMIXELの機能性（位置、速度、電流等の取得、多種の制御モード）を考慮すると、今後開発が進むことが期待される。DYNAMIXEL SDKがオープンなので自力でも開発可能である。

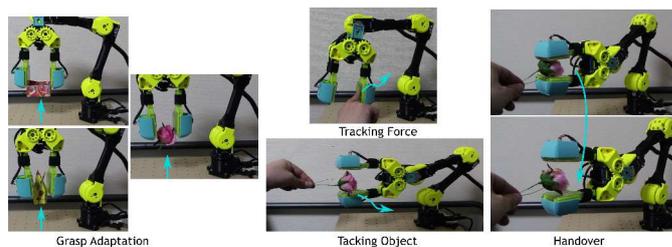
### 3 FingerVision

FingerVision（Fig.1(b)）は視覚ベースの触覚センサであり、他の視覚ベースの触覚センサと異なり、皮膚を完全に透明にしている点特徴的である[8]。これにより、カメラが皮膚の外側を捉えられ、センシングモダリティを向上させられる。FingerVisionの特徴をいくつか列挙する（より詳細には、[8, 9, 10]などを参照）：

- (1) マルチモーダル：3軸外力分布、力分布、対象物の位置姿勢推定、テキスト認識等。近接ビジョン（近くの物体に対する画像処理）により新たな情報を追加できる。
- (2) 容易に製造可能、材料費は低コスト。
- (3) 物理的に頑丈：外力が加わる皮膚とカメラが物理的に遮断されており、センサ部分であるカメラが壊れにくい。

さらに、FingerVisionをロボットマニピュレーションにおける触覚センサ普及の起爆剤とすべく、オープンソースとして公開している[11]。FingerVisionの製造方法はCADモデルや部品リ

<sup>2</sup><https://github.com/ROBOTIS-GIT/DynamixelSDK>  
<sup>3</sup>[https://github.com/ROBOTIS-JAPAN-GIT/dynamixel\\_mikata\\_arm](https://github.com/ROBOTIS-JAPAN-GIT/dynamixel_mikata_arm)



**Fig.3:** Tactile behaviors of Mikata Arm + FingerVision.

ストも含めてウェブ上で公開しており、データの処理プログラムも入手できる。FingerVisionを使った物体操作プログラムについても順次公開予定である。この取り組みにより、触覚センサを必要としている、あるいは使ってみようという研究開発者が、手軽に利用を開始でき、さらにオープンソースという形で知見を蓄積していくことを目指している。

### 4 Mikata Arm + FingerVision

Mikata Armのグリッパの指先にFingerVisionを搭載した（Fig.1）。FingerVisionを用いたマニピュレーションやその他のロボット制御例は[9, 12, 10]等で発表しており、Robotiq 2-finger adaptive robot gripper-85を搭載したBaxterロボットに対して実装されている。これらの動作をMikata Arm + FingerVisionに実装し、Baxterにおける実装との違いを検討した。基本的には、制御プログラムの大部分は共有でき、両者の違いはパラメータの値（移動量や制御ゲイン）、ヤコビアン行列の擬似逆行列が主であった。ヤコビアン行列の擬似逆行列は、目標手先速度（並進速度、回転速度）を関節角速度に変換する際に用いる。Baxterの場合、片腕7自由度のためノルム最小の擬似逆行列を用いた。Mikata Armの場合は4自由度のため、重み付き最小2乗型の擬似逆行列を用いた。

#### 滑り回避 (Holding)

FingerVisionで滑りを検知した際にグリッパの幅を調節することで、滑りを回避する制御である。対象物を落とさないように保持する際に利用できる。

#### 把持適応 (Grasp Adaptation)

一般に、把持とは、物体を持ち上げる際に滑りを発生させないような制御である。アームを上へ移動させる動作と、滑り回避制御を組み合わせることで、把持適応を実装した。折り紙や花びらのような壊れやすい・軽い・柔軟な物体であっても、持ち上げられることを示した。

#### 手渡し (Handover)

ロボットから人への、自然な手渡し動作を実現する。FingerVisionで検出した力または滑りをトリガーとしてグリッパを開くことで、手渡しを実装した。

#### 近視覚による追跡 (Tacking Object)

FingerVisionの近視覚（近くの物体を触る前に検知できる）を利用して、指の間にある物体をハンドが追跡するような動作を実装した。

#### 押した方向に動かす (Tracking Force)

FingerVisionを指で押した方向にロボットアームを動かす動作を実装した。

動作例をFig.3に示す。これらの動作の詳細は[9, 12, 10]を参照されたい。また、著者のウェブサイト<sup>3</sup>に動画を掲載予定である<sup>3</sup>。

### 5 議論

#### 自由度について

一般に手先の位置姿勢（6自由度）を任意の値に制御する場合、関節の自由度は6以上必要である。Mikata Armの4自由度版を

<sup>3</sup><http://akihikoy.net/>

用いた場合、位置は制御できるが、姿勢の動きは制約される。一方で6自由度版は4自由度版の2倍弱の価格となる(2自由度の増加のため根本関節の負荷が増え、より高性能なDYNAMIXELが必要となるため)。よって価格と自由度のトレードオフから、いずれかを選択することになる。4自由度でも卓上の対象物のピック&ブレースなどが実装できることから、簡単なマニピュレーションの実験には向いている。

#### 制御周期

PCからDYNAMIXEL5個を制御する場合、筆者の環境では50Hz程度の制御周期(状態取得とコマンド送信)であった。比較的低速な制御であれば実装できるが、ビジュアルサーボなどのリアルタイム制御を実装するには十分とは言い難い。この場合、OpenCMなどの組み込みボードを用いた制御との併用が望ましい。

#### 教育研究分野における有用性

Mikata Arm + FingerVisionプラットフォームでは、4軸でもひと通りの制御が実装でき、マニピュレーションの実験用プラットフォームとして有用であると考えられる。位置決め精度などは産業用ロボットアームに劣るが、使いやすさ、サイズの観点からは学生実験に適していると言える。さらに、触覚センサFingerVisionを利用した物体操作(柔軟物のつまみ上げ等)など、実習の段階から触覚センサに触れることで、触覚センサを使うスキルが早い段階で身に付くことも期待できる。本論文では取り上げなかったが、手のひらに搭載したカメラを用いて画像認識を行い、その結果を用いたマニピュレーションを行うなど、コンピュータビジョンとマニピュレーションの実験用としても利用できる。

## 6 まとめ

オープンソースハードウェアのロボットMikata Armと、オープンソースハードウェアの視覚ベースの触覚センサFingerVisionを組み合わせた、教育研究用ロボットプラットフォームについて考察した。いずれもオープンソースプロジェクトとして開発されており、CADモデルやプログラムにアクセスできる。本論文ではMikata ArmおよびFingerVisionの概要と動作実装例について紹介し、教育研究分野における有用性について検討した。

#### 参考文献

- [1] Barrett Technology: “About BarrettHand”, <https://www.barrett.com/about-barrethand/>. [Online; accessed March-1-2018].
- [2] Willow Garage: “PR2”, <http://www.willowgarage.com/pages/pr2/overview>. [Online; accessed March-1-2018].
- [3] RightHand Robotics: “ReFlex hand”, <https://www.labs.righthandrobotics.com/reflexhand>. [Online; accessed March-1-2018].
- [4] SynTouch INC: “Sensor technology”, <https://www.syntouchinc.com/sensor-technology/>. [Online; accessed Jan-1-2018].
- [5] Pressure Profile Systems INC: “Tactile sensor applications”, <https://pressureprofile.com/applications>. [Online; accessed Jan-1-2018].
- [6] “OptoForce Co.”, <http://optoforce.com/>. [Online; accessed Jan-1-2018].
- [7] “タッチエンス株式会社”, <http://www.touchence.jp/>. [Online; accessed Jan-1-2018].
- [8] A. Yamaguchi and C. G. Atkeson: “Combining finger vision and optical tactile sensing: Reducing and handling errors while cutting vegetables”, the 16th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids'16) (2016).
- [9] A. Yamaguchi and C. G. Atkeson: “Implementing tactile behaviors using FingerVision”, the 17th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids'17) (2017).
- [10] A. Yamaguchi: “FingerVision for tactile behaviors, manipulation, and haptic feedback teleoperation”, the 4th IEEJ international workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (SAMCON2018) (2018).
- [11] A. Yamaguchi: “FingerVision”, <http://akihikoy.net/p/fv.html> (2017).
- [12] A. Yamaguchi and C. G. Atkeson: “Grasp adaptation control with finger vision: Verification with deformable and fragile objects”, the 35th Annual Conference of the Robotics Society of Japan (RSJ2017), pp. 1L3-01 (2017).