

ロボット研究室における基礎知識・技術を習得するための 実習プログラムの構築

○片山 雷太^{a)}

^{a)} 神戸大学 工学研究科 技術室

1. はじめに

ロボット研究にも様々な研究分野があるが、使用するロボットがハードウェアからソフトウェアまで様々な要素の組み合わせで構築された複雑なシステムであることは共通している。目的とするロボットシステムを構築し、思い通りに制御して研究を行うには多様な知識・技術が要求されるため、研究入門のハードルが非常に高い研究分野であると考えている。研究室に配属された学生が短い期間で研究を進めることができるようになるには、研究に必要な基礎的な知識・技術を効果的に学ぶ必要がある。しかし、研究で使用するロボットは高価な実験装置であることが多く、産業用ロボットアームなどは安全柵の設置が必須で操作に危険を伴う場合があり、研究用の実験装置をそのまま初心者学習用に用いることは難しい。よって、ロボット研究初級者が安全かつ効果的に研究に必要な基礎知識・技術を習得可能な専用の実習環境を用意することが望ましい。以上のような経緯から、ロボット研究室で技術支援業務を行う中で、研究初心者向けに、研究に必要な基礎知識と技術を習得できるように、これまでに構築してきた実習プログラムについて述べる。

2. 実習の年間スケジュール

ロボット研究初心者用に実施している実習プログラムは大きく分けてメカトロニクス実習、ハードウェア制御実習の2つがある。メカトロニクス実習では、ミニトマトを収穫するロボットをチームで開発を行い、ロボットの構築・研究開発について全体像を把握する。対して、ハードウェア制御実習では、メカトロニクス実習では触れずに済ましていたロボットを構成する各ハードウェアの仕組みや仕様、実装技術についてより深く学ぶ内容となっている。大まかな年間スケジュールは図1の通りであり、メカトロニクス実習は研究室に学部4回生が配属された4月から7月まで、ハードウェア制御実習は10月から12月を目途に実施する。

これらの2つの実習に加えて、ロボットシステムのリアルタイム性・制御周期の重要性を学ぶためのリアルタイム制御実習も用意しているが、こちらは初心者には少し敷居が高いため、大学院進学以降で実施している。次節から各実習内容について詳しく解説する。ちなみに、全ての実習の開発環境には、世界的に利用が進んでいるオープンソースのロボット開発用ミドルウェアであるROS (Robot Operation System) を使用しており、この実習プログラムで習得した知識や技術は最前線のロボット研究にそのまま応用可能である。

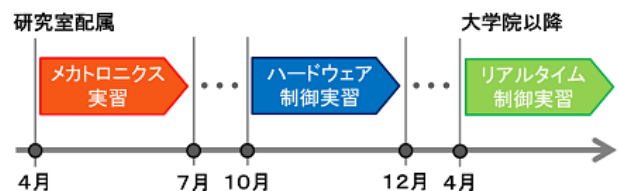


図1 実習の年間スケジュール

3. メカトロニクス実習

メカトロニクス実習では、研究室に所属する学部生・大学院生を、学年が混在する複数のチームに分けてミニトマト収穫ロボットを製作する。最終的には、遠隔・自律ロボットを用いてミニトマト収穫を模擬したタスクを遂行し、タスク達成度に応じた点数をチーム間で競う競技会を実施する。実際に構築したロボットでミニトマトの収穫を行う競技会の様子を図2に示している。収穫ロボットのベースとなる移動ロボットや、ロボットアームを構成するモーターなどの基本的な構成部分は各チームで共通とし、エンドエフェクタやカメラ、センサ部の製作、操縦デバイス、自律化などはチーム毎に開発を行う。この実習用に用意している機器は、いずれもROS上ですぐに動作可能なパッケージが公式に配布されているものを使用しており、初心者でも比較的容易に機器を動作させることが可能である。また、ROSという枠組みの中での開発となるため、システムの統合も容易であり、「機器を1つ1つ使用可能にして、それぞれの機器を統合し、1台のロボットとしてう

まく機能するように構築する」という、簡易的ながらもロボット開発の過程を実際に経験することでロボット研究開発の全体像を把握することができると考えている。また、研究でもよく使用する3Dプリンタの講習会もこの実習に併せて実施している。この実習は研究室全体で実施しており、私自身はベースとなるロボットの構築やプログラムの作成、講習会の実施、競技会の運営などを担当している。

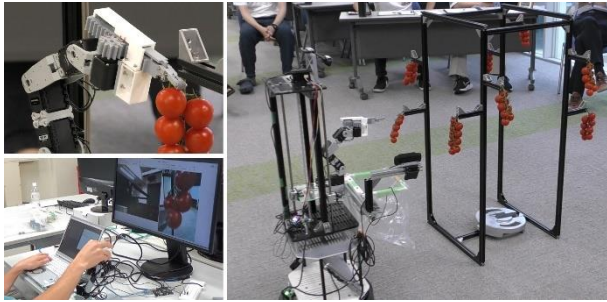


図2 ミニマト収穫競技会の様子
(左下：オペレータ側 左上,右：ロボット側)

4. ハードウェア制御実習

次に行うハードウェア制御実習では、メカトロニクス実習では学習のハードルを下げるためにあえて触れず、ブラックボックス化していたロボットを構成する各ハードウェアの仕組みや仕様、より下位層から制御を行う実装技術について学ぶ。例えば、メカトロニクス実習では、ロボットアームなどに Robotis 製の Dynamixel モーターを使用しているが、このモーターは ROS に対応した公式パッケージが配布されており、パソコンに USB 接続するだけで、簡単に認識して動作させることができる。しかし、実際の研究では、このような都合の良い機器ばかりを使うわけではなく、研究用装置を理解するためには、メカトロニクス実習で簡易化されていた部分で、どのような処理が行われて機器が制御されているかを理解する必要がある。

単体のモーターを制御することを考えた場合、まず角度センサ（エンコーダ）から現在の回転角度をカウンタなどで計測、次の目標回転角度との差分から指令値を計算し、計算した指令値を DA 変換してモータードライバに送り、モーターに必要な電流が流れることで目的の制御が実現される（図3）。このようなシステムの下位層で行われているハードウェアの制御の流れを理解することが本実習の目的である。これらを理解するためには、そもそもモーターがどのような構造で、どのように回転角度を

計測しているのか、意図した制御を実装するためにはどのような電流・電圧をモーターに指令すべきなのかといった1つ1つのハードウェアの仕組みも理解する必要がある。そこで、ハードウェア制御実習では、ロボットシステムを構成する上で一般的によく用いられるモーター、モータードライバや力覚センサなどの各ハードウェア、各ハードウェアと計算機であるパソコンを接続するカウンタ・AD/DA 変換といったインターフェース部の仕組みや役割などについて、より深く学ぶための講習会を実施している。また、一般的によく使用される各種ハードウェアを搭載した本実習専用の実験装置である1軸回転型のリーダー・フォロワ式遠隔操縦ロボット（図4）も用意しており、講習会で学ぶハードウェアについて1つ1つ確認し、実際に動作させながら実装技術の習得を可能にしている。最終的には、学生がこの実習装置を用いてシステムの遠隔制御を実装することで、システムの下位層であるハードウェアレベルから知識・技術を習得し、メカトロニクス実習よりも1段深いレベルでロボットシステムについての知識・技術を身につけることができると考えている。

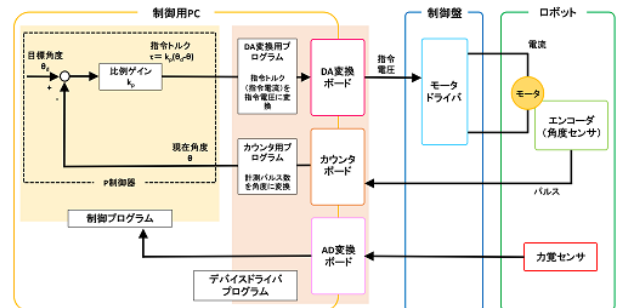


図3 ロボットのハードウェア制御フロー図

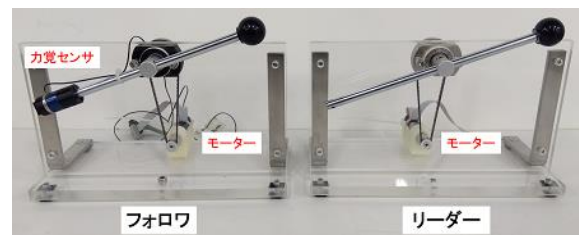


図4 実習用リーダー・フォロワ式遠隔操縦ロボット
(上：ロボット本体 下：制御盤)

5. リアルタイム制御実習

リアルタイム制御実習は、システムの構成機器による制御周期の違いや制御周期がロボットの動作に与える影響、リアルタイム制御の重要性を理解することを目的にした実習である。リアルタイム制御とは一定の時間間隔で指定したタスクが必ず実行される保証を持つ制御を行うことである。ロボットの動作生成では、搭載されたセンサなどの情報から次の動作に適切な制御出力を得る計算を周期的に行うことになるが、この周期が短い方がシステムは安定になる。ロボットシステムはモーターやセンサ、カメラなど様々な機器から構成されており、これらがうまく協調することで初めて正常に動作する。機器の操作の中には時間が掛かる処理も含まれており、システムの制御周期に関する知識や優先度が高い特定の処理を抽出して高速に実行するリアルタイム制御は、安定なロボット制御には必須と言える。

システムの構成機器の違いによる制御周期の違いには、図5に示すMaxon製モーターコントローラーEPOS4やInterface製PCIボードを使用している。EPOS4はMaxon製のモーターを直結し、EPOS4とパソコンをUSB接続することで簡単にモーターの現在角度を取得したり、目標角度を指令したりすることが可能で、実装は容易であるものの、やり取りする情報量にもよるが、1つのコントローラーから角度情報を取得するだけでも5ms程度の時間を要する。一方で、PCIボードを使用した場合、図4に示したようなモータードライバや電源を含む専用の制御盤を製作する必要がある上に、制御プログラムも難しくなるので実装の難易度は高くなるが、複数のモーターの現在情報の取得から指令までを1ms程度の制御周期で実行することも可能である。例えばモーターの位置制御を行う場合、制御周期が遅いと与える指令値のゲインを大きくしたときに発散しやすく、不安定になるのでゲインを大きくできず高精度な位置制御が難しいという問題が起こる。図4に示したハードウェア制御実習用の実験装置はEPOS4とPCIボードのどちらでも制御可能であり、このようなシステムの制御周期の違いがロボットの動作に与える影響を実際に確認できるようにしている。

また、リアルタイム制御の重要性については周辺の環境地図を作成する移動ロボットを例に解説している。環境地図を作成する移動ロボットの場合、①自己位置推定、②Lidarによる周囲環境のレンジ

測定、③周辺環境の地図作成の3つのタスクを実行する必要がある。3つのタスクのうち、①自己位置推定とは、車輪の回転角度からロボットの移動量を計算するタスクである。その時々ロボットの位置と姿勢はスタート地点からの移動量を積算することで推定するので、細かな時間間隔で計算を行わなければロボットの位置情報に誤差が生じるため、3つの中で最も優先度を高く、速い周期で実行する必要がある。次に優先度の高いタスクが②であり、地図を作成するために十分な間隔でレンジ測定を行っていく必要がある。最後に、余った時間で、タスク③の地図の作成を行うことになる。実習では、このようなマルチタスクに優先度をつけて決められた時間通りに各タスクを実行する方法について説明する。また、環境地図作成を行うロボットは図7に示すようなLidarを搭載した差動二輪型の移動ロボットを実習用装置として製作しており、実機を使用した実習も行うことができるようにしている。

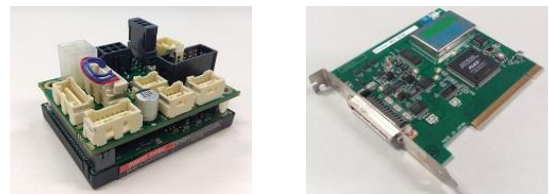


図5 インターフェースの種類
(左：Maxon製EPOS4 右：Interface製PCIボード)

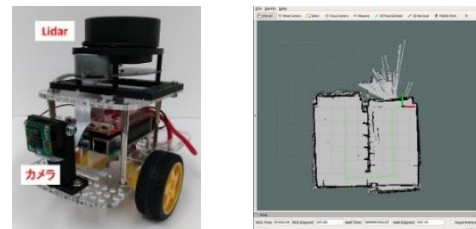


図6 周辺環境地図作成ロボットと地図作成例

6. まとめ

本発表では、ロボット研究室において学生などの研究初心者が研究に必要な基礎知識・技術を、順を追って習得可能にするために構築してきた実習プログラムについて述べた。本実習環境に使用しているROSはROS2に移行しつつあるため、現在の開発環境をROS2に対応することを今後検討している。

謝辞

本発表の実施には神戸大学 工学研究科 機械工学専攻 機能ロボット学研究室の皆様より多大なるご協力を頂きました。ここに記して厚く御礼申し上げます。