

ロボット作業工学の教育構想

An Education Plan of the Robot Task Understanding

○ 正 前田浩一 (立命館大) 正 平井慎一 (立命館大)

Hirokazu MAYEDA, Ritsumeikan University, 1916, Noji-cho, Kusatsu, Shiga
Shinichi HRA, Ritsumeikan University

Ritsumeikan University has started the new department of robotics in April, 1996. This department is for education and study of the robotics, especially newly emerging subjects beyond the conventional industrial robot, and for training of mechanical engineers who know the human factors. In the education program of the department, "Contact Mechanics", "Robot Task Understanding", and "Practice of Robot Task Understanding", that are two lectures and a practice never seen before, are programed. The Task Understanding is to analyze a robot task and conceive a task strategy executable by the robot, which performs the task under uncertain task conditions. The aim of the lectures is to teach how to do the task understanding and further tasks of mechanics, geometry, and control theory for it. The aim of the practice is to confirm the lectures and train the abilities to apply them in robot tasks. The contents of the lectures and the practice are introduced in detail.

Key Words : Education of Robotics, Task Understanding, Contact Mechanics,
Mechanics/Geometry, Control, Experiment of Robot Task

1 まえがき

立命館大学工学部では本年4月より「ロボティクス」学科を新設した。ここでは、従来の産業用ロボット技術を超えたロボティクスの新しい展開の基礎となる教育、研究を行い、ヒューマンファクタがわかるメカトロニクス技術者の養成を目指している。この教育プログラムの一環として、「接触力学」、「ロボット作業工学」、「ロボット作業実習」という従来見かけない科目を設定している。これらの科目はすべて3年次に配当する専門科目であり、現在テキストや実験装置を準備中のものであるが、そのねらいと具体的な教育方法の構想を紹介したい。ここでの構想は参考文献(1)、(2)で提案された「タスクダイレクティブロボティクス」の考え方と方法に沿ったものである。

2 ロボット作業工学のねらい

現在のロボットマニピュレータの適用可能作業の範囲を飛躍的に拡大するには、ロボットが環境と接触し運動拘束を受ける、環境の位置や力学的パラメータ等の作業条件に不確定性がある、力の微妙な制御が要求されるような作業を自律的に実行できるようにならねばならない。このような作業知能を実現するには、作業そのものを力学的に解析して不確定パラメータを含めたモデル化を行い、適当な作業戦略を導出し、作業戦略を実行するロボットの制御系を設計するという「タスク理解」が最も着実な方法である。また、ロボットは手先に力センサを有し、従来の位置/速度PID制御でなく、モデルベース制御に基づく運動/力/インピーダンス制御法により作業戦略を実行する必要がある。各種作業についてタスク理解を行いプログラムパッケージ化しておけば、ロボットはプログラムを変えることでいろいろな作業を実行できることになり、汎用性を獲得できる。

ロボット作業工学とその関連科目の目的は、ロボット利用技術の開発法すなわちタスク理解をいかに行うかと、そのために必要な力学、幾何学および制御理論に関する知識を習得させるとともに、実習により実際の作業条件の下での作業の実行を経験させ、習得した知識の確認と応用力を養うことにある。

3 「接触力学」

タスク理解における力学的解析と作業のモデリングにおいては、物体と物体が接触した場合の運動拘束や変形および相互作用力の取り扱い方が非常に重要となる。従来、このような問題の扱いは現実のロボット作業を考える上ではあまりにも理想化、単純化されすぎたものであったり、特定の対象に対して作業条件を精密に測定し現象を深く研究、解明してゆく方向のものであった。ロボット作業のモデルにおいては現象そのものの精緻な理解は必ずしも必要でなく、作業戦略を考え、ロボットを制御するためのモデルであるから、作業に必要なマクロ的な物理量さえ妥当に説明できればできるだけ構造が簡単なものがよい。また、フィードバック制御のロバスト性あるいは適応制御でカバーできる範囲で不確定なパラメータを含んでいてもよい。

このような立場からの接触に関する知見はまだ少なく、あっても広い分野に散逸している。これから研究し発展させてゆくべき新しい学問分野といえるが、ここでは現在ある材料を収集し、基礎的知識とともに整理して講義する。以下のような講義項目を予定している。

1 接触力学とは

2 剛体の接触

2.1 接触の幾何学

2.2 接触の運動学

- 2.3 力の釣合 (静力学)
- 2.4 動力学

- 3 変形を伴う接触
 - 3.1 弾性変形、塑性変形
 - 3.2 ヘルツの理論

- 4 摩擦
 - 4.1 乾性摩擦と粘性摩擦
 - 4.2 クーロン・アモントン則
 - 4.3 面摩擦

- 5 衝突
 - 5.1 質点の衝突
 - 5.2 平面剛体の衝突
 - 5.3 3次元剛体の衝突

4 「ロボット作業工学」

この科目ではタスク理解をどのように行うかを代表的なロボット作業に対する例について講義する。

タスク理解における作業戦略はロボットが実行可能 (ダイナミクスも含めて) なものでなくてはならない。これを考慮するには、ロボットの制御性能をどう評価するか、また、ロボットの運動軌道のみならず力やインピーダンスをどう制御するかに対する統一的な方法が必要となる。モデルベースド制御に基づく標準化コントローラとその上に構成する運動/力/インピーダンス制御がこの問題の答となる。すなわち、標準化コントローラにより任意のロボットの動特性は非干渉かつ正規化された2次系となり、ロボットの手先は各方向 (回転も含めて) に独立に制御できるようになる。この上に運動とインピーダンスあるいは力とインピーダンスを2自由度制御系設計理論を利用して独立に設定できる運動/力/インピーダンスコントローラを考えれば、その設計および制御性能評価は統一的にできる。また、標準化コントローラにより異なるロボット間に動特性に関する互換性が実現できるので、その上の制御系、作業戦略実行法は共通化できるという利点もある。これらとこれらの前提となる動特性モデル同定を最初講義しておく。

ロボットに作業をさせる研究例は非常に多数あるが、作業を不確定なパラメータも含めて明確にモデル化し、ロバストな作業戦略を考えたものは少ない。これまでの研究例の中から代表的かつタスク理解の考え方で説明できるものを選んで講義する。以下のような講義項目を予定している。

- 1 タスク理解とは
- 2 運動/力/インピーダンス制御
 - 2.1 ロボット動特性モデルとその同定
 - 2.2 モデルベースド制御に基づく標準化コントローラ
 - 2.3 2自由度制御系の設計
 - 2.4 運動/力/インピーダンス制御系の設計
- 3 タスク理解の実際
 - 3.1 つきあてと平面ならい作業
 - 3.2 ブロックの押し付け滑らし作業
 - 3.3 クランクまわし作業
 - 3.4 曲面ならい作業
 - 3.5 そう入作業

3.6 把持とあやつり作業

作業例については、付け加えてゆくべきものがこれから多数現われてくると思われる。これらをうまく整理、分類したり、基本作業に集約してゆくことは今後の課題である。

5 「ロボット作業実習」

この実習では、6軸力センサを手首に装着した軽作業用6自由度マニピュレータ (川重製 JS-2) と従来の位置/速度PID制御とモデルベースド制御の両方ができるロボットコントローラ (日立製) を1グループ (6人程度) に1セット与え、以下の課題を実験させる。

- 課題1 位置/速度PID制御による軌道制御でピックアンドプレイス作業を行い。現在の産業用ロボットの使用法を修得する。
- 課題2 モデルベースド制御による軌道制御を行いPID制御によるそれと比較する。
- 課題3 「ロボット作業工学」で講義した作業例のうち適当な1つを選び実験、検討する。
- 課題4 与えられた新規の適当な作業課題についてタスク理解を行い、実験により検証する。

マニピュレータの動特性や標準化コントローラ、運動/力/インピーダンス制御のプログラムおよび制御系設計支援ソフトウェアは用意されており、学生は制御系の設計と設計値の入力をすれば実験できるようにしておく。これらの環境やコントローラは現在市販されていないので立命館大学と日立製作所が共同で開発を行っている。これらはロボットの利用技術開発のプラットフォームとなるべき性質のものであるのでオープン化の方向で作業を進めている。

課題4はロボットにいかにより上手に作業させるかを競う、新しいコンセプトによるロボットコンテストと考えることができる。

6 あとがき

ロボットに環境との接触を含むような高度な作業を現実的な作業条件下でいかに行わせるかを教える、立命館大学ロボティクス学科の教育プログラム構想を紹介した。ロボット作業工学にはまだまだこれからの研究、開発に待たねばならない課題が多くあるが、ロボティクスの新しい研究、教育の方向をしめすものとして意義あるものであろう。

まだ定かではないが、運動拘束や不確定要因などがある作業とその作業戦略を記述できるロボット言語などは将来的に是非含めてゆくべきものであろう。

参考文献

- (1) 前田、「マニピュレーションの知能」、日本ロボット学会誌、11巻、2号、2-7 (1993)
- (2) 前田、「タスク理解とロボティクス」、システム/制御/情報、37巻、10号、576-583 (1993)