

解説

環境との相互作用を通して獲得される適応的マニピュレーション

Adaptive Manipulation through Interaction with Environment

細田 耕* 大阪大学大学院工学研究科
Koh Hosoda **Osaka University

1. はじめに

乱雑な机の上から見たこともないコップを取り上げることなど、われわれ人間には造作もないことであるが、これまで開発されたマニピュレーションシステムには難しい作業である。これは、現存のシステムでは人間が持っているような適応性がまだ実現されていないからであろう。本稿では、このような適応性がロボットでどう実現され得るかということについて考えてみる。

2. マニピュレーションにおける適応性

これまで、マニピュレーションについて多くの研究が行われてきており、さまざまな作業が実現可能となっている(本特集でもその一部に触れられているであろう)。これらの作業は、主に工場内など、あらかじめシステム(ロボット自身、作業対象、環境)についての事前知識が豊富である場合がほとんどであった。このような事前知識に基づいて設計者がシステムのモデル化を行い、あるいはモデルがうまく適用できるように環境を整備し、そのモデルに応じた制御則を導入することによってマニピュレーションを実現するのが一般的であった。このように、設計者が環境をうまく整え、モデルを作ることは、ロボットに適正に作業をさせるための一つの方法である。

しかしながら一方で、人間が行うように、構造化されていない環境内で、システムの厳密なモデルを設計者から与えられることなしに対象物を扱える能力も、ロボットにとって非常に重要であると考えられる。ロボット自身が、未知のシステムのモデルを獲得し、そのモデルに従ってマニピュレーションを実現する適応性こそが知能の本質であると指摘する意見もある[1]。また逆に、ロボットでこのような適応性を実現することにより、人間の適応的なマニピュレーション機能の本質がどこにあるかを、構成論的に

解明できるのではないかという期待もある。

3. 「設計者の視点」の問題点

事前知識を基に、設計者がシステムの詳細なモデルを構築する場合、(1) センサを設計者によって与えられたモデルに対してキャリブレーションする必要がある、(2) センサからモデルという中間表現を介してモータ出力を計算するため、手数がかかり、結果的に迅速な応答を実現しにくいといった問題がある。視覚をもつロボットの制御を例にとると、視覚センサをロボット内部に表現される3次元モデルに対してキャリブレーションし、観測結果を3次元座標系で表現して、それに対する制御出力を計算し、ロボットに出力することによって作業を実現するLook-and-Move方式では、中間表現である3次元座標系へのキャリブレーションが必要であったり、変換に時間がかかるために実時間性が損なわれるなど、ロバスタですばやいマニピュレーションを実現できないことが指摘されている[2]。

このような手法のもっとも重大な問題は、そのモデルが「設計者の視点」によって作られていることである。そうやって構築されたモデルは、設計者からは理解しやすいものかもしれないが、ロボットの持つセンサ、モータ系からは独立の中間表現であり、適応性実現に対する大きな障壁になっていると考えられる。

4. 適応的ロボット実現の試み

「設計者の視点」から作られたモデルを用いないことによって、適応的なロボットを実現しようとする試みがいくつか提案されている。

4.1 環境のもつダイナミクスを利用する方法

環境に対する詳細な知識を、モデルの形でロボットの制御則に直接埋め込込むのではなく、ロボットの制御則自体はできるだけ単純なものを用い、システムのダイナミクスとの組み合わせによってロバスタな作業遂行を実現しようという方法が提案されている[3][4]。システム全体の安定性を議論することによってこのような制御方法が可能となるが、一方で、結局システム全体の挙動を設計者が把握し

原稿受付 2001年11月30日

キーワード: 適応, 相互作用, 環境, 知能, マニピュレーション

*〒565-0871 吹田市山田丘2-1

*Yamadaoka 2-1, Suita, Osaka 565-0871, Japan

ておかなければ、制御方策を開発することはできないという意味で、「設計者」の視点から完全に逃れることはできていない。そもそもシステムのモデルを持たない場合には、システムの状態を観測するための複数の外界センサが必要であるはずなのだが、この方法では、設計者があらかじめシステムについて考慮しているために、このようなセンサを必ずしも必要としないのである。

4.2 反射を組み合わせる方法

適応的なロボットを構成するためにあまりにも有名なのが、Brooksのサブサンプリングアーキテクチャ[5]に代表されるような、反射の組み合わせによってロボットを動かそうという試みである。マニピュレーションに関しても、中村らによってこのような考え方が進められ、反射の組み合わせによって作業を実現するハンドの学習が実現されている[6]。これらの方法では、ロボットの内部表現としてシステムをモデル化することをあきらめた結果、システムの変化に対して驚くほど適応的な振る舞いを示すが、その適応性は、本質的に反射にあるものであって、ロボットが環境との相互作用を通して獲得する適応性ではない。そのため合目的行動を実現するのは難しい。

4.3 拘束の自律的発見

あらかじめシステムのモデルを持たないロボットの場合、システムの状態を計測するための外界センサが必要不可欠である。そして、これら複数の外界センサ間、さらにはセンサ・モータ間にも、環境(あるいは対象物)を通してある種の拘束が存在する。この拘束がロボットから見たシステムのモデルに相当すると考えられる。このような拘束を設計者からトップダウンに受け取るのではなく、ロボットが自らの振る舞いを通して獲得することにより、ロボットのセンサ・モータ系に根ざしたモデルを構築することができ、その結果キャリブレーションや変換の必要のない、適応的なシステムを作ることができる。例えば、力センサと視覚センサ間の干渉を発見し、それを除く手法[7]を用いると、ロボットがあらかじめ環境に関する知識を持たなくてもならい作業を実現することができる。このような内部モデル上で合目的な行動をも定義できると期待される。

またこのような拘束は、ロボットが動かないままセンサ信号を収集するのみでは発見することはできない。ロボットが環境に働きかけて初めて、このような拘束の情報を得ることができるのであって、センサ信号をモータ出力から切り離して考えることはできないのである[1]。その意味で、環境との相互作用が、このような自律的モデル獲得のためには必要不可欠である。

筆者らはこのような考えに基づき、作業に対する自由度の動的割り当て方法を提案している[8]。これはロボットが持つセンサ・モータ間の拘束を発見し、与えられた作業に

対してモータの自由度を割り当てる方法である。このようにロボットが環境に働きかけることによって、ロボットは自身の持つセンサ系、モータ系に依存したモデルを獲得することとなり、その結果得られるモデルは、「設計者」から見たモデルとは、大きく異なるのではないかと予想される。

5. 今後の展開

センサとモータの間に存在する関係をロボットが主体的に発見する枠組みは、まだ研究が始まったばかりで確立されていない。まずは、このようにしてロボットが自律に獲得したモデルが、観測者のそれとは大きく異なり、確かにロボットのセンサ・モータ系に依存したものであるかどうか調べる必要がある。そして、適応性という意味で、この方法が、確かに前述した方法より優れているかどうかという検証も必要である。さらに、ロボットが自律的に獲得したモデル上で、設計者がさせたい作業、あるいは合目的行動をどのように定義することができるかもまだわかっていない。いずれにせよ、まだ考えなければならぬことが山積している。

参考文献

- [1] Rolf Pfeifer and Christian Scheier. 知の創成 - 身体性認知科学への招待. 共立出版, 2001.
- [2] S. Hutchinson, G. D. Hager, and P. I. Corke. A tutorial on visual servo control. *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol. 12, No. 5, pp. 651-670, 1996.
- [3] 有本卓. ロバストネスとパッシビティ. 日本ロボット学会誌, Vol. 17, No. 6, pp. 758-760, 1999.
- [4] 松野文俊. 柔軟メカニカルシステムのダイナミクスベースト - 複雑なシステムの物理的本質をついた制御 -. 計測と制御, Vol. 40, No. 6, pp. 417-425, 2001.
- [5] R. A. Brooks. Intelligence without representation. *Artificial Intelligence*, Vol. 47, , 1991.
- [6] 中村仁彦, 山崎友敬. 反射行動の組み合わせ理論とその多指ハンドの反射的把握動作への応用. 日本ロボット学会誌, Vol. 15, No. 3, pp. 448-459, 1997.
- [7] K. Hosoda, K. Igarashi, and M. Asada. Adaptive hybrid control for visual servoing and force servoing in an unknown environment. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, Vol. 5, No. 4, pp. 39-43, 1998.
- [8] Koh Hosoda, Nobuto Yasuta, and Minoru Asada. Dynamic dof assignment through interaction with environment. In *Proc. of 2001 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2001)*, 2001. CD-ROM.

細田 耕 (Koh HOSODA)

1993年京都大学大学院工学研究科機械工学専攻博士後期課程修了。同年大阪大学工学部助手。1997年同大学大学院工学研究科助教授となり現在に至る。この間1998年から1年間スイスチューリヒ大学客員教授。ビジュアルサーボ、知能ロボットの研究に従事。博士(工学)。(日本ロボット学会正会員)