

ロボットによる柔軟物操作

立命館大学 理工学部 ロボティクス学科
平井 慎一

1. はじめに

本講座では、紙や布、ゴム管など柔軟で変形しやすい物体を、ロボットが操作するための技術について述べる。柔軟物の操作は、人間の生活環境や生産環境に数多く見受けられる重要な作業である。たとえば、人間の生活環境においては、ひもを結ぶ作業、ボタンをかける作業、靴下を履くという作業などがこれに相当する。また、生産環境においては、配線・配管作業、板金のハンドリングなどが挙げられる。このような柔軟物を操作する作業においては、操作対象物が作業中に変形する。そのため、柔軟物の操作をロボットで実行することは、難しいのが現状である。そこで本講座では、柔軟物操作をロボットで実行させるための基礎となる手法について述べる。手法の一つは、柔軟物のモデルを構築し、それをもとに操作則を導く、モデルベース手法である。もう一つは、人間の実演を計測し、それを分析して操作則を得る、実演ベース手法である。各手法の考え方と特徴を述べるとともに、今後の展開について議論する。

2. モデルベース手法

ロボットによる物体操作の研究は、従来、硬く変形しにくい材料でできた物体、すなわち剛体を、その主たる対象としてきた。そこで用いられる手法は、モデルベース手法である。モデルベース手法では、操作対象の物体の幾何学的・物理的モデルをコンピュータ内に構築し、それをもとにして作業の方策を計画する。剛体の操作においてモデルベース手法が発展したのは、ソリッドモデリングに代表される幾何形状モデリングの技術に負うところが大きい。幾何形状モデリングの技術は、CAD/CAMの分野で飛躍的に発展した。幾何形状モデルを用いることにより、剛体操作における作業方策を計画することが可能になった。一方、柔軟物の操作に関しては、柔軟物の適切なモデルを構築する技術が、いまだ確立していない。柔軟物操作における作業の方策を計画するためには、物体操作に適した柔軟物のモデリング技法が望まれる。

本講座では、変形しやすい線状物体をモデリングする技術について述べる。紐や糸、コードなどの線状物体を操作する作業は、生産現場や屋外作業、あるいは日常生活において、多く見受けられる作業であり、柔軟物操作のひとつの典型である。そこで、線状物体のモデリング技術について説明する。まず、物体どうしの接触の観点から、線状物体の柔軟物の操作過程を解析する。次に、変形過程の表現に適した座標系を導入し、安定な変形形状を求めるために、線状物体のポテンシャルエネルギーと物体に加えられる幾何学的・力学的制約を定式化する。続いて、非線形計画法を利用した変形形状の計算アルゴリズムを確立し、いくつかの数値例を示す。最後に、変形形状の測定実験を行ない、提案する手法の妥当性を検証した結果を示す。また、布地の操作は、衣服の製造、衣服の着脱など、幅広い分野で見受けられ、作業方策を導くために、布地のモデリングが必要とされている。そこで、布地のモデリングについて、最近の研究成果を紹介する。

3. 実演ベース手法

ロボットマニピュレータを用いて何らかの作業を実行させるときには、作業の手順や方策を、ロボットに教えなければならない。作業の手順や方策をロボットに教えることを、教示という。ロボットマニピュレータの教示では、ロボットプログラムを書き、マニピュレータの運動軌道やセンサ信号による条件判断などを記述する。すなわち、ロボットマニピュレータ本体がハードウェアに、教示やロボットプログラムがソフトウェアに相当する。現在、ロボットマニピュレータが実行できる作業とは、教示が容易な作業に他ならない。それでは、柔軟物操作において作業方策を教示することが、容易にできるであろうか。

柔軟物の操作で人間は、感覚器と運動器を巧みに協調させて、作業を進める。このような作業において、人間は、手指の運動や作業の方策、視覚や皮膚覚などの感覚による判断を、明確に意識することが少ない。特に、作業に習熟し上達すると、特に意識することなく作業を進められるようになる。意識することなくというのが問題である。柔軟く変形しやすい物体を扱うとき、人は作業の方策を意識することが少ない。一方、ロボットプログラムを書くためには、作業方策を明確にし、それをプログラミング言語の形で表現しなくてはならない。ここがジレンマで、人が作業に上達すればするほど、その作業を実行するためのロボットプログラムを書きにくくなる。すなわち教示が難しくなるのである。

それでは、どのようにすれば、柔軟物操作の方策を、ロボットマニピュレータに教示できるのであろうか。その一つの解答が、実演による教示である。これは人が実際に行っている作業のプロセスを計測し、計測結果を分析することにより、ロボットプログラムを生成するという手法である。すなわち、人の動きをまねることにより、教示を行う手法である。ここでは、ホースの蛇口への挿入作業を対象に、人の動きを計測、分析し、その結果をもとにロボットマニピュレータに作業を実行させた結果について紹介する。まず、人間によるホースの挿入作業の実演を、位置センサと力覚センサを用いて計測する。次に、計測結果を、挿入時の作業状態の観点から分析する。この分析を通して、人間の運動径路と力覚から作業状態遷移を識別する規則を導く。最後に、人間の運動をロボットマニピュレータに移植し、人間の作業状態遷移識別規則がロボットによる作業に対しても有効か否かを検証する。

4. おわりに

本講座では、柔軟く変形しやすい物体の操作に関する二つの手法、すなわちモデルベース手法と実演ベース手法について説明した。これら二つの手法は、対象への接近の方法で対極にある。モデルベース手法では、柔軟物のモデルが確立された後には、定量的かつ一般的な解析が可能である。しかしながら、柔軟物のモデルを構築することは、容易ではない。線状物体のモデリングにおいても、モデルパラメータの同定に労力を要し、パラメータの精度が保証されていないのが現状である。実演ベース手法では、ロボットへの作業教示に必要な情報を実演から得ることができれば、直ちにロボットに柔軟物の操作を実行させることができる。しかしながら、同じ作業に対しても、人によって作業方策は異なるため、最適な作業方策を得ることは困難である。また、作業方策の一般化にも困難な点が多い。ホースの挿入作業においては、たとえばホースと蛇口の径や材質が異なると、作業の実演を再度行う必要がある。今後は、これら二つの手法の融合を検討しなければならない。また、機械と人間との差異に対処するためには、人間そのものに関する考察が必要である。

参考文献

平井,岩田,若松, 曲げ変形をともなう柔らかい薄板状部品のモデリング, 1993年度精密工学会春期大会学術講演会予稿集, pp.211-212, 1993

若松,平井,岩田, 曲げ・ねじれ変形をともなう柔らかい線状部品のモデリング, 1993年度精密工学会秋期大会学術講演会予稿集, pp.427-428, 1993

Hirai,S., Wakamatsu,H., and Iwata,K., *Modeling of Deformable Thin Parts for Their Manipulation*, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Vol.4, pp.2955-2960, San Diego, May, 1994

平井,岩田,米倉, 柔らかい管状部品の挿入作業における人間の技能動作のマニピュレータへの移植, 日本機械学会第72期全国大会講演論文集, Vol.4, pp.724-725, 1994

野口,平井,岩田, 変形しやすい管状部品の挿入作業における作業状態の認識, ロボティクス・メカトロニクス'95講演会予稿集, pp.161-164, 1995

Hirai,S., Noguchi,H., and Iwata,K., *Transplantation of Human Skillful Motion to Manipulators in Insertion of Deformable Tubes*, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Vol.2, pp.1900-1905, Nagoya, May, 1995

Wakamatsu,H., Hirai,S., and Iwata,K., *Modeling of Linear Objects Considering Bend, Twist, and Extensional Deformations*, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Vol.1, pp.433-438, Nagoya, May, 1995

若松,平井,岩田, 変形しやすい物体の把持に関する静力学的解析, 日本機械学会第73期全国大会講演論文集, Vol.5, pp.287-288, 1995

野口,平井,岩田, 柔らかい管状部品の挿入作業における人間の運動・認識則のマニピュレータへの移植, 第13回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.491-492, 1995

Hirai,S., Noguchi,H., and Iwata,K., *Human-demonstration Based Approach to the Recognition of Process State Transitions in Insertion of Deformable Tubes*, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Vol.3, pp.2006-2011, Minneapolis, April, 1996

Wakamatsu,H., Hirai,S., and Iwata,K., *Static Analysis of Deformable Object Grasping Based on Bounded Force Closure*, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Vol.4, pp.3324-3329, Minneapolis, April, 1996

平井,朴,岩田, 靴下履き作業における人間運動の分析, 第14回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.1025-1026, 1996

和田,平野,平井,川村, 編構造を有する布地のモデリング, 第14回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.111-112, 1996

若松,平井,岩田, 薄板状物体のマニピュレーションにおける曲げ変形操作の静力学的解析, 日本機械学会論文集C編, Vol.63, No.608, pp.1102-1109, 1997

Wada,T., Hirai,S., Hirano,T., and Kawamura,S., *Modeling of Plain Knitted Fabrics for Their Deformation Control*, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Albuquerque, April, 1997