

変形しやすい管状部品の挿入作業の実験的分析とマニピュレータ上での実現

Experimental Analysis of Insertion of Deformable Tubes and Its Realization on Mechanical Manipulator

正 平井 慎一 (立命館大学)

Shinichi HIRAI

Ritsumeikan University, 1-1-1 Noji-higashi, Kusatsu, Shiga 525

Human-demonstration approach to the insertion of deformable tubes is experimentally studied. First, human motion and recognition laws are transferred to a manipulator in the insertion of a hose into a plug. Secondly, socks wearing operations are analyzed from the measurements of human demonstration.

Key Words: manipulation, insertion, human demonstration, process states, deformable objects

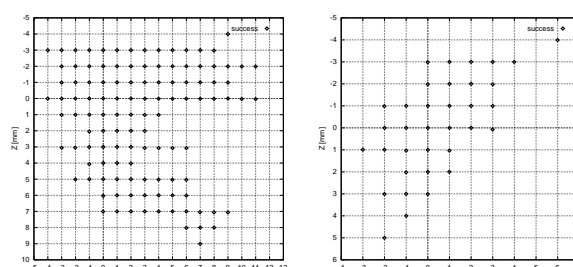
1. はじめに

実世界には、柔らかく変形しやすい物体を対象とするさまざまなマニピュレーション作業がある。このようなマニピュレーション作業は、人間の巧みに頼っているところが多く、柔らかい物体のマニピュレーション作業をロボットに実行させるためには、作業における技量を解明することが重要である。本報告では、人間の運動および作業状態遷移の認識則をマニピュレータに移殖、マニピュレータにホースの挿入作業を行わせた結果について報告する。さらに、著しく柔らかさ、変形しやすさが異なる物体を対象とする作業として、靴下を履く作業を取り上げ、靴下履き作業における人間の運動を実験的に分析する。

2. ホース挿入作業則のマニピュレータへの移殖

人間の作業制御則をマニピュレータに移殖するには、個々の状態において運動を制御する機構と、状態の遷移を検知し、制御則を切り換える機構が必要となる。そこで、昨年の報告で得られた人間の作業制御則を、マニピュレータに移殖する⁽¹⁾。座標系は参考文献と同じである。被験者は、接近状態では直線運動、接触状態では回転運動、挿入状態では x 軸に沿う往復運動をホースに与えている。そこで、接近状態の運動を、状態開始・終了時刻における位置・姿勢を結ぶ直線で近似する。接触状態の運動も、状態開始・終了時刻における位置・姿勢を結ぶ直線により近似する。一方、挿入状態においては、位置 x が極大値あるいは極小値を取る位置・姿勢を抽出し、それらを順次直線近似することにより、挿入状態における軌跡を近似する。結果として、176 個の位置・姿勢から成る人間の運動軌跡より、28 個の位置・姿勢が得られた。この場合、作業を達成するために要する時間は、約 40[s] である。マニピュレータに作業を実行させ、力信号を計測する。このとき、時刻 18[s] において、力差分のピークが現れ、作業を録画したビデオを分析した結果、この時刻で、接触状態から挿入状態への遷移が生じていることが判明した。動作開始位置を、人間による作業の開始位置から 2[mm] ずらして実行させた場合においても、同様のピークが観察された。したがって、人間による作業と同様に、マニピュレータによる挿入作業においても、力差分のピーク値を観察することにより、接触状態から挿入状態への遷移が検知できることが判明した。

次に、初期位置に誤差がある場合に、ホースの挿入作業が成功するかどうかを調べる。人間の運動軌道の初期位置を原点として、 x 軸、 z 軸方向に位置ずれを与え、ホースの挿入作業を実行させる。まず、人間の運動のみをマ



(a) without recognition (b) with recognition

Fig.1 作業が成功する初期位置

ニピュレータに移殖し、作業を実行させる。作業が成功した位置誤差をプロットすると、Fig.1-(a) が得られた。位置ずれの方向にもよるが、数 mm の誤差に対して、作業が成功することがわかる。次の、人間の運動と作業状態遷移の認識則をマニピュレータに移殖し、作業を実行させる。すなわち、作業中に状態遷移を検知したときには、運動軌道を切り替える。作業が成功した位置誤差を、Fig.1-(b) に示す。今回の実験においては、後者の方が、成功する範囲が狭いという結果が得られた。前者の場合、作業が失敗する主な原因は、1) ホースが蛇口に接触しない。2) 作業中にホースが蛇口からはずれる。の二点である。後者の場合は、1) 作業状態遷移の検知に失敗する。2) 遷移を検知したが運動の切り替えが間に合わない。という点が挙げられる。特に、接近状態から接触状態への遷移においては、ホースが蛇口に接触していてもマニピュレータが接近状態の運動を与える結果、ホースが奥に進みすぎ、ホース先端の引っかかりが生じず、接触状態から挿入状態への遷移に失敗する。以上のように、今回の実験では、作業状態遷移則を移殖することの有効性は示されていない。マニピュレータの動作速度、通信速度を検討する必要がある。

3. 靴下履き作業の分析

人間は、さまざまな特性の柔軟物を扱うことができる。したがって、柔らかい物体のマニピュレーション技能を解明するためには、さまざまな柔らかさ、変形しやすさを持つ物体を、研究の対象にする必要がある。そこで本研究では、靴下を履く作業を対象にする。靴下の変形は、ホースのそれと比較すると、著しく大きい。

靴下履き作業を計測した結果を、以下に述べる⁽²⁾。実

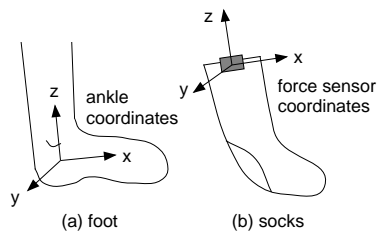
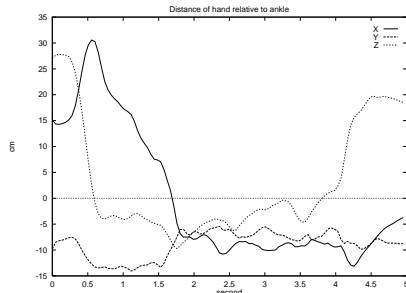
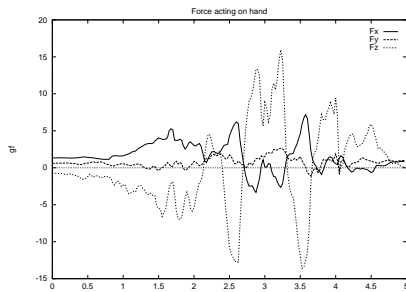


Fig.2 座標系の設定



(a) position of hand

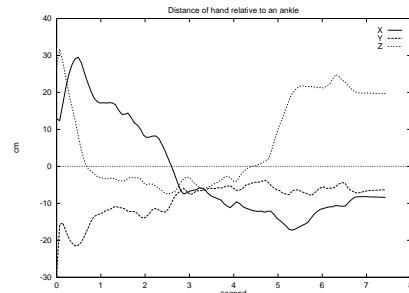


(b) force acting on hand

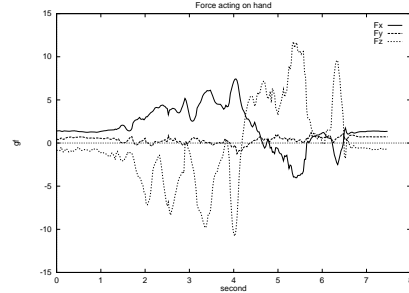
Fig.3 靴下履き作業の計測値

験時の座標系の設定は、Fig.2の通りである。実験では、被験者に目をつぶってもらい、作業を実行させる。計測結果の一例を、Fig.3に示す。手の位置は、足首に固定した座標系に対する相対的な位置を示す。図より、作業開始直後、被験者は手を、 x 軸正、 z 軸負の方向に動かす。次に、 x 軸負の向き、すなわちかかと方向に動かす。続いて、 x - z 平面内で前後の運動を与え、最後に z 軸正の向き、すなわち膝方向の運動を行う。ビデオテープと比較すると、それぞれの運動は、(0) 動作開始から靴下を足先に当てるまでの運動、(1) 靴下がかかとを越えるまでの運動、(2) かかとからくるぶしを越えるまでの運動、(3) くるぶしから動作終了までの運動、に対応することがわかった。また、力覚センサ座標系の原点がかかとを通過するのは約 1.7[s]、くるぶしを通過するのは 3.8[s] の時点である。ステップ (0) では、力がほとんど作用していない。ステップ (1) では、 z 軸方向の力が減少する。ステップ (2) では、力が同期して増減を繰り返す。ステップ (3) では、特徴的なパターンは観察されていない。

次に、状態遷移をどのように認識しているかについて考察する。ステップ (0) から (1) への遷移においては、力の大きさが増大する。したがって、力の大きさを監視することにより、遷移を検出できる。ステップ (1) から (2) へ遷移する時刻 1.7[s] においては、 x 方向の力 F_x に極大値がある。ステップ (1) では、靴下を足に沿ってかかと方向に案内する。靴下が深く案内されるにつれて、靴下が伸び、靴下に作用する引っ張り力が増大する。この引っ張り力により、適切な深さまで案内されたかどうかを検



(a) position of hand



(b) force acting on hand

Fig.4 足首固定時の計測値

知していると考えられる。ステップ (2) から (3) への遷移に関しては、力覚データに特徴的なパターンは観察されない。したがって、力信号からこの遷移を検出するのは困難である。ビデオの録画によると、座標原点がくるぶしを通過する 3.8[s] 付近では、くるぶしに引っかかっていた靴下が、突然くるぶしを越えている。したがって、皮膚覚により、くるぶしの引っかかりが無くなったことを検知している可能性が考えられる。

さらに、足の運動が作業に与える影響を調べるために、被験者の足首をテーピングにより固定して靴下履き作業を行わせた。計測結果を、Fig.4に示す。足首を固定した場合、ステップ (1) に約 2 倍の時間を要している。ビデオの録画によると、足首を固定しない場合に被験者は、ステップ (1) から (2) へ遷移するとき、つまさきを下に向ける。また、ステップ (2) の間、その状態を保っている。足首を固定すると、この動きが妨げられるため、ステップ (1) から (2) への遷移が困難になり、結果としてステップ (1) に要する時間が長くなると考えられる。以上のように、靴下履き作業においては、足の運動が重要である。

4. おわりに

本報告では、ホースの挿入作業における人間の動作をマニピュレータに移殖し、状態遷移認識の可能性を考察した。その結果、力覚の変化を通して、接触状態から挿入状態への遷移を検知できることがわかったが、作業状態遷移の認識則をマニピュレータに移殖することの有効性は、示されていない。さらに、靴下履き作業における人間の運動を実験的に分析し、靴下履き作業が 4 個の作業状態から成り立つこと、手のみならず足の運動が重要であることがわかった。

【参考文献】

- (1) 平井, 野口, 柔らかい物体のマニピュレーションにおける技量の実験的解明, 第 1 回重点領域研究「知能ロボット」シンポジウム予稿集, pp.49-52, 1996
- (2) 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