

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

Transplanting Human Skillful Motion to Manipulator in Insertion of Deformable Tubes

○正 平井 慎一 (阪大) 岩田 一明 (阪大) 米倉 靖郎 (阪大)

Shinichi HIRAI, Osaka University, Suita, Osaka 565, Japan

Kazuaki IWATA, Osaka University Yasuo YONEKURA, Osaka University

One approach of transplanting human skillful motion to a manipulator is presented. Human action during the insertion of a deformable hose into a plug is measured by use of the position and the force sensors, and analyzed with regard to the contact between the hose and the plug. It is found that the pull motion during the process is effective for the successful insertion of a deformable hose into a plug. Embedding effective pull motion in a manipulator program, it turns out that the manipulator can perform the insertion successfully.

Keywords: manipulation, human motion, teaching, part mating, soft objects

1 緒言

現在の生産現場において、人手に頼るところが多い工程の一つに、柔らかく変形しやすい部品のマニピュレーション作業があげられる [1]. 柔らかい部品は、作業中にその形状が大きく変化する可能性が高い。人間は、部品の変形を巧みに利用し、形状や材質のばらつきに対処して作業を達成することができる。人間のこのような能力は、さまざまな感覚器からの知覚と、手指や腕の運動とを調和させることにある [2]. 柔らかい物体を扱う人間のこのような能力をマニピュレータに持たせるための一つの方法として、マニピュレーションにおける人間の巧みな運動を抽出し、マニピュレータに移植する手法が考えられる。本報告では、ホースを蛇口に挿入する作業を対象にして、人間の技能動作の抽出とマニピュレータへの移植を試みる。

2 柔らかい管状部品のはめあい作業における技能運動

人間がホースを蛇口に挿入する作業を行なうときには、ホースを蛇口に接触させ、手指で力を感じし、ホースの差し込み具合や曲がり方を推測するとともに、ひねる、押し込む、引くといった動作を行ない、作業を進める。ホースと蛇口との位置関係に着目すると、作業プロセスは、図 1 に示すような、(a) 接近段階、(b) 接触段階、(c) 挿入段階、の三つから成ることがわかる。接近段階とは、ホースを蛇口に接触させるまでのプロセスである。人間はホースを、上から押し当てるのではなく、ある適当な角度をもって斜めから蛇口に接近させる。接触段階とは、ホースが蛇口に接触してからホースの口が蛇口に入るまでのプロセスである。人間は、押し動作や引き動作をホースに与えるとともに、力覚や圧覚によりホースの口が蛇口にはまっているか否かを判断する。判断が困難な場合には、必要な判断が可能のように積極的にホースを運動させる。挿入段階とは、あらかじめ定められた深さまでホースを差し込むプロセスである。このとき人間は、ホースが蛇口と接触しつつ動く程度の力をホースに作用させるとともに、力覚等の感覚に応じてホースの運動を適応的に制御する。以上のように、柔らかい管状部品のはめあい作業において、人間の技能的な運動は、手指が部品に与える運動と感覚からの状況判断、感覚フィードバックによる適応的な運動補正にあると考えられる。

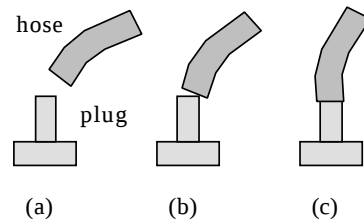


Fig. 1 Process of hose insertion into plug

3 挿入作業における人間の運動の計測

本研究では、人間がホースを把持するときのホースの変形は無視できるものと仮定し、蛇口との接触による変形のみを対象とする。前節で述べたように、人間の技能運動を抽出するためには、ホースを操作する手先の位置と姿勢、ならびに手に作用する力とモーメントを計測することが必要である。そこで、図 2 に示すような、これらの量を計測する装置を構築した。ホースの手元の位置・姿勢、そこに作用する力とモーメントはそれぞれ、3次元デジタイザと6軸力覚センサにより計測される。実験者はホースを固定したフランジを持ち、テーブルの上に固定された蛇口に、ホースを挿入する。ホースの変形等を確認するために、作業の状況がビデオに録画される。

人間による挿入作業の計測結果の一例を、図 3 に示す。使用したホースの内径は 15mm 、長さは 160mm 、蛇口の外径は 16mm である。蛇口の根元に座標原点を置き、実験者の左方向に X 軸、原点から実験者の向きに Y 軸、鉛直上向きに Z 軸を設定する。ここで、Angle X, Angle Y はそれぞれ、ホースの中心線と X 軸, Y 軸とが成す角度 ($^{\circ}$)、Z, Y は手元位置の Z, Y 座標値 (cm)、Distance は手元位置から蛇口の先端までの距離 (cm)、 F_x, F_y, F_z は各軸方向に作用する力 (kgf)、 M_x, M_y はそれぞれ、X, Y 軸回りのモーメント ($\text{kgf}\cdot\text{cm}$) を表す。力・モーメント信号のサンプリングレートは 30Hz であり、位置・姿勢信号は、それに同期して計測される。図に示すように、Angle Y, Angle X, Z, Y, F_z , M_x の値は、同期しつつ振動しており、人間が往復的な運動をホースに与えていることがわかる。

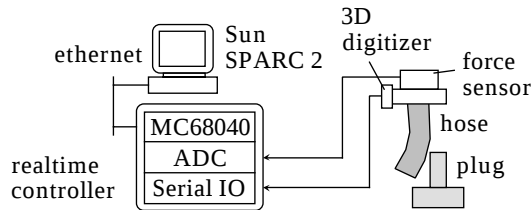


Fig. 2 Measuring equipment

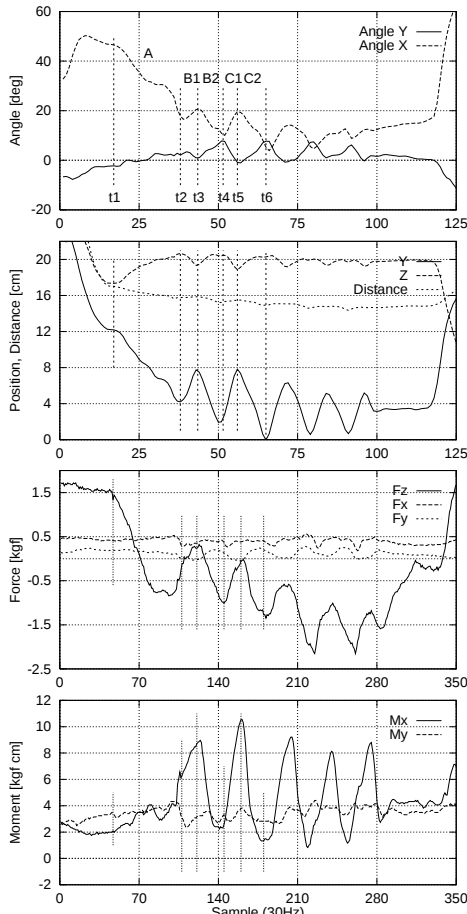


Fig. 3 Example of human motion measurements

4 技能運動のマニピュレータへの移植

本節では、人間の技能運動のマニピュレータへの移植について、特に接触・挿入段階を対象にして述べる。まず、前節で得られた人間の運動を、そのままマニピュレータに移植する。これは、マニピュレータの指令値を、人間の運動の計測結果から計算し、マニピュレータのプログラム中に埋め込むことにより実現される。第2節で述べたように、接触段階では力覚が重要な役割を果たすので、ホースに作用する力とモーメントを計測し、人間による作業と比較する。ホースの挿入作業を、マニピュレータに実行させたときの力の計測値を、図4(a)に示す。図3に示した人間による作業における計測値と比較すると、力の変動のパターンが類似していることがわかる。しかしながら、作業に要する時間は、約9倍に増加している。これを減少させるためには、人間の運動をそのまま実行させるのではなく、作業に必要な運動のみをマニピュレータに与えることが有効であると考えられる。そこで次に、人間の運動を分析することにより、作業に必要な運動を抽出する。

ホースが接触段階にあるとき、力 F_z の値は負になる

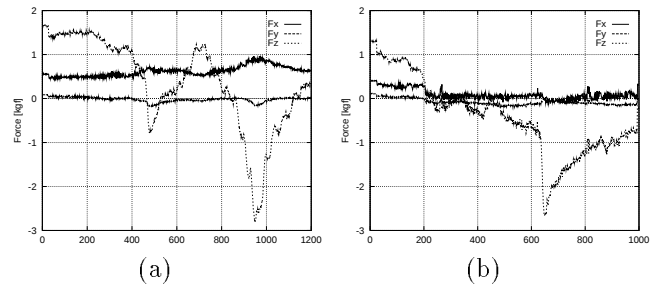


Fig. 4 Measured force in insertion by manipulator

ことに注意すると、接近段階から接触段階へ移る時刻 t_1 がわかる。また、人間がホースに与えている往復的な運動を抽出するために、接触・挿入段階における手元座標値 Y が極小・極大値を取る時刻を、図3に示すように順次、 t_2, t_3, t_4, t_5, t_6 とする。区間 $[t_1, t_2], [t_2, t_3], [t_3, t_4], [t_4, t_5], [t_5, t_6]$ をそれぞれ、A, B1, B2, C1, C2 とする。ここで、A, B2, C2 は、ホースを奥に倒す動作であり、B1, C1 は手前に引く動作である。作業プロセスを録画したビデオの分析から、動作 B1, C1 の直前には、ホースが湾曲していること、動作 B1, C1 の後では、生じていたホースの湾曲が解消されており、ホースの先端が蛇口と接触したまま手前に移動することが明らかになった。ホースの先端が手前にあるため、次の押し動作 B2, C2 において、ホースが蛇口に差し込まれる可能性が高いと考えられる。すなわち、引き動作 B1, C1 は、直前の動作で生じたホースの湾曲を防ぐとともに、直後の動作の準備をしており、作業を達成する上で有効な運動パターンであることがわかる。

挿入作業の試行を複数回繰り返して実行したところ、全試行の30%において、動作 B2 の段階でホースが挿入されていることが判明した。残り70%の試行においては、動作 B2 ではホース先端が膨張しホースを挿入することができず、動作 C2 に至って作業が達成されている。動作 C2 の方が、挿入作業が達成される割合が高いので、動作 B2, C1 を削除し、A, B1, C2 の3動作のみを用いるようにし、マニピュレータに挿入作業を実行させた。そのときの力の計測値を、図4(b)に示す。力 F_z の谷が2個から1個に減少し、運動が簡単化されていること、作業に要する時間が約30秒から20秒ほどに減少していることが示されている。また、簡単化された動作では、すべての試行に成功しており、重要な動作の選択による動作の簡単化が、有効に機能していることがわかる。

5 結言

本研究では、ホースの挿入作業における人間の動作を計測し、作業を達成する上で有効な運動を抽出するとともに、それをマニピュレータに移植することを試みた。その結果、作業時の人間の動作を分析することで、作業に有効な運動を抽出できる可能性があり、それをマニピュレータに移植することによりホースの挿入作業を実現できることがわかった。

参考文献

- [1] Taylor, P.M. et al.: *Sensory Robotics for the Handling of Limp Materials*, Springer-Verlag (1990)
- [2] 前田 他: 感覚と運動特集, 電子情報通信学会誌, 76, 11 (1993)