10705 インパクトドライブ機構を利用した

6 軸パラレルリンクマニピュレータの制御

A study on the control of 6-DOF parallel link manipulator using impact drive mechanism

○学 小林 竜次郎 (東理大・院) 正 坪井 涼 (東理大) 正 佐々木 信也 (東理大)

Ryujiro KOBAYASHI, Graduate School of Tokyo University of Science, 6-3-1 Niiyuku, Katsushika-ku, Tokyo

Ryo TSUBOI and Shinya SASAKI, Tokyo University of Science, 6-3-1 Niiyuku, Katsushika-ku, Tokyo

Recently, micro systems as MEMS are researched for various applications. From the view point of cost efficiencies and space-saving, it is required that high accurate and compact manipulator be adopted. However, downsizing of the manipulator has problems, such as degradation of motor torque and rigidity. Accordingly, for solving these problems, we adopted a parallel link manipulator which can maintain a high rigidity, and the small actuator utilizing piezoelectric-actuator, called impact drive mechanism. The impact drive mechanisms are long stroke and high accuracy, but it is difficult to actuate in stable under specific condition. In this research, by modeling of parallel link manipulator, we investigated the relationship between the conditions of manipulator and the actuator.

Key Words: Parallel link manipulator, Piezoelectric actuator, Downsizing, Impact drive mechanism

1. 緒言

近年, MEMS や細胞などの応用研究が進んでいる. そこで経済性と省スペースの観点から, 微小物体を扱うマニピュレータの小型化が望まれている. 小型化に際しては, 電磁モータなどのアクチュエータの性能が大幅に低下することや, マニピュレータの剛性の低下といった課題が挙げられる. そこで, 剛性を高く保つことができる構造としてパラレルメカニズムを選び, アクチュエータとして圧電素子を利用した高精度, 長ストロークの小型アクチュエータであるインパクトドライブ機構を採用することで, 上記の問題の解決を試みた. しかし, インパクトドライブ機構は, 作動条件によって挙動が安定しない場合がある. また, パラレルメカニズムは各リンクにかかる負荷が複雑に変化するため, アクチュエータを安定して駆動する工夫が必要になる. そこで, 本研究では, パラレルリンクマニピュレータのモデル化を行い, アクチュエータの作動条件をマニピュレータの条件との関係を調査した.

2. マニピュレータ概要

2.1 6 軸パラレルリンクマニピュレータ

本研究で制御の対象としたマニピュレータの概観を図 1 に示す. 構造はパラレルメカニズムの中でも一般的なヘキサポッドを採用した. 上部のステージを 6 本のリンクで支えており, リニアアクチュエータでリンクを伸縮させることで, ステージの位置と姿勢を制御する. リンク概観を図 2 に示す. 設計の際に想定した適用分野は, 小型の電子部品などの実装や検査, 生体細胞の操作等である. また, 本体のサイズを, 顕微鏡での観察下や真空チャンバ内で使用できるように, 1 辺が 50mm 程度の立方体に収まるように決定した. マニピュレータの仕様を表 1 に示す. パラレルメカニズムの特徴は, 一つのステージを複数のリンクで同時に支えるので, ロボットアームなどで使用されるシリアルリンクに比べて剛性を高くすることができる⁽¹⁾. 一方で順運動学を解析的に解くことが困難で, 動作時の各リンクに作用する負荷を計算するの

に比較的時間がかかる. また, リンクが相互に作用しながら負荷を分担するので, 各リンクの負荷は複雑に変化する. 精密な制御を行うためには, マニピュレータの状態に合わせて, リンクの負荷を予め計算しておき, アクチュエータの作動条件を適正化する必要がある.

Fig.1 Parallel link manipulator

Fig.2 Out view of link

Table 1 Specifications of manipulator

Diameter of base [mm]	Height [mm]	Weight of stage [g]	Resolution of encoder [μ m]	Thrust of actuator [gf]
40	55	37.1	1	50

2.2 インパクトドライブ機構

アクチュエータとして採用したインパクトドライブ機構について説明する. アクチュエータの外観を図 3 に示す. 構造はカーボン素材のシャフトに圧電素子の振動板が取り付けられている. 作動原理は, 圧電素子の急速変形に伴う慣性力と移動体とシャフトの間に働く摩擦によるスティックスリップ現象を利用してステップ状に駆動する⁽²⁾. 図 4 に変形の過程を示す. このアクチュエータの利点としては, (1) 構

造が単純、(2) 小型化が容易、(3) 1 ステップの変位を小さくすれば駆動が高分解能になる、(4) ステップを続ければ移動距離を大きくできるということが挙げられる。一方で、スティックスリップ現象を利用するので、動作条件が変わることで1ステップあたりの変位量が変化する。そこで、実際に使用する場合は、リニアエンコーダで変位を測定してフィードバック制御を掛ける必要がある。この場合リニアエンコーダで検出することができる変位量が動作の分解能となる。また、作動環境、特に、負荷や移動体の質量によって作動時の特性が変化する。そこで、アクチュエータにかかるそれらの条件の変化について調査し、パラメータを適正化する必要が生じる。

Fig.3 Impact drive mechanism

Fig.4 Principle of actuation

3. 制御実験

3.1 アクチュエータの駆動特性

インパクトドライブ機構の制御では、圧電素子に加えるパルスの電圧および周波数が入力のパラメータとなる。また、スティックスリップにおける摩擦力の大きさも重要なパラメータとなるが、自由に制御するのは困難であり、動作中にばらつきが生じる原因の一つとなる。本実験では、電圧と周波数を制御する。電圧は 20V、25V、30V の3つの水準を印加する。入力パルスの周波数は 47kHz で固定する。フィードバックによる制御を行う場合、パルス周波数は一定に保ち、パルス数を間引きすることで制御する。動作中は電圧は一定に保つ。リンクの動作の傾向として、(1) 電圧が高くなるにつれて1ステップあたりの移動量が増える。これは、発生する衝撃力が大きくなっていることを示す。(2) 駆動方向と同じ方向に負荷がかかっている場合は、1ステップ当たりの変位が伸長する。逆の場合はステップが小さくなる。また、力のかかる方向と駆動方向が対向する場合、動作のばらつきが大きくなる。このことから、動作のばらつきは静止摩擦力の変動により起きている可能性が示唆される。各制御パラメータの決定に際しては、電圧の違いによるステップ変位の変化、負荷によるステップ変位の変化を考慮する必要がある。

そこで、予備実験で1つのリンクにかかる力とPID制御の係数の違いによる応答を調査した。リンクに一定負荷をかけた状態で、複数の水準の電圧に対して応答が安定した係数を使って次の6自由度のマニピュレータの試験を行った。

3.2 制御実験

実際にマニピュレータの先端を表2に示す2点間で往復運動させ、その繰り返し精度を測ることで評価を行った。PID制御のパラメータは本実験では固定し、印加電圧の変化による影響を調査した。また、マニピュレータの自重により発生する各リンクの負荷を計算し、各リンクの駆動量、印加した電圧の条件とともに表3に示す。電圧の水準は、一番移動距離が長いアクチュエータに一番高い電圧を加えた。また、配置の関係でリンクの負荷には対称性があり、同程度の負荷と駆動量を示すペアには同一の電圧を付加した。試験によって得られたそれぞれの電圧負荷時の繰り返し精度を表3に示す。

Table2 Measurement condition

Starting point [μm]			Target Point [μm]			Iteration count
X	Y	Z	X	Y	Z	
0	2000	2500	0	3000	2500	15

4. 考察

表3より、No1, 2, 5, 7で比較的繰返し精度が良好であることが分かる。No1に関しては、全リンクの電圧が高いので偏差が残りにくいと考えられる。No2, 5, 7のケースでは、大きな負荷がかかっているリンクの電圧が他リンクに対して同程度か低くなっている。これは、負荷が大きいリンクでは静止状態から駆動状態に変わるときにばらつきが、電圧を高くする、言い換えると発生力を大きくすることで大きくなっている可能性が考えられる。制御の方針として、駆動の行程全体ではなく、立ち上がり時に注目する必要があると示唆される。

5. 結言

パラレルリンクマニピュレータとインパクトドライブメカニズムの制御を行った結果、負荷の大きさと駆動量に注目することで繰返し精度を向上できることが示唆された。

今後は、アクチュエータの挙動とマニピュレータ全体の定式化を行い、より広い範囲で制御の評価を行う。

参考文献

- (1) 武田行生, “パラレルメカニズム”, 精密工学会誌, Vol. 71, No. 11, (2005), pp.1363-1368.
- (2) Katsushi Furutani, et al., “Effect of lubrication on impact drive mechanism”, Precision Engineering, Vol.22, (1998), pp.78-86.

Table3 Condition of links and Repeatability

Link No.	Travel between start and target [μm]	Theoretical load [gf]	Supply voltage [V]								
			No1	No2	No3	No4	No5	No6	No7	No8	No9
Link1	-31	16 to 19	30	20	25	20	25	30	30	20	25
Link2	155	5.5 to 2.7	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Link3	76	11	30	20	25	25	20	20	25	30	30
Link4	-18	16 to 19	30	20	25	20	25	30	30	20	25
Link5	143	5.5 to 2.7	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Link6	50	11	30	20	25	25	20	20	25	30	30
Result of repeatability [μm]			83	89	115	101	75	101	60	124	140