Experimental Development and Evaluation of 3 DOF Joint Unit by Wire Drive

○正 中川 秀夫 (近畿大) 吉田 晴治 (近畿大)

Hideo NAKAGAWA, Kinki University, Seiji YOSHIDA, Kinki University

3 DOF (degree of freedom) joint unit that consisted of A, B and Z axis as the component of the super-multi joint manipulator, was produced, and the evaluation test was done. It is easy for this structure to control hand's position and orientation. The structure of the unit is that the end-effector is hung by three wires. 3 stepping motors wind up the wire individually. The end-effector can be made a position and orientation by controlling the wire length with the personal computer. The method of calculating the wire length by inverse kinematics was shown. The tensile test for the wire, and the examination of resolution were done. Moreover, repeatability was confirmed by positioning 100 times.

Key Words: Multi-joint Manipulator, 3 DOF joint unit, Wire Drive, Inverse kinematics

1. はじめに

近い将来, 各方面での応用が期待されるロボット技術の一つに, 干渉物を回避できる超多関節マニピュレータがある. 著者らはその開発を目指して, まずその構成要素の研究に取り組んでいる. シリアルリンクマニピュレータの構成要素として, 関節軸が1点で交差する3自由度の関節ユニットを用いると, どのユニットを駆動しても手先を任意の方向に移動できる. すなわち, 超冗長系の逆運動学を駆使しなくても, 手先の位置姿勢を指令方向に移動させるには, どのユニットを駆動するのが最適であるかという選択アルゴリズムの開発だけで行えることになる.

3自由度を構成する軸の組み合わせは種々あるが, その中でA-B-Z軸構成(A, BはそれぞれX, Y軸回りの回転軸)を採用した. 直線軸(Z)を含むのは, 伸縮が可能な超多関節マニピュレータは今までになく, 広い応用の可能性があるからである.

また, ワイヤを用いたのは, ユニットの軽量化に大きく寄与するためである. シリアルリンクマニピュレータにとって, リンクおよびアクチュエータの自重軽量化は必須である. 装置の軽量化, 高速化のためにワイヤを用いた例は多く¹⁾²⁾³⁾, 本装置もベースにアクチュエータを設置し, ユニットに動力伝達するワイヤ式を採用した.

以上のような検討を経て, 3自由度関節ユニットを試作し, その基礎的な評価テストを行ったので報告する.

2. 装置の概要

表1に本装置の計画仕様を示す. 機構は性能評価のための傾斜センサや変位計測のための測定スペースなどがあって, また部品に市販品を用いたため大きくない.

図1に本装置の構成図を示す. パソコンから回転方向指令とパルス列がモータドライバ(1/4分割マイクロステップ機能付)に出力され, それに応じてステップ角1.8 degユニポーラステッピングモータが回転される. モータシャフトに取り付けられた直径18 mmのプーリによってワイヤが巻き取られる. ワイヤにテンションを与えるため, 装置はベースプレートからの吊り下げ式としている. 使用したワイヤは, 7×19本の撚り線ステンレスワイヤで, 直径0.53 mm(実測値)である. このワイヤで半径75 mmの円周上に等分された3点からエンドエフェクタを引張る.

3つのワイヤ引張点の中心にボールスプラインシャフトを配置し, Z軸回りの回転を拘束して上下運動のみを可能とした. さらに, そのシャフトの先端にジンバル機構を組み込み, エンドエフェクタが回転2軸動作をできるようにしている.

Fig.1 Schematic diagram of the setup of 3DOF joint unit

Table 1 Specs of 3DOF joint unit by using wire drive

Angle of tilting axis(A, B)	max. ± 30 deg
Travel of Z-axis	50 mm
Drive motor torque	12.7 N·cm
Wire stroke	110 mm
Wire diameter	0.53 mm
Radius of wire fixture points	75 mm
Size of end-effector	170×170 mm
Weight of end-effector	1.78 kg
Size of installations	300×300×300 mm

Fig. 2 Outside view of the setup

エンドエフェクタには2つの傾斜センサが付いており、直交する2方向の傾斜角が検出できる。そのアナログ出力がAD変換ボードを介してパソコンに取り込まれる。

なお、図示していないが各ステッピングモータのシャフトにはスリット付の円盤が取り付けられており、マイクロフォトセンサにより原点位置の検出が可能である。

装置の外観写真を図2に示す。

3. 逆運動学

実用上、与えられるのはエンドエフェクタの傾きではなく、そこに取り付けたハンドの座標 ${}^0p(x, y, z)$ である。そこで、基準座標系を Σ_0 、エンドエフェクタ上の座標系を Σ_A 、 Σ_A から法線方向にノルム m のベクトルを設定する(図3)。すると、回転角 α , β 、および Σ_0 から Σ_A までの Z 方向の距離 h は、

$$\alpha = a \tan 2(\mp y, \pm \sqrt{m^2 - x^2 - y^2}) \quad (1)$$

$$\beta = a \tan 2(x, \pm \sqrt{m^2 - x^2 - y^2}) \quad (2)$$

$$h = z - \sqrt{m^2 - x^2 - y^2} \quad (3)$$

と求められる。

また、位置のシフト量 h と回転角 α , β によって、 Σ_A から Σ_0 への同次変換行列 0T_A が求まるので、エンドエフェクタ上のワイヤ固定点 P_1 , P_2 , P_3 は Σ_0 で表した座標に変換できる。よって、ワイヤの長さは、 P - Q の2点間のベクトルノルムとして計算できる。

4. 評価テスト

4.1 ワイヤ引張試験 ワイヤを使用する際、その伸び量が装置の位置決め精度を左右するので、まずワイヤの引張り試験を行った。図3に示すように、ワイヤの耐荷重としては280 Nであるが、荷重50 Nのところですべりが起こった。複数本の結果から、ワイヤの撚りが原因と考えられる。したがって、繰返し荷重を与えるとき50 N以下で使用しなければならないが、本装置のエンドエフェクタの重量は1.78 kgであり、問題ないことが確認された。

4.2 分解能の検討 ステッピングモータのステップ角は1.8 degで、プーリ径から計算すると1ステップ0.28 mm引張られることになる。上記の逆運動学を用いて任意の2位置のワイヤ長さを計算し、その差を分解能とすれば、 $m=120$ mm、ハンドの移動範囲 $100 \times 100 \times 50$ mmの中で計算したところ、最大1.04 mmとなった。しかし、モータの

Fig. 3 Setting coordinates on the end-effector

Fig. 4 Tensile test diagram for using wire rope

駆動ドライバにはマイクロステップ機能があり、これを用いると1/4分割が可能で、使用上差し支えないと考える。

4.3 繰返し位置決め エンドエフェクタの下端に電気マイクロメータを当て、1本ずつ上下運動を100回繰返し、元の位置に戻ることを確認した。数回0.8 mmの誤差を生じたが、プーリ上でワイヤが交差したものであり、巻き取り位置を一定にすることで解消された。

5. まとめ

超多関節マニピュレータを構成する3自由度関節ユニットを試作し、評価テストを行った。実用化するためには、より軽量でコンパクト化が必要があるが、当初計画した機能を確認した。今後、自重に対する考慮、ワイヤテンションの一定化、ブレーキシステムの導入など、実用的な対策について検討していく。

参考文献

- 1) 広瀬, 馬: ワイヤ干渉駆動型多関節マニピュレータの開発, 計測自動制御学会論文集, 26, 11 (1990) 1291.
- 2) 大隈, 新井, 浅間: 3本のワイヤを有する7自由度クレーンの開発(第1報), 精密工学会誌, 59, 5 (1993) 767.
- 3) 川村, 催, 田中, 木野: パラレルワイヤ駆動方式を用いた超高速ロボット FALCON の開発, 日本ロボット学会誌, 15, 1 (1997) 82.