

5指型ハンドのための超音波モータ内蔵型ロボットフィンガの開発

Development of a Robot Finger for Five-fingered Hand using Ultrasonic Motors

学 山野 郁男 (慶大) 正 前野 隆司 (慶大)

Ikuro YAMANO, Keio University, 3-14-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama
Takashi MAENO, Keio University

A robot finger is developed for five-fingered robot hand having equal number of DOF with human hand. The robot hand is driven by a method proposed by authors using ultrasonic motors and elastic elements. The method makes use of restoring force as driving power for grasping an object, so the hand can perform the stable grasping motion that needs no power supply. In addition, all the components are placed inside the hand because the ultrasonic motors have characteristics of high torque at low speed and compact size. Applying the driving method to multi-DOF mechanism, a robot index finger is designed. It has equal number of joints and DOF to human index finger, and it is also equal in size to the finger of average grown-up man. The robot index finger is produced, and fundamental drive test is conducted. As a result, the function of the driving mechanism is confirmed.

Key Words: Robot hand, Ultrasonic motor, Tele-operation, Wire-driven mechanism

1. はじめに

人間が外界との接触に基づく作業を行う際には、手の機能が不可欠である。この手指動作をロボットに行わせることを目的として、これまで、様々なタイプのロボットハンドが開発されてきた。高度な機能を有するロボットハンドは、将来、テレイグジスタンスの実現をはじめとした様々な分野への応用が期待できる。しかし、従来のロボットハンドは、自由度や発生力、汎用性、制御性のうち、いずれかの面で問題を有する。このため、本研究では、人間の手と同等の自由度を有し、ハンド自体が独立した構造を持つ5指型ロボットハンドの開発の前段階として、ロボットフィンガの開発を行う。本ハンドは、超音波モータおよび弾性要素を用いた駆動方式を特徴とし、弾性要素の復元力による力を対象物に与えることにより、安定で柔軟な把持動作を実現するものである。

2. 設計

2.1 基本設計

本研究で開発するロボットハンドは、環境との親和性や操作の容易性、把持動作の安定性を考え、人間の手と同等の寸法および自由度を持つ5指構造とする。また、アクチュエータを含めた全ての駆動機構をハンド内部に設置することにより、多様なロボットアームへの接続を可能にする。アクチュエータとしてリング型超音波モータを用い、ワイヤ駆動機構により各関節の運動を生成する。小型で出力重量比が大きく、減速機を必要としない超音波モータを用いることにより、バックラッシュを回避し、静肅性を得るとともに、アクチュエータを内蔵した軽量なハンドを実現する。メンテナンスの容易性を考え、各フィンガをユニット化して製作し、これを5本組み合わせることにより、5指型ロボットハンドを構成することとする。本報告では、人間の示指にあたるロボットフィンガの開発を行う。

2.2 駆動方式

本フィンガの各関節の駆動方法として、超音波モータと弾性要素を用いた以下の駆動方式を用いる。MP関節の屈伸運動を例にとって駆動方式の模式図をFig. 1に示す。2つのブーリーは、弾性要素を介したワイヤによって連結されている。(a)の初期状態において、2つの弾性要素はともに自由長 x_0 から Δx_1 進展した状態にあり、関節軸は2つのモーメントの釣り合いにより静止している。フィンガの慣性の影響を無視し、非接触時の運動において弾性要素の長

さは変化しないものとすると、(b)のように屈曲した状態で、 \mathbf{q}_b と \mathbf{q}_{usm_b} の間には

$$\mathbf{r} \cdot \mathbf{q}_b = \mathbf{r}_{usm} \cdot \mathbf{q}_{usm_b} \quad (1)$$

の関係が成立立つ。フィンガが対象物に接触した場合には、2つの弾性要素の長さに差が生じ、その差に応じた力が対象物に与えられる(c)の状態において、 F 、 \mathbf{q} および \mathbf{q}_{usm} の間には、

$$\mathbf{F} \cdot \mathbf{r}_f = 2 \cdot k \cdot (\mathbf{r}_{usm} \cdot \mathbf{q}_{usm_c} - \mathbf{r} \cdot \mathbf{q}_c) \cdot r \quad (2)$$

の関係が成立立つ。よって、 \mathbf{q} および \mathbf{q}_{usm} の値を計測することにより、力 F の大きさを求めることが可能となる。そのため、センサが不要となり、超音波モータの位置決め制御により力制御を行うことが可能となる。また、超音波モータは高保持トルク特性を有するため、(c)の状態でモータへの電力供給を停止することにより、対象物に一定な力を与え続けることができる。このように、本駆動方式により安定で効率的な動作を実現可能であるといえる。さらに、関節は弾性要素による受動的なコンプライアンスを持ち、減速機を用いない超音波モータは能動的なコンプライア

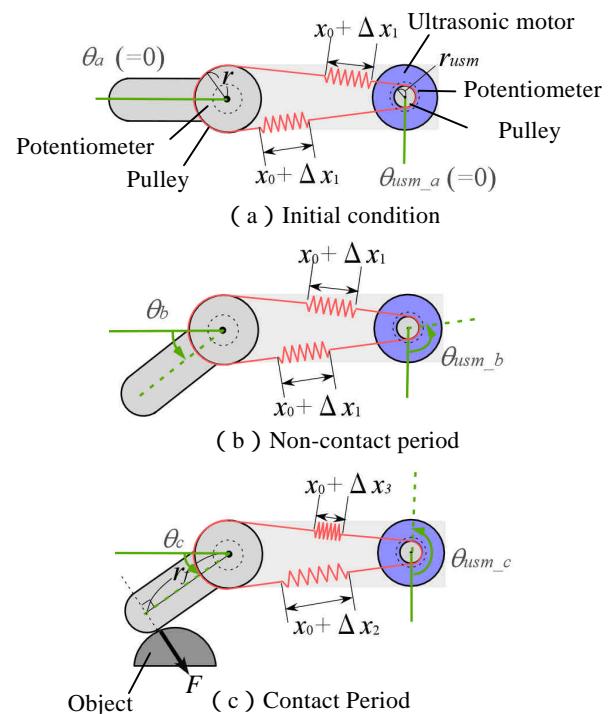


Fig. 1 Outline of driving method

ンス制御が容易であるため、物体の柔らかい把持や操作が可能であるという利点を有する。

2.3 駆動機構

人間の母指以外の各指は、中枢側から MP 関節、PIP 関節、DIP 関節の 3 関節を有し、それぞれが屈伸運動を行う。MP 関節はこれに加えて側屈運動を行う。本ハンドの各フィンガは、上述した駆動方式を組み合わせた Fig. 2 のような駆動機構により各運動を生成する。MP1 関節（屈伸）には上述した駆動方式がそのまま適用されており、PIP 関節および DIP 関節の駆動機構には、ワイヤをフィンガ内で経由させるために、図のような中間ブーリーを用いている。中間ブーリーはペアリングにより摩擦の小さい状態で関節軸上に取り付けられているため、超音波モータ 3 により DIP 関節を駆動する際、他の関節は回転運動を起こさない。また、超音波モータ 2 により PIP 関節を駆動する際には、MP1 関節は回転せず、DIP 関節と PIP 関節は

$$r_a \cdot \Delta q_{DIP} = r_b \cdot \Delta q_{PIP} \quad (3)$$

の関係を保つようにして、人間の手指と同様に従属的に運動する。超音波モータ 1 により MP1 関節を駆動する際にも、同様に、他の関節の角度変位はブーリ半径の比から求められる。よって、上述した関係を考慮してモータに指令値を与えることにより、それぞれのモータの駆動力による非線形な干渉を生じさせることなく、各関節の駆動を行うことができる。また、3 つのモータの上部に超音波モータ 4 を配置し、前述した駆動方式により側屈運動を生成する。

2.4 詳細設計

上述した駆動機構をもとに、示指モデルの詳細設計を行った。設計図面を Fig. 3 に示す。日本人の成人男性の平均的な身体寸法データに合わせて各部の寸法を決定した^[1]。各関節の可動域も、人間と同等になるように設計した。また、示指モデルが直径 25mm の円柱を精密把握した状態を基準とし、この姿勢において指先から対象物に 5N の力を与えられるように、ブーリの半径および弾性要素のばね定数を決定した。Fig. 2 の r_a と r_b の比は 10:7 とした。

3. 製作および評価

3.1 示指モデルの製作

設計図面をもとに製作した示指モデルの外観を Fig. 4 に示す。ベースプレートおよびブーリには、強度と重量を考慮してアルミ材を使用した。また、フィンガ部および側面プレートには、軽量化のためアクリル材を用いた。ワイヤとして、径 0.27mm の金属製ワイヤを使用している。超音波モータには、新生工業製のリング型超音波モータ USR-B4（最大出力トルク 0.1Nm）を用いる。また、各関節角度およびモータ回転角度を計測する 8 つの角度センサには、村田製作所製のトリマポテンショメータ PVS1-103A01 を用いる。示指モデル全体の重量は 153g であり、ハンド全体が重量 1kg 以下で構成されるため、十分軽量であるといえる。弾性要素の具体的な選定は検討中であり、現在は、ウレタンゴム製のベルトを代用している。

3.2 位置制御実験

製作した示指モデルに、D/A 変換ボードおよび A/D 変換ボードを介して制御 PC を接続し、制御システムを構築した。モータの駆動には専用のモータドライバを用いている。Fig. 2 の各関節角度を 0 度とした状態を初期姿勢とし、MP 関節、PIP 関節、DIP 関節の目標角度として、それぞれ 20 度、60 度、40 度のステップ入力を与えたときの角度の履歴を Fig. 5 に示す。弾性要素の変形により多少の発振が生

じているものの、各関節角度は 270msec 程度で目標角度に収束している。また、マスタフィンガを用いた制御実験においても、時間遅れ 100msec 程度で目標値に追従した。以上の結果から、製作したフィンガは前述した駆動機構により、安定した屈伸運動を実現できることがわかる。

4. おわりに

本研究では、アクチュエータを内蔵し、人間と同等の自由度を有する 5 指型ロボットハンドの開発を目的として、超音波モータと弾性要素を用いた駆動機構を考案した。また、製作したフィンガを用いた位置制御実験により、機構の有効性を確認した。今後は、母指の設計および各フィンガの製作を行い、これらを組み合わせることによって安定で柔軟な把持機能を有するロボットハンドの構築を行う。

参考文献

- [1] 生命工学工業技術研究所編：設計のための人体寸法データ集、人間生活工学研究センター（1996）

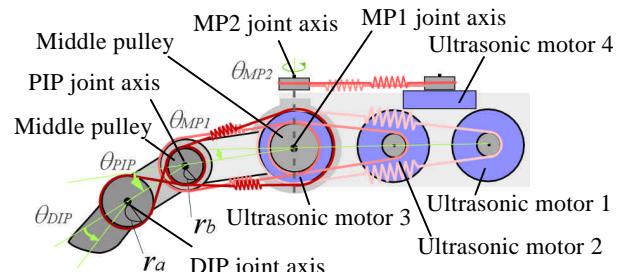


Fig. 2 Outline of driving mechanism

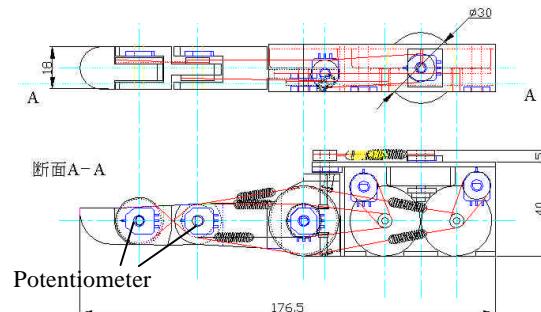


Fig. 3 Plan of index finger



Fig. 4 Developed index finger

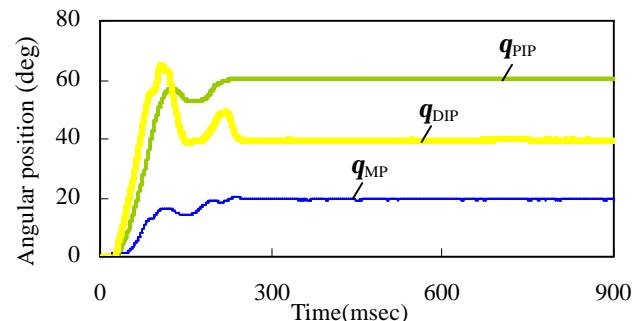


Fig. 5 Step response of angular positions