218 曲面状弾性フィンガの内部ひずみを用いた摩擦係数検出法

Method for Detecting the Friction Coefficient using Strain Inside an Elastic Finger Having Curved Surface

川村知之 (慶大) 〇正 前野隆司 (慶大)

Tomoyuki KAWAMURA, Keio University, 3-14-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama
Takashi MAENO, Keio University, 3-14-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama

Two methods are proposed for grasping object with unknown weight and the friction coefficient by robot hands in recent years. First method is to detect partial incipient slip region at the contact surface. Another one is to detect the friction coefficient between robot hands and object. The latter method have demerit that needs entire slippage of an object. In the present study, new method is proposed for detecting a friction coefficient between an object and a curved surface elastic finger only by indenting the finger into the object. First, a contact condition between a plate and a elastic finger having curved surface is calculated using finite element analysis. The deformation of the elastic finger, and strain distribution inside the elastic finger are calculated for different friction coefficients between finger and plate. Results show that strain distribution inside the finger differs when the friction coefficient differs. Experimental results show similar tendency to calculation. From these results, the method is confirmed that friction coefficient can be measured by elastic finger having curved surface.

Key Words: Friction coefficient, Friction, Sensor, Finite element analysis

1. 結論

ロボットハンドで重量や摩擦係数が未知の物体を把持する手法として、これまでに様々な未知物体把持手法が提案されてきた。それらは大きく2つに分類できる。1つ目は、ロボットハンドと対象物との間に生じる局所滑りを検出する手法[1]であり、もう1つはロボットハンドと対象物の間の摩擦係数を検出する手法[2][3]である。後者の手法は、摩擦係数を検出するために一度物体を滑り落とす、または部分的に滑らせる必要があるものがほとんどであるため、対象物を滑り落とすことなく摩擦係数を検出する手法が望まれていた。このため、本研究では、ロボットハンドと対象物の摩擦係数を検出する新たな手法を提案する。本手法は対象物にフィンガを押し込むだけで物体を意図的に滑らせることなく摩擦係数を検出するものである。まず、手法の概要について述べる。有限要素解析および実験により手法の妥当性の確認結果を示す。

2. 検出手法

Fig. 1 に、ロボットフィンガが把持対象物に接触する際の様子を模式的に示す。ロボットフィンガは表面に曲率を持つ

Fig. 1 Contact condition while indenting a elastic finger into a plate

た弾性体とし、把持対象物は剛体、対象物の接触面は平面とする。まず、Fig. 1(a)はフィンガを対象物に接触させた瞬間であり、点 A のみが接触している。このとき、フィンガから対象物に加えられる力は0である。次に、対象物に法線方向の力 F_n を加えるために、フィンガを対象物に押し込んだ状態が Fig. 1(b)である。点 A 周辺の弾性体は F_n により圧縮され、ポアソン比 ν の分だけ横方向に垂直応力が生じる。Fig. 1(c) はさらに押し込み量を増やし、点 B が接触した瞬間である。このとき、点 B には、押し込みによる法線力と同時に、中心部の弾性体が圧縮されたことにより発生する接線力が加わる。また、対象物と接触したことにより、点 B における F_n と F_t の比から、滑り判定が行われる。もし、 F_t が最大静止摩擦力 μF_n より小さければ、点 B は対象物と固着し、押し込み量を増加させても横方向に移動することはない。しかし、 F_t が μF_n より大きい場合には、点 B は Fig. 1(d)のように外側に移動する。このような点 B の接触状態の違いは、弾性体と対象物間の静摩擦係数 μ の違いによって生じるものであるため、これを何らかの形で検出できれば摩擦係数を判別できると考えられる。

3. 有限要素解析

2節で述べた手法を確認するために、Fig. 2 に示すような曲面状弾性フィンガの有限要素モデルを作製した。モデル表面の曲率は 100mm である。形状は、数種のモデルを検討した結果、最も摩擦係数の検出精度が高いと思われる形状を選択したものである。

Fig. 2 Finite element model

Fig. 3 Shear strain distribution

Fig. 5 Elastic finger having curved surface

モデルに対し、剛体平板を y 方向に押し込む解析を行った。押し込み量は 10mm とし、弾性フィンガと剛体平板との間の摩擦係数を様々に変えて解析を行った。このときの、Fig. 2 に○で示した節点におけるせん断ひずみ分布を Fig. 3 に示す。ひずみ分布をみると、摩擦係数の違いにより分布パターンが変化することがわかる。このようなせん断ひずみ分布パターンは、弾性フィンガ内部にひずみセンサを配置することにより検出することが可能である。本研究では、ひずみセンサとしてひずみゲージを用いることとする。ひずみゲージは 1 軸の垂直ひずみセンサであるが、 x 軸と角度を持たせて配置することにより、せん断ひずみに対応する値を検出することができる。このため、Fig. 2 に示した位置、角度にひずみゲージを配置した際に、実際に検出されるひずみの値を、有限要素解析の結果から算出した。これを Fig. 4 に示す。なお、ひずみゲージは、最も摩擦係数の違いを検出する能力が高いと考えられる位置と角度に配置した。Fig. 4 のグラフをみると、摩擦係数が大きくなるに従って、ひずみゲージで検出されるひずみの値は単調に減少していることがわかる。すなわち、ひずみゲージの出力を測定することにより、弾性フィンガと対象物の間の摩擦係数を検出することができる。

4. 実験

前節で設計した形状をもとに、弾性体としてシリコンゴムを用いて、内部にひずみゲージを配置した弾性フィンガを製作した。このフィンガを Fig. 5 に示す。本フィンガを用いて、数値解析の際と同様に上方向から剛体平板を押し込んだときのひずみゲージの出力を測定した。フィンガと剛体平板の間の摩擦係数を変えて、同様の実験を行った。この結果を Fig. 6 に示す。グラフの横軸に示した摩擦係数は、実際にフィンガと剛体平板の間の静摩擦係数を実験的に計測した結

Fig. 4 Strain measured by strain gage

Fig. 6 Relationship between friction coefficient and measured strain

果である。また、曲線は測定結果の近似曲線であり、ここでは 2 次の多項式を用いた。

Fig. 6 をみると、摩擦係数の増加に伴いひずみの値が単調に減少している様子がわかる。この結果は 3 章に示した解析結果とも定性的に一致しており、本手法によって摩擦係数を検出できることを実験的に確認できたといえる。また、このグラフから、摩擦係数の測定誤差は約 0.05 程度であること、検出可能な範囲はほぼ $\mu \leq 0.5$ であることが判断できる。

5. 結論

表面に曲率を有する弾性フィンガを用いて、対象物との間の摩擦係数を検出する手法を提案した。この手法は、フィンガを対象物に押し込むのみで摩擦係数を測定することが可能であり、検出後すぐに把持動作に移れるなど、未知物体を把持するために有効な手法である。

また、有限要素解析と実験を行い、本手法により摩擦係数が検出できることを確認した。

参考文献

- [1] 前野隆司, 広光慎一, 河合隆志: 曲面状フィンガの固着・滑り分布推定に基づく把持力の制御, 日本ロボット学会誌, vol.19, no.1, pp.91-99, 2001
- [2] 山田陽滋, 三田賢志, 藤田和秀, 土田縫夫, 今井孝二: 把握力制御のための静摩擦係数のアクティブ・センシング, 計測自動制御学会論文集, vol.30, no.10, pp.1188-1194, 1994
- [3] 中村克彦, 篠田裕之: テンソルセル触覚センサによる摩擦係数の瞬時検出法, 第 18 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 1007-1008, 200