

把持力制御のための弾性ロボットフィンガの指紋形状最適化

山田大介(慶應義塾大学), 前野隆司(慶應義塾大学), 山田陽滋(豊田工業大学)

Optimization of Geometry of Ridge for Elastic Robot Finger

-Robot Finger for Grasp Force Control-

*Daisuke YAMADA(Keio Univ.), Takashi MAENO(Keio Univ.) and Yoji YAMADA(Toyota

Abstract - An elastic finger-shaped sensor having ridges was developed in our previous study in order to control grasping force by robot fingers. However, geometry of the ridges was not optimized. In the present study, we design geometry of a finger having ridges so as to maximize the sensitivity of the sensor for detecting the slippage of a ridge. First, contact analysis between a flat plate and a finger having various surface geometry is performed using finite element method. Then, a geometry of the finger is decided with which a entire slippage of a ridge easily occurs. It means that it is easier to detect the acceleration signal using the sensors incorporated in the finger. Finally, a method for controlling the grasping force using the developed finger-shaped sensor is discussed.

Key Words: Tactile Sensor, Tribology, Finite Element Analysis, Biomimetics

1. 緒論

重量および摩擦係数が未知の物体を安定に把持するという問題は、ロボティクス分野において古くから研究されている重要な問題である。筆者らはこの問題に対して、ヒト指の構造的特徴を模倣したロボットフィンガによってフィンガと把持物体との間に発生する初期局所滑りを検出し、それに基づいて把持力を制御するという手法を提案するとともに、本手法の有効性を示した¹⁾。しかし、これまでに提案した手法には、初期局所滑りの検出精度が悪いという問題があった。このため、本研究では、ヒト指紋稜線の構造的特徴を模倣したロボットフィンガを設計し、精度良く初期局所滑りを検出することのできるロボットフィンガの形状およびそれを用いた初期局所滑り検出法を提案する。

2. フィンガ形状設計

2.1 従来の手法の問題点

筆者らは、Fig. 1 に示した形状の把持力制御用ロボットフィンガを提案した¹⁾。本フィンガは、柔軟な材料で構成されており、また表面に曲率を有するため、物体を把持した際には接触面端部において初期局所滑りが発生しやすい。また、フィンガ表面に指紋状の凹凸が配置されているため、初期局所滑りが発生した際には滑り領域に存在する指紋状凸部のせん断変形が開放され、凸部の形状に依存する固有振動が発生する。さらに、1つの指紋状凸部内部に2つずつの触覚センサが配置されており、両者の出力の差の加速度成分がインパルス状にตอบสนอง

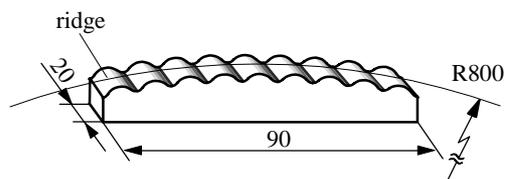


Fig. 1 Geometry of Proposed Robot Finger

ことにより、初期局所滑りの発生に起因する指紋状凸部の振動を検出することができる。このような原理によって本フィンガは初期局所滑りを検出することができるが、初期局所滑りに起因する指紋状凸部の振動状態の再現性が低く、精度良く初期局所滑りを検出できないという問題があった。これは、それぞれの指紋状凸部の形状が円弧状であるために、把持物体とそれぞれの凸部の接触面内においても微視的な初期局所滑りが発生し、凸部の変形の開放による振動が再現性よく発生しないためであると考えられる。

2.2 フィンガ形状設計

2.1 節で述べた問題を解決するために、フィンガの指紋状凸部の形状の検討を行った。ヒトの指紋は巨視的に台形状であり、その上底にあたる部分にわずかに曲率を持っている。このような形状によって、指紋と物体とが接触した際に、接触面での垂直反力は均一に分布すると考えられる。そこで、ヒト指の指紋を模倣した様々な形状の指紋状凸部の有限要素モデルを作成して接触解析を行うことによって、接触面での垂直反力が均一に分布する形状を探索した。ただし、指紋状凸部の物性値は、ヤング率 0.3MPa、ポアソン比 0.49、密度 1230 kg/m³とした。また、指紋状凸部と接触する物体との間の静止摩擦係数を 1.0、動摩擦係数を 0.5 とした。なお、解析には有限要素コード MARC を用いた。解析の結果得ら

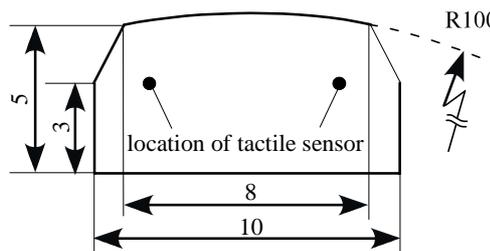


Fig. 2 Geometry of ridge

れた指紋状凸部の形状を Fig. 2 に示す .Fig. 2 に示した指紋状凸部に剛体平板を押しつける解析を行ったところ、接触面内における垂直反力が均一に分布することがわかった . したがって、固着状態から滑り状態への変化が急激になり、初期局所滑りを精度良く検出することができるといえる .

次に、Fig. 2 に示した台形状の指紋状凸部を用いたロボットフィンガ全体の形状を設計した . フィンガは、指紋状凸部 9 つを並列に配置し、全体に曲率を持たせた . このような形状によって、接触面端部において初期局所滑りが発生しても、十分な固着領域を確保することができ、物体を滑り落とすことなく把持することができる . また、フィンガの曲率半径を 2000 mm とした . 曲率半径が小さすぎると十分な接触面積を得られないという問題があるが、曲率半径 2000 mm では、約 10 N の力を負荷した際に、全ての指紋状凸部が接触する . 決定したフィンガ形状を Fig. 3 に示す . それぞれの指紋状凸部上底部の曲率は 100 mm だが、フィンガ全体の巨視的な曲率は 2000 mm となっている .

3. 把持力制御法

3.1 接触状態検出法

Fig. 3 に示した形状のロボットフィンガの有限要素モデルを用いて動的接触解析を行った . フィンガの底面を固定して指紋状凸部の存在するフィンガ上面から剛体平板を押しつけて法線力を負荷した後に、1 mm/s の速度で剛体平板を移動させた . フィンガの物性値および摩擦条件は 2.2 節で述べた解析と同様である . ただし、剛体平板を押しつける力を 4 N とし、指紋 3~7 までの指紋状凸部と剛体平板とが接触するようにした . 指紋 4 および 8 の内部の 2 点におけるせん断ひずみの差の速度成分(以下「ひずみ速度」と呼ぶ)の履歴を Fig. 4 (a)および(b)に示す . Fig. 4 (a)のように、指紋状凸部と把持物体とが固着しているときにはひずみ速度の値が正になるのに対し、滑っているときにはひずみ速度の値が負になる . また、Fig. 4 (b)のように、指紋状凸部と把持物体とが接触していないときには、ひずみ速度の値はほぼ 0 となる . したがって、それぞれの指紋状凸部と把持物体との接触状態は、内部に配置した触覚センサから得られるひずみ速度の値の符号によって検出することができる . このため、フィンガと把持物体との間の接触状態は、全ての指紋状凸部内部に配置した触覚センサの出力をモニターし、固着領域と滑り領域の割合を随時算出することによって検出することができる .

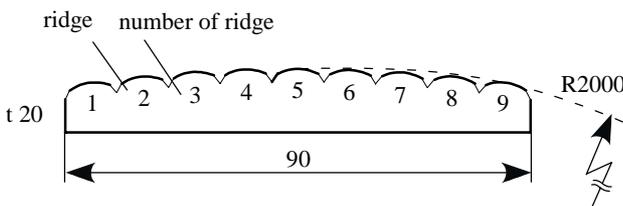


Fig. 3 Geometry of elastic finger

3.2 把持力制御法

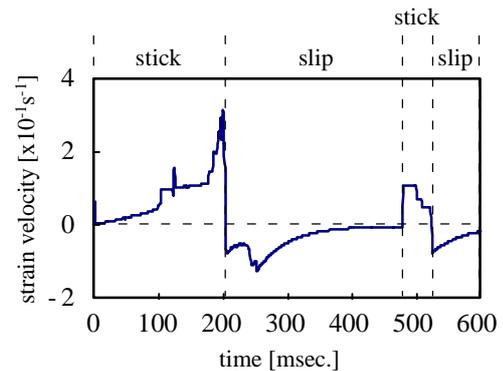
3.1 節に述べたような方法でリアルタイムにフィンガと把持物体との接触状態を検出できるため、これより固着領域割合を算出しフィードバック量とすることで把持力を制御することができると考えられる . すなわち、固着領域に対して滑り領域の割合が大きいたまには物体を持ち上げる力に対して物体を握る力を相対的に強め、割合が小さいときには物体を握る力を相対的に弱めることによって、重量や摩擦係数が未知の物体を握りつづいたり滑り落としたりすることなく把持することができると考えられる .

4. 結論

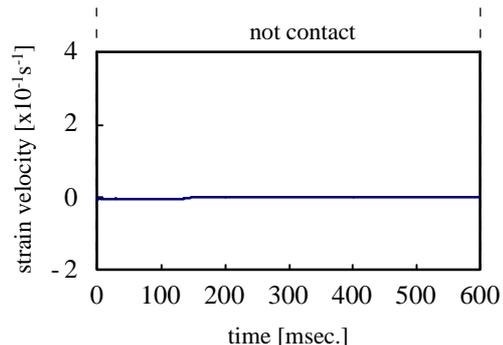
従来提案したロボットフィンガの問題点を明らかにし、フィンガ形状の改良を行った . この際ヒト指紋稜線の形状を模倣して反力が均一に分布するフィンガ形状を設計した . また、設計したフィンガを用いて、フィンガと把持物体との間の接触状態を検出できることを有限要素解析によって示し、本フィンガを用いて重量や摩擦係数が未知の物体を把持する手法についても考案した .

参考文献

- 1) Daisuke Yamada, Takashi Maeno and Yoji Yamada : Artificial Finger Skin having Ridges and Distributed Tactile Sensors used for Grasp Force Control, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 14, No. 2, pp.140-146 (2002) .



(a) ridge 4



(b) ridge 8

Fig. 4 History of strain velocity