

柔軟指の初期滑りの計測

○小野田裕亮(立命館大) Ho Anh Van(立命館大) 平井慎一(立命館大)

1. 緒言

柔軟指は剛体指と比べて物体を安定に把持，操作できることが知られている．柔軟指はその変形によって把持対象物と面接触することができ，また柔軟指ハンドで把持された物体は，環境と接触するなどして外力を受けても，指先が把持対象物から間接的に接触力を受けて変形することで面接触状態を維持し，物体を把持し続けられる．他にも，柔軟指ハンドは剛体指ほど高精度な制御を必要としないという特徴がある．剛体指で物体を把持する場合，精密な力制御をしなければ，把持できないか，もしくは把持対象物やハンドを破壊してしまう恐れがある．しかし柔軟指ハンドであれば，指先の変形によって多少の誤差なら吸収することが期待できるため，より単純な制御でも，物体の把持，操作が可能であると考えられる [1]．

ロボットハンドでこのような動作を行うためには，接触位置や接触力，滑りなどの情報を取得する必要がある．さらに，ロボットが接触位置や接触力，滑りなどの情報を取得した上で，物体を破壊しない最小把持力で把持することが重要となる [2]．

また近年，ロボットハンドと把持物体の接触面に発生する初期滑りを用いる手法が注目されている．初期滑りとは接触面の一部に初期的に生じる滑りを指す．初期滑りを検出すれば，把持物体を完全に滑り落とす直前の状態を検出できるため，安定な物体把持のために有効である．そこで，物体を破壊しない最小把持力で把持することを考えた場合，人間では，指内部に配置された触覚受容器によって指と把持物体の接触面における接触状態の分布を検出し，それに基づいて適切な把持力を算出し，筋を制御するというフィードバック制御を行っている [3]．したがってロボットにおいても，初期滑りを感知し，物体を破壊しない把持力で把持することは可能であると予想される．

そのほかにも初期滑りに関して，理論的背景から初期滑りをモデル化した研究がある．1つは，半球状弾性体を剛体平板と接触させた状態で水平方向に力を加えた際に生じる応力分布や弾性体の相対変位を計算できる理論モデルである [4]．もうひとつは，半月状で接触面に対して垂直に多くの梁がある構造の柔軟指を剛体平板に接触させた状態で水平方向に力を加える際の，柔軟指の接触領域の周辺部から徐々に各梁が滑りを生じていく現象を解析したシミュレーションである [5]．そこで本研究では，半月状の柔軟指を用いた初期滑りの計測を行うことでそのシミュレーションの検証を行う．

2. 初期滑り

2.1 初期滑りの原理

初期滑りの発生のメカニズムについて説明する．人の指の弾性球と剛体平板の接触において，接触領域の中心部分に比べて周辺部分では法線方向の接触力が弱くなる．この状態で接線方向に負荷力を加えた場合，周辺部では拘束が弱いため中心部に比べて早く滑り始める．このように接触面内において周辺部の滑りの発生している領域と中心部の滑りが発生していない領域が両方存在する状態を初期滑りと呼ぶ [4]．この初期滑りのタイミングを正確に判断することができれば，質量および摩擦係数が未知の物体を把持した場合でも，接触面内において滑りの発生している領域と発生していない領域が存在する状態となった際に，その情報をフィードバックし，把持力を制御することによって，把持物体を落とさないような安定的な把持が可能である．

2.2 初期滑りの計測方法の提案

本研究の目的は，柔軟指で初期滑りを計測することである．計測方法を図1に示す．リニアステージを用いて柔軟指を平板に接触させた状態で滑らせ，正面からその映像をカメラを用いて撮影し，画像処理によって初期滑りを計測する．ロードセルは，柔軟指に外力がかかる際に生じる力の x, y, z 成分を計測できる．

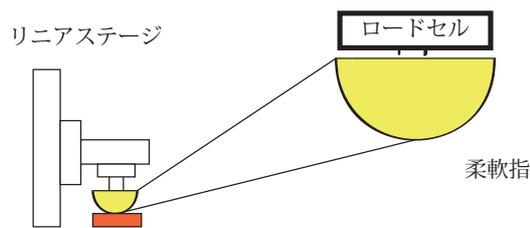


図1 計測システムの提案

3. 計測システム

3.1 計測環境

システム構成を図2に示す．カメラ用のパソコンは，柔軟指の撮影用である．画像処理のプログラムの調整や画像処理後のデータの出力は，別のパソコンで行う．リニアステージ用のパソコンは，リニアステージの水平方向や垂直方向の移動距離の値を調整できる．

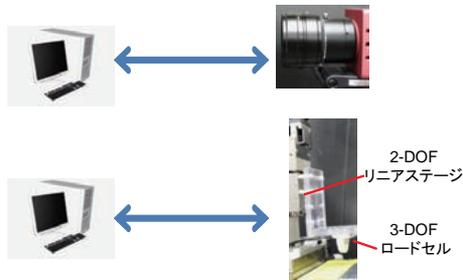


図2 計測環境

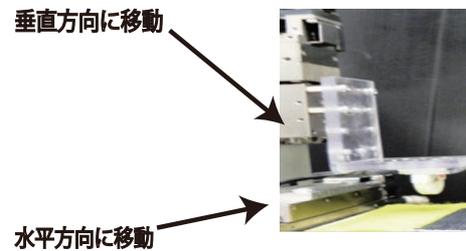


図4 リニアステージ

3.2 柔軟指

柔軟指にマーカを付け、マーカの移動量をカメラを用いて計測する。どのようにマーカを付けるかを、図3に示す。マーカを真っ直ぐに付けるため、薄すぎず柔らかい人間の髪の毛を利用している。柔軟指のサイズおよび材質を表1に示す。硬度30度（アスカーC）というのは、アスカー株式会社のオリジナルの硬度である。硬度5度（アスカーC）では人間の腹部程度の柔らかさを指し、硬度15度では人間の足の裏の硬さほどである。

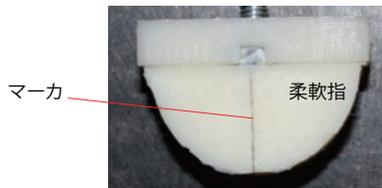


図3 柔軟指のマーカの位置

表1 柔軟指のサイズおよび材質

| | |
|----|----------|
| 直径 | 20[mm] |
| 厚さ | 10[mm] |
| 材質 | ポリウレタン樹脂 |
| 硬度 | 30度 |

3.3 リニアステージ

リニアステージは、図4のように水平方向と垂直方向に移動が可能で、内臓されているモータの制御によって速度および移動距離を調整できる。その最大移動距離について表2に示す。また、分解能は $2\ \mu\text{m}/\text{pulse}$ である。

表2 リニアステージの水平及び垂直方向の最大移動距離

| 最大移動距離 | 水平方向 | 垂直方向 |
|--------|------|------|
| [mm] | 50 | 15 |

3.4 カメラ

カメラの撮影速度は最大500 fpsまで調節が可能で、本計測では200 fpsで行うことにする。画素数は、 800×800 pixelである。また、リニアステージとカメラの位置の調整により、1 pixelは0.1 mmに設定した。

3.5 計測方法

計測方法を以下に示す。

1. リニアステージを用いて、マーカの付いた柔軟指を地面に押し付けた状態にする。
2. 図5のように、柔軟指のマーカの正面にカメラが来るように撮影する。
3. リニアステージを用いて、柔軟指を水平方向に一定の速度で移動させる。
4. Hough変換を行いマーカの部分に検出されるラインの始点の座標の推移を出力する。
5. ラインの始点の x 座標の変位を求め、初期滑りを計測する。

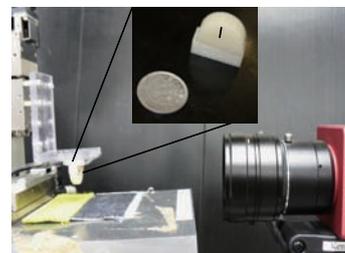


図5 計測方法

3.6 画像処理

プログラムの流れは、始めに入力画像をROI(Region Of Interest)処理によって、図6のように柔軟指のマーカ付近の画像に切り取る。つまり、 800×800 pixelから 20×55 pixelの大きさにする。次に、その切り取った画像をエッジ抽出し、Hough変換を行う。最後に、図7のように、Hough変換によってラインが引かれ、ラインの始点の座標と終点の座標が出力できる。その始点の (x, y) 座標が指先の座標となり、始点の x 座標の変位を出力する。マーカの先の x 座標が変化した場合、初期滑りしたと判断する。

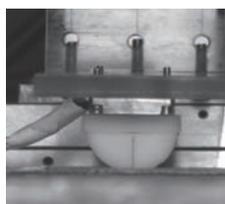


図6 ROI処理



図7 Hough変換後の画像

4. 計測結果

4.1 初期滑りの判断条件

初期滑りを計測する際に、ラインの幅とラインの始点の座標の変化を区別する必要がある。区別する方法を以下のように定義する。まず、計測結果において柔軟指が動いていない画像までのラインの始点の座標を取得し、取得した座標が一定の範囲内であることを確認する。理想的にはラインの始点の座標1つの (x, y) 座標をとるはずである。しかし、実際はラインの幅によってラインの始点の座標に変化が生じることがある。その幅を画像処理によって計測し、ラインの幅を定義する。次に定義したラインの幅と計測結果を比較し、計測結果の x 座標が1 pixelでもラインの幅から値を超えれば、初期滑りしたと判断する。

4.2 計測結果

図8に計測結果を示す。図8から分かるように、100枚目まではラインの始点の座標が一定の範囲にあることが分かる。

図9に100frameまでの計測結果を示す。図9から分かるように、ラインの始点の座標が4 pixelの間にあることが分かる。したがって、ラインの幅を4 pixelの間と定義する。さらに、初期滑りの判断条件は、ラインの始点の x 座標が7 pixelに移動した場合とする。

図10には、ラインの始点の x 座標を8 pixelに修正した計測結果である。修正方法は、出力画像とラインの始点の座標を目視により比較し、座標の位置からラインの左端の x 座標へ値を変更する方法である。この修正により、各画像のマーカの位置を計測することができる。しかし、図10では、具体的に何枚目に初期滑りしたのか判断できない。そこで、ラインの始点の座標が変化した周辺の座標データを図11に示す。図11より、187枚目で7 pixelに変化しているのが分かる。したがって、181枚目で初期滑りが起こったという結果となった。

本計測では、図10に示すように全ての画像でマーカの x 座標を検出できていない。そのため今後は、本計測での200 fpsではなく、400 fpsで計測を行うことにより、1 frame当たりの速度を遅くすることで、より精度の高い計測結果が示すことができる。

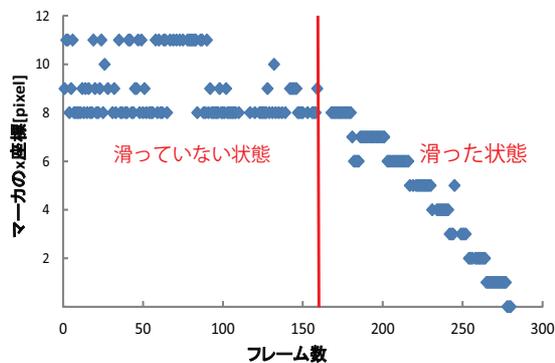
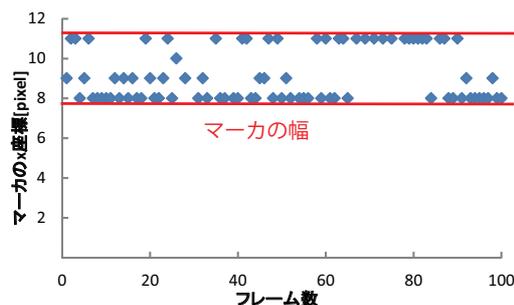
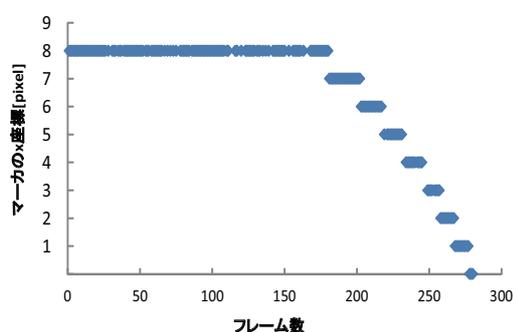
図8 マーカの x 座標の変位の計測結果図9 マーカの x 座標の変位を100 frameまで計測した結果

図10 マーカの幅を考慮した計測結果

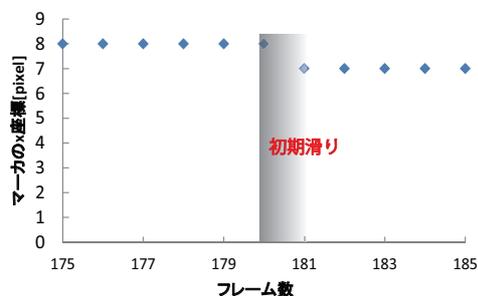


図11 マーカの幅を考慮した初期滑り付近での計測結果

5. 結言

本研究の目標は、柔軟な指先を有する柔軟指を用いて、初期滑りを計測することであった。そのために、リニアステージを用いてマーカの付いた柔軟指を水平方向に滑らせ撮影し、その画像データを画像処理し、ラインの始点の座標を計測した。この計測結果から、柔軟指の初期滑りを計測することができた。

計測方法が画像処理のみでは計測に限界があるため、ロードセルを用いて柔軟指に外力がかかる際に生じる力の x, y, z 成分を計測し、画像処理と同期させて初期滑りの計測を行う。また、物体を2指で把持した際に把持物体を落とさないようにするため、2指で物体を把持する際の初期滑りの計測も必要であると考えた。したがって、今後の課題として、初期滑りの判断方法の検証と2指で物体を把持する際の初期滑りの計測が挙げられる。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金(課題番号 2324604)の支援を受けた。

参考文献

- [1] 上本宏明, 平井慎一: "柔軟3指の配置が把持対象物の姿勢角制御に与える影響", 第28回日本ロボット学会学術講演会, 2010.
- [2] 勅使河原誠一, 清水智, 多田隈建二郎, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: "感圧導電性ゴムを用いた高感度型滑り覚センサの研究開発", 第28回ロボット学会学術講演会, 2010
- [3] 山田大介, 前野隆司, 山田陽滋: "指先接触面の滑り量制御による重量・摩擦提示デバイス", 日本機械学会論文集(C編), 2004
- [4] 池田篤俊, 栗田雄一, 上田淳, 松本吉央, 小笠原司: "初期滑り時の接触面偏心度に基づく弾性体の把持力制御", 第23回ロボット学会学術講演会, 2005
- [5] Ho Anh Van and Shinichi Hirai: "Modeling and Analysis of Frictional Sliding Soft Fingertip, and Experimental Validations", International Journal of Advanced Robotics, Vol.25, pp 291-311, 2011