



MR 画像に基づくヒト指先のモデリングと評価

Modeling of a Human Fingertip Based on MR Images and Its Evaluation

木田昌希¹⁾, 田川和義¹⁾²⁾
Masaki KIDA, Kazuyoshi TAGAWA

- 1) 愛知工科大学 工学部 情報メディア学科 (〒443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2, {kida,tagawa}@tagawalab.org)
2) 立命館大学 総合科学技術研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1, 19v00710@gst.ritsumei.ac.jp)

概要: ヒトが物体に触れる際、指の変形が起こるが、その指の物理パラメータの妥当性は示されていない。そこで、本研究では触覚情報生成に必要な十分な仮想柔軟指モデルを構築することを目的とする。このため、MR 画像に基づいて、骨と爪、皮膚から構成される指モデルを構築し、実際の指の変形と比較することにより物理パラメータの妥当性の検討を行ったので報告する。

キーワード: 指先モデリング, 物理パラメータ, 変形シミュレーション, 評価

1. はじめに

ヒトは物体に触れる際や物体を把持する際に、触覚受容器は指がどのように動的に変形したかを検出している[1]。また、物体をなぞった際に、ヒトは指紋の固着・滑りにより振動が起こることによって微細な表面構造を知覚することができる。そのため、指先で物体に触れた際の触覚を再現するためには、指の変形や Stick-Slip 現象による指紋の動的な変形を求める必要がある。

前野らは、指紋の詳細形状の力学的な意味を明らかにすることを目的とした研究を行った。内容としては指紋の断面形状を測定し有限要素モデルを構築、最後に接触解析及び固有振動数、固有モード解析を行った[2]。しかし、触覚受容器近傍の応力集中の解析を目的としており、触覚情報生成を目指したものではない。

井垣らは、様々な物体の表面粗さに起因する触覚情報生成を目標とし、指紋を有する指先の Stick-Slip シミュレータを構築した[3]。しかし、指の形は実測に基づくものではなく、振動は評価されているが、変形は評価されておらず、横断面でのシミュレーションとなっている。

そこで、本研究では触覚情報生成に必要な十分な仮想柔軟指モデルを構築することを目的とする。このため、MR 画像に基づいて、骨と爪、皮膚から構成される指モデルを構築し、実際の指の変形と比較することにより物理パラメータの妥当性の検討を行う。

2. MR 画像に基づく指先の二次元断面モデリング

図 1 に示す被験者の指先の MR 画像を元に、指先の二次元断面モデリングを行った。まずは、MR 画像から骨、皮

下組織、真皮、表皮間の境界線を Blender で設定した、その後、メッシュ作成ソフトウェア Gmsh[4]により Delaunay 三角形メッシュを作成し、図 2 のような二次元断面モデルを作成した。本モデルは骨、皮下組織、真皮、表皮、指紋から構成されている。また、MR 画像中に指紋を確認できなかったため、前野らの計測結果[2]に基づき、指紋の形状は台形、指紋の幅(台形の底面の幅)は 0.46mm、高さは 0.11mm とした。

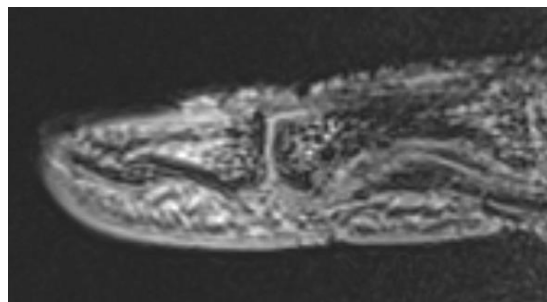


図 1: 指先の MR 画像 (二次元断面)

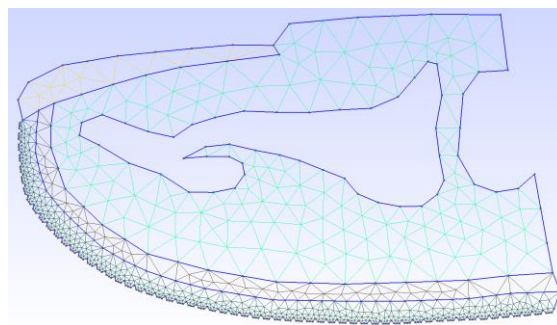


図 2: 指先の二次元断面モデル

3. 指先の二次元断面モデルの評価

変形シミュレーションを行うために必要な初期形状の実際の形状とMR画像の形状を比べ、妥当性があれば、有限要素法でシミュレーションを行う。そして、そのシミュレーションで、実際の指と、シミュレーションの指を比較し、妥当性を検証する。

3.1 初期形状の妥当性検証

初期状態での指先モデルの形状の妥当性を検証するために、MR画像の輪郭と実際の指先の輪郭を比較した。手法としては、OpenCVにて、グレースケールに変換し、Canny法でエッジ検出を行い、関係のない部分は除いた。赤が実際の指、青がMR画像の指になっている。

塑性変形の影響もあると思われるが、変形に影響の出るほどの差は見られなかった。

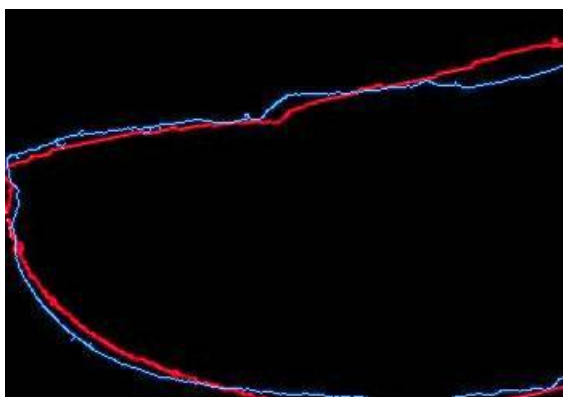


図 3: 初期形状の比較

3.2 パラメータおよび解剖構造をも含めた妥当性検証

筆者らが開発中の指先変形シミュレータを使用して、平板に押し当てた際の変形を求め、実物と比較することで、物理パラメータおよび作成したモデルの解剖構造の妥当性検証を行った。

シミュレータで使用する物理パラメータは、前野らの計測結果[2]に基づき、指紋、表皮、真皮、皮下組織、爪のヤング率をそれぞれ0.136MPa, 0.136MPa, 0.08MPa, 0.34MPa, 142.1MPa, ポアソン比を0.48, 密度を $1.1 \times 10^{-6} \text{kg/mm}^3$ とした。また、静止摩擦係数を1.0, 動摩擦係数を0.5とした。

平板に対して20度の角度で、1mm押し当てるシミュレーションを行った。

図4のように赤い線がシミュレーション、青い線が実際

の指を押し当てた場合となっており、実際の指では少しへこみが大きくなった。この原因としては、シミュレーションでは、固定している部分が第一関節と骨となっており、実測では、爪を固定しているためだと思われる。

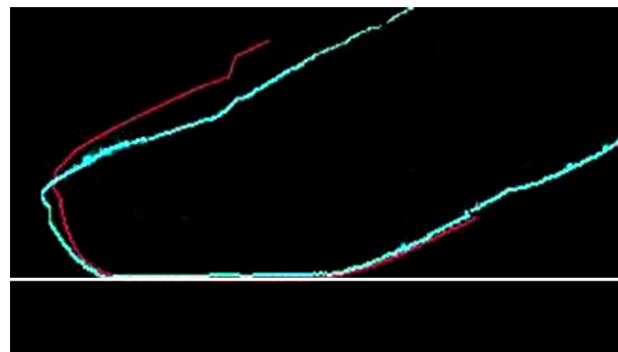


図 4: 平板に押し当てた際の変形の比較

4. まとめ

本報告では、指紋を有する指先の変形シミュレーションを使用し、実際の指先とシミュレーションの変形が必要十分ではないことを確認した。

今後は、角度・押し当て量の検証、動特性を含む変形の検証、モデルの改良を行う。

5. 謝辞

本研究の一部は科研費20H04234, 17H00754の支援を受けた。

参考文献

- [1] 前野隆司: ヒトの触覚受容機構—力学・アナロジー・錯覚という視点から—, 電気学会センサマイクロマシン部門誌, Vol.122-E, No.10, pp.469-473, 2002.
- [2] 前野隆司, 小林一三: ヒト指腹部構造と触覚受容器位置の力学的関係 第3報 凹凸を有する面と指の接触解析結果, 日本機械学会論文集(C編), Vol.65, No.636, pp.3321-3327, 1999.
- [3] 田川和義, 井垣友貴, 田中弘美: 指紋を有する指先のStick-Slipシミュレーション, 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 4A-06, 2019.
- [4] Gmsh: A three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities, <https://gmsh.info>