



空気中における凹凸面に対する指先変形の計測システム

Measurement System for Deformation of a Fingertip on Uneven Surface in Air

和田佳久¹⁾, 田川和義¹⁾²⁾

Yoshihisa WADA, and Kazuyoshi TAGAWA

- 1) 愛知工科大学 工学部 (〒448-0047 愛知県蒲郡市西迫町 50-2, {wada ,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 : 指先で物体に触れた際の触感を提示するには, 指紋を含む指腹部に生じる Stick-Slip 現象の変形・振動を求める必要がある. しかし, 表面構造が非一様な物体では光学的な歪みが発生し, 指先の変形計測が困難である. 本研究では, 透明な凹凸面を介してドットパターンを高速カメラで撮影し, 発生する光学的な歪みの補正テーブルを作成, これに対応可能な計測環境を構築した. これにより, 指紋スケールでの計測が出来ることが確認された.

キーワード : 指先変形計測, 触覚ディスプレイ, Stick-Slip 現象

1. はじめに

人間の五感のうち, 物体に触れた際の手触りや触感などの情報を知覚する感覚を触覚と呼ぶ. 現在までに, 物体に触れた際の触感を提示する装置の開発・研究が多く行われており, これらのシステム多くはヒト指先に対するもので占めている. 近年, 触覚提示技術において表面構造が複雑な物体に触れた際の触感を再現・提示することが求められている. ヒトは, 指先で物体をなぞった際, 指先及び指紋が固着・滑りを交互に繰り返す Stick-Slip 現象の振動で, 物体表面の触感を知覚している[1]. したがって, 指先で物体に触れた際の触感を再現・提示するためには, 指先及び指紋に発生する Stick-Slip 現象による振動・変形を計測することが有効である.

しかし, 不透明な物体や表面構造が複雑な物体では, 指先の変形計測が困難である. また, 透明な物体であっても, 屈折などにより光学的な歪みが発生し, 計測の妨げになる場合がある.

昆陽ら[2]は, 平面の透明アクリル板と指腹部の接触面を高速カメラで撮影し, 指先のなぞり運動時の Stick-Slip 現象の計測を行った. また, この結果による振動刺激を振動子を用いる方法で提示することで, より現実に近い触感が再現できることを確認した.

Levesque ら[3]は指紋及び汗腺口を特徴点とし, 平面及び凹面, 凸面などで指腹部の皮膚変形計測を行った. しかし, 凹凸の形状が大きくなり, 計測の妨げとなるほどの光学的歪みは発生しなかった.

Kaneko ら[4]は, 接触面である透明アクリル板を屈折率の近いシリコンオイルに沈めることによって, 接触面の凹凸を光学的に無視できる環境で計測を行った. しかし, オイル中での皮膚の変形計測を行っているため, 指先が乾いた状態で物体に触れた場合など, 空気中で物体に触れた際の指先の変形を見るができない.

本稿では, 凹凸面での計測時に発生する光学的な歪みに対し補正を掛け, これに対応可能な環境の構築を行う. このとき, マーカの有無で摩擦特性が変化することを避けるため, Levesque ら[3]同様, 指紋を特徴点としたマーカレスでの計測を想定する. このスケールについて, 指紋の稜線のピッチは約 0.3mm であり, これ以下とする..

2. 計測システム

提案する計測環境の構成を図 1 に示す. また, 試作した計測装置の写真を図 2 に示す. ドットパターンの各点の直径は 0.02 mm で, それぞれの中心間距離は 1mm である(図 3). AC サーボモータ(Oriental motor, NXM620A)のステータ部にドットパターンを貼り付け, これを固定する.

計測用の接触面には, 片面に凹凸形状を有する透明なアクリル板(図 4)を用いる. 形状は波長 10mm, 振幅 2mm の正弦波とした. ドットパターンは高速カメラ(Photron, FASTCAM MiniWX100)を用いて解像度 2048×2048 で計測を行う. また, カメラには, テレセントリックレンズ(Vital Vision Technology, VS-LTC-70/FSN)を装着する. 照明は, ムラを少なくするため, リング状照明(U-TECHNOLOGY,

URG61-1500S-HR, UFLS-75-08W-UT)を用いる。

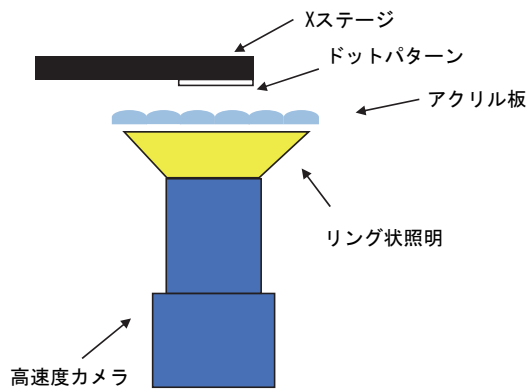


図 1：計測装置の構成



図 2：計測装置の概観



図 3：ドットパターン

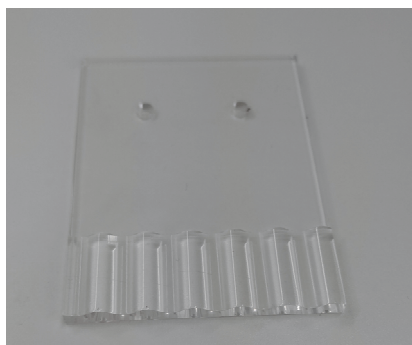


図 4：計測用接触面

3. 計測実験

凹凸面を有するアクリル板を介し、下から高速度カメラでドットパターンを撮影する。

本実験での計測結果は、動画像として得られる。計測時のドットパターンを図 5 に示す。

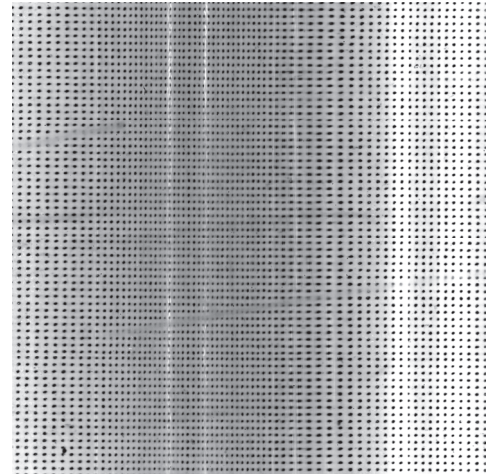


図 5：計測時のドットパターン

そのうち代表一列のドット 70 点を抽出し、各ドットにおける x 座標を表したものを図 6 に示す。元のドットパターンは、規則正しく整列しており、ドット間の距離は不変である。それに対してドット間の距離に歪みが発生していることが確認される。

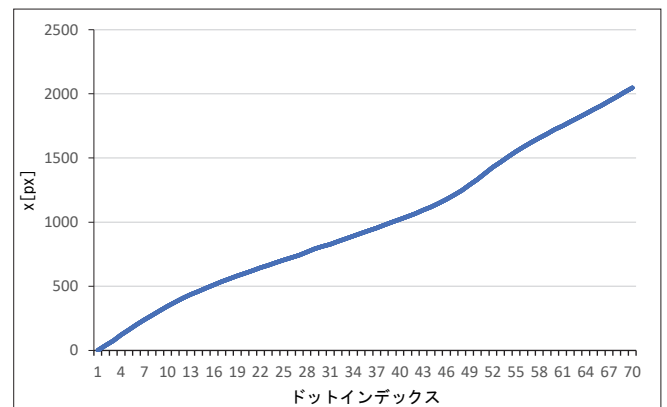


図 6：計測結果

4. 歪み補正

計測実験で確認された光学的な歪みに対し、歪み補正を行う。歪みによって生じたドットパターンの座標値から近似関数を導出する。この近似関数により、各ドットの座標値を更新し、記録する。このテーブルを基に補間を行い、補正を実施する。

プログラムは OpenCV を用いて実装する。

4.1 近似関数

図 6 のドットの座標値について近似関数の導出を行った結果を図 7 に示す。この近似関数から、各ドットの座標

値を更新，記録する。

ここで，近似関数について，元画像のドットが等間隔に並んでいることから，誤差の大きさを考慮し，直線で近似を行う。

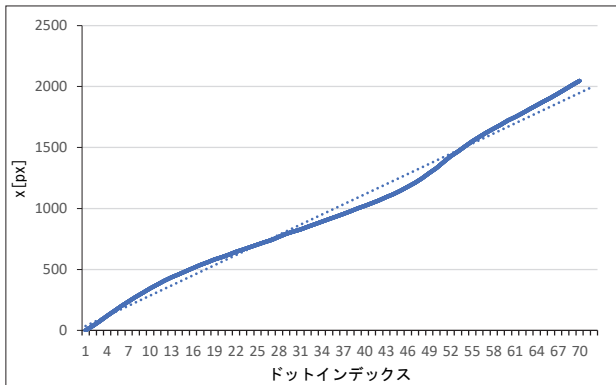


図 7：近似関数

4.2 補正テーブルによる画像補正

前段のテーブルを用いて，図 5 の画像の補正を行う。画像処理プログラムでは，近似関数によって修正されたドットの座標値に線形補間を行い，各ピクセルにオフセットを掛けている。この結果を図 8 に示す。

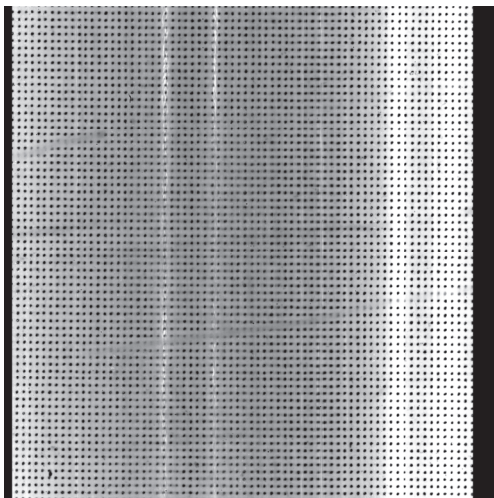


図 8：歪み補正画像

5. まとめ

本稿では，表面構造が複雑な物体で計測を行った場合に光学的な歪みが発生する問題に対し，ドットパターンを用いた歪み補正テーブルによる計測環境の構築を提案した。また，本実験により，本装置が指紋スケール(約 0.3mm)の特徴点に十分に対応できることが示された。

今後は，複数台カメラを用いた，ステレオでの動画像に対して指紋スケールで追跡できる計測環境の構築を行っていく。また，今回用いたアクリル板の凹凸形状はピッチ 10mm と比較的大きい形状で計測を行ったため，以降はより小さいピッチでの凹凸面に対する計測を予定している。

謝辞 本研究は科研費 20H04234, 17H00754 及び栢森研究助成の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] 前野隆司, 山田大介, 佐藤英成 : ヒト指紋形状の力学的意味, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.71, No.701, pp. 245-250, 2005.
- [2] M.Konyo, H.Yamada, S.Okamoto, S.Tadokoro : Alternative Display of Friction Represented by Tactile Stimulation without Tangential Force, EUROHAPTICS 2008, pp.619-629, 2008.
- [3] V.Levesque, V.Hayward : Experimental Evidence of Lateral Skin Strain during Tactile Exploration, EUROHAPTICS 2003, pp.261-275, 2003.
- [4] S.Kaneko, H.Kajimoto : Measurement System for Finger Skin Displacement on a Textured Surface Using Index Matching, No.12: 4184, 2020.