

人の触知覚メカニズムと皮膚振動計測センサ

Haptic Perception Mechanism and Finger-Mounted Skin Vibration Sensor

○田中由浩(名工大) 堀田祥弘(名工大) 佐野明人(名工大)

Yoshihiro TANAKA, Nagoya Institute of Technology
Yoshihiro HORITA, Nagoya Institute of Technology
Akihito SANO, Nagoya Institute of Technology

Abstract: The purpose of this research is development of a tactile sensing system including self-reference and bidirectionally of human haptic perception. We have developed a finger-mounted skin vibration sensor using accelerometers. It does not interfere in contact of object and skin and it measures skin vibration during active touch. In this paper, skin-transmitted vibration characteristics on some points in the hand are measured and skin-transmitted vibration during active touch is discussed.

Key Words: Tactile Sensor, Skin Vibration, Active Touch, Wearable Device

1. はじめに

繊細な動作や様々な質感の受容に、触覚は欠かすことができない。触覚は技や感性と密接に関係しており、医療、福祉、ものづくり産業など、様々な分野において、その技術応用が期待されている。

触知覚では、動作と受容が双方向の関係にある。我々は触動作により触覚を受容するが、触覚受容により触動作も意識的/無意識的に変化させることができる。また、触覚情報は自己言及的である。我々は、対象と皮膚との接触を通じた力学的相互作用による自身の皮膚変形を取得し知覚している。これらに着目することで、人が得ている触覚情報の定量化や、技の解明や触覚の共有が期待できる。

そこで筆者らは、これらの特性を組み込んだ装着型の皮膚振動を計測する触覚センサを開発している⁽¹⁾。指と対象との直接の接触には干渉せず(双方向性)、使用者の指と対象との接触を通じた力学的相互作用による皮膚振動を取得する(自己言及性)。センサは小型で、2つの加速度センサを用いることで、指の動きと皮膚の振動を分離し計測が可能である。自然な触知覚で人が取得している皮膚振動を計測できるため、例えば、リハビリにおける各人の触感覚の計測やその課程における触知覚の変化を評価・検討できる可能性がある。これまでにアクティブタッチにおける適用の可能性や、接触圧や接触面積が、皮膚振動に及ぼす影響について調べてきた。

本稿では、これまでの計測部位である対象に接触している指先の指腹側面部以外の部位についても、皮膚振動を計測し、対象を触った際の皮膚振動の伝搬について考察する。

2. 皮膚振動センサ⁽¹⁾

開発したセンサは、指先の指腹部側面に貼り付けられた加速度センサ(昭和測器, 2302B, 質量 1.3g)、およびリングに取り付けられた同じ型の加速度センサからなる。図1に外観を示す。皮膚には両面テープを使用し加速度センサを貼り付ける。また、リングは指の第1関節付近に取り付けられている。これにより、指の曲げの影響を受けない。リングは、厚さ 2mm のアルミと内側に厚さ 1mm のシリコーンゴムからなる。これは、皮膚の振動をリングの加速度センサに伝搬させないためである。アルミを用いた剛体部分と振動を吸収するシリコーンゴムを用いた弾性部分を適切に構成することで皮膚振動によるリングの振動を抑えることができる。



Fig. 1 Finger-mounted skin vibration sensor

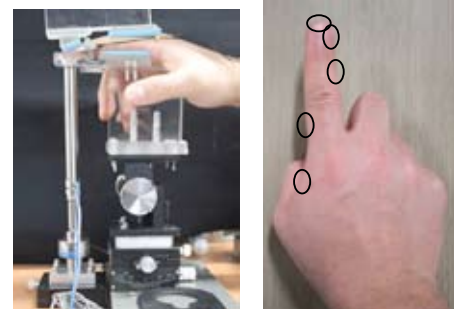


Fig. 2 Experimental setup for measuring frequency characteristic (left) and measurement points on skin (right)

リング部の加速度センサは、指の振動を計測する。皮膚に貼付けられた加速度センサは、皮膚の振動と指の振動を計測する。2つのセンサは、指長手方向の断面に対し左右対称につけられている。2つのセンサから得られた情報を差分することで、皮膚の振動計測が可能となる。

なお、加速度センサの情報は、チャージアンプを通じて、サンプリング 5kHz で PC に取り込まれる。10Hz のカットオフ周波数を持つハイパスフィルタ処理がなされ、2階積分することで変位を得ることができる。

3. 実験装置

皮膚振動特性を計測する実験装置として、図2左に示すような、人差し指先端の指腹部に振動刺激を与える装置を準備した。 piezoelectric actuator (松定プレジジョン, PZA12-1) の先端に、硬い樹脂製の円柱(直径 3mm)が刺激用振動子として取り付けられている。刺激子の下には、押しつけ力を計測するために、力センサが取り付けられている。実験中は、振動子が指腹部に垂直に当たるようにし、

押しつけ力を 0.5N に保持した。また、指が振動することを防ぐために指上部はプレートで固定されている。与えた振動刺激は振幅値 10 μ m の正弦波とした。

図 2 左では、指先（末節）の指腹部側面の場合を示しているが、本稿では、さらに爪上、指の中節および基節の側面、人差し指と親指の根元付近、それぞれについて同様に計測を行った。図 2 右に計測箇所を示す。なお、本実験は、皮膚の振動伝搬の計測を目的としており、これまでの研究で、図 2 左の装置を用いて、指自体の振動はほぼ起こらないことが確認されているため、センサのリングは使用せず、同一の加速度センサのみを皮膚に貼り付けて実験を行った。

4. 実験結果と考察

図 3 に得られた実験結果を示す。50Hz から 500Hz までの周波数の正弦波振動を加え、指腹部に入力した振動の振幅値と加速度センサから計測された振動の振幅値との割合を求め、図示している。なお、被験者 1 名の結果である。

図 3 より、指腹部側面の皮膚では 200Hz 付近に共振点があることがわかる。筆者らのこれまでの実験⁽¹⁾や、Delhaye らの前腕の皮膚振動計測⁽²⁾においても同様の結果が得られている。人は、200-250Hz の振動刺激に最も敏感であり、これを取得する機械受容器（パチニ小体）は皮膚深部の皮下組織にあるが、関連性が推測される。爪上では、周波数が高くなるほど、振動が伝搬しやすいことがわかる。爪は皮膚よりも硬く、共振周波数が高くなると考えられる。

指の中節および基節の側面、人差し指と親指の根元付近については、振動が入力された指先から離れるに従い、振動の伝搬が非常に小さくなっていることがわかる。減衰が起こったためと考えられる。ここで、先に述べた、Delhaye らの前腕の皮膚振動計測の実験でも、指先先端の指腹部に振動を加えている。しかしながら上述したように、本稿での指腹部側面の実験結果と同様に、ある程度の振動の伝搬があり、共振点も明瞭に確認することができる。この実験結果は、本稿での中節および基節の側面、人差し指と親指の根元付近の結果からは矛盾しているように見える。以下、この点について考察する。

Delhaye らの実験では、指上面を固定せず、指先を振動子の上に一定荷重で乗せている。ここで、筆者らの開発したセンサを指先に付け、サンドペーパーをなぞった際の出力波形⁽¹⁾を図 4 に示す。上から、指腹部側面に付けた加速度センサからの生波形、リングに取り付けられた加速度センサからの生波形、両者を差分した生波形となっている。リングには皮膚の振動は伝搬しないため、指全体の振動が計測され、二つの加速度センサの波形を差分した波形が皮膚の振動といえる。本稿で図 4 において注目すべきは、リングの加速度センサからの波形が、皮膚の振動と同程度あるいはそれ以上に大きいことである。これは、指で対象をなぞった際に、皮膚以外に指も振動することを示している。

ここから考えると、Delhaye らの実験では、指上面を固定していないため、指全体が振動し、関節を通じ皮膚の伸縮が起こり、その結果、前腕部分でも皮膚の振動がある程度の大きさで計測されたと考えられる。実際、人が対象を触る際は、本稿の実験のように指は固定されていない。我々の触覚知覚において発生する皮膚の振動について、対象との接触点で起こる振動以外に、指あるいは腕の振動により二次的に皮膚に振動が起こっている可能性があると言える。また、触覚は全身にあり、手や指だけでなく、足やその他の部位の皮膚の振動についても、同様のことが考えられる。

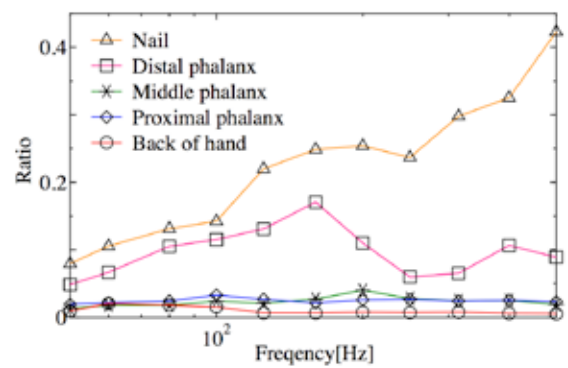


Fig. 3 Frequency characteristic on skin

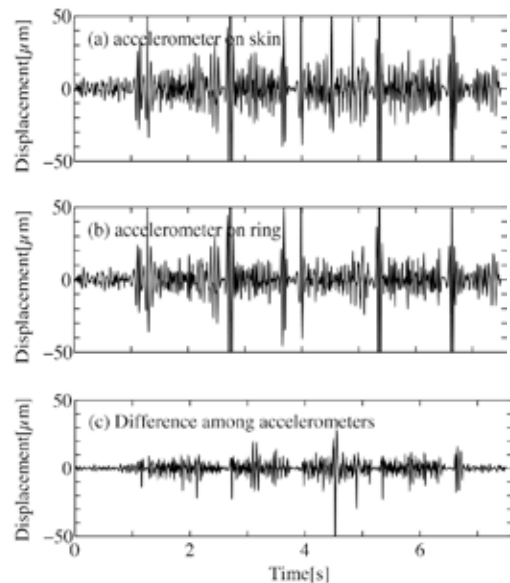


Fig. 4 An example of sensor output for sandpaper

5. まとめ

筆者らは、アクティブタッチで使用可能な皮膚振動計測センサの開発とその応用について研究している。本稿では、先端の指腹部に振動を与えた時に生じる皮膚の振動について、指の複数箇所について計測実験を行った。指を固定すると振動の空間的減衰が顕著に見られるが、先行研究の結果との比較から、指を固定しない場合（通常の触る状態）、指の振動を通じた二次的な皮膚振動の発生の可能性を示唆した。本稿では、被験者、計測箇所等も少ない。今後、指全体の振動との関係も考慮し、詳細に皮膚の振動に関する特性について調べたい。

最後に、本研究は、文部科学省科学研究費補助金若手研究(A)(課題番号:22686026)の補助を受けており、ここに謝意を表す。

参考文献

- (1) Y. Tanaka, Y. Horita, and A. Sano, Finger-mounted skin vibration sensor for active touch, Proceedings of EuroHaptics 2012, Part II. LNCS, 7283, pp. 169–174, Tampere, Finland, Jun. 2012.
- (2) B. Delhaye, V. Hayward, P. Lefevre, J.L. Thonnard, Tex-tural vibrations in the forearm during tactile exploration, In: Annual Meeting of the Society for Neuroscience, Poster 782.11, 2010.