

指の多自由度振動計測による触覚インターフェイス

Tactile Interface using multi DOF vibration on human finger

○ 岩本 貴之 (東大) 正 篠田 裕之 (東大)

Takayuki IWAMOTO, The University of Tokyo, iwa@alab.t.u-tokyo.ac.jp
Hiroyuki SHINODA, The University of Tokyo, shino@alab.t.u-tokyo.ac.jp

We propose a new tactile device which measures multi DOF vibrations exerted on the proximal phalanx. In this paper, as a pilot experiment, we carried out experiments on the identification of contact positions by using 2 DOF vibrations. It was shown that with an accelerometer placed on the backside of the proximal phalanx, taps on distal phalanx and middle phalanx can be discriminated.

Key Words: Vibration measurement, Multi-DOF, Tactile, Interface

1. はじめに

人間が触覚を用いて、対象の機械的性質に関する情報を得る際には、まず触動作を行い、対象との接触により皮膚を変形・振動させ、それをその直下の皮膚内部にある機械受容器により計測している。もし、この変形・振動を、対象との接触状態を妨げることなく測定することが可能であれば、使用者の感覚を阻害することがなく、使用者が得ているのと同程度の触覚情報を得られるセンサデバイスが実現できると考えられる。このようなセンサの先行研究としては、Mascaroら[1][2]による、爪色の変化を利用し指先にかかる力、および指関節角を推定した事例がある。

我々は、触動作に伴い生じる、指の振動、および指全体の移動を取得する、指輪型のデバイスを提案する。このデバイスは、指の根元に装着し、触動作により生じる複数の振動モードを取得する。異なるモードの振動や指の移動情報を利用することにより、接触位置の定位や、対象テクスチャに関する情報などが得られると考えている。

また、このようなデバイスは、触覚情報の取得のみではなく、情報入力インターフェイスとしても用いることが可能である。Fukumotoら[3]はUbiButtonというデバイスを提案している。UbiButtonは手首に取り付けた加速度センサにより指先に加えたタッピングを検知し、タッピングの回数やリズムを入力コマンドして解釈するデバイスである。我々の提案するデバイスは複数の振動モードを利用して接触位置定位を行うことで、指上に仮想のボタン群を配置し、利便性を向上させることが可能であると考えられる。

本稿では、3軸加速度センサを利用した簡便な試作機を用いて、このデバイスの情報入力インターフェイスとしての可能性を示す。指の先端を叩いた場合と中節を叩いた場合との判別を、3軸の出力のうち2軸分の出力を利用して行った。

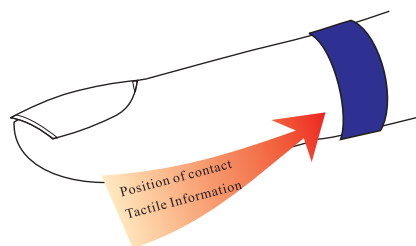


Fig. 1 A concept picture of the finger ring tactile interface. The device measures different modes of vibrations and obtains tactile information.

2. 実験

2.1 デバイス

指の根元での振動測定には、3軸の加速度センサ(FreeScale, MMA7260QT)を用いた。加速度センサの軸の方向は、図2に示すように配置された。なお、y軸は紙面に垂直方向である。用いた加速度センサの帯域は、xy軸が350Hz、z軸が150Hzであった。タッピングにより生じる振動がこの帯域内であることは、予備実験において、本実験で用いたのとは別の、帯域が5kHzで2軸の加速度センサを用いて確認している。

デバイスおよび周辺回路の基板は、金属製の指輪の上部に接着剤により固定された。被験者は、デバイス面が指の基節の甲側に位置するように、指輪を装着した。



Fig. 2 The difference of the two way of tapping. The axis of the accelerometer is also shown. Left: taps on the distal phalanx (DP tap) Right: taps on the middle phalanx (MP tap).

2.2 実験手順

実験の目的は、3軸加速度センサの出力のうち、指に平行な方向と、指の甲側に垂直な方向との2成分を用いて、図2左の動作と図2右の動作とを区別することである。すなわち、示指の末節を親指でタップした場合と示指の中節を親指でタップした場合とを、直交する方向の振動波形から区別することである。以下では、示指の末節をタップした場合をDP tap、中節をタップした場合を、MP tapと呼ぶ。

被験者は、右示指の基節にデバイスを取り付けた。被験者は実験以前にこのデバイスの使用経験はなく、実験の開始時に、タッピングのやり方について簡単な説明を受けた。被験者は、各セッションにおいて、DP tapを10回、およびMP tapを10回ずつ行い、各試行においてデータを取得した。セッションは5回行われ、それぞれ合計50試行分のデータを取得した。

3. 結果

3.1 波形

図3左に、DP tapの際に測定された加速度の代表的な波形を示す。グラフの横軸は時間、縦軸は加速度である。黒線がz軸方向の加速度、灰色線がx軸方向の加速度である。最初の1セッション分の測定結果が重ねて表示してある。図3右に示すのが、同一の被験者に関しての、MP tapの際の加速度波形である。グラフの軸や線種は図3左と同様である。DP tap, MP tapともに、観測された波形は比較的安定していることがわかる。

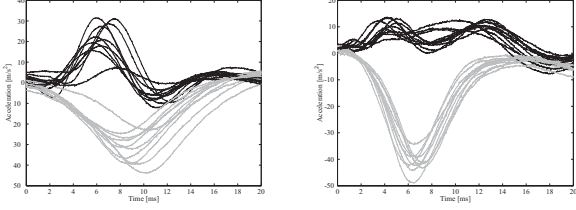


Fig. 3 The observed accelerations induced by DP tap (Left) and MP tap (Right). The black line is the acceleration of z-axis. The gray line is the acceleration of x-axis. Ten results are overlaid.

3.2 解析

取得した加速度波形の違いを利用して、DP tap と MP tap を識別するために、以下の手法を用いた。まず、最も特徴が現れている、タッピングに起因する波形の立ち上がりから1024点(20.48 msに相当)のデータを切り出した。立ち上がりの基準は、x軸方向の加速度データにデジタルローパスフィルタをかけた後、隣接点の差分を計算し、その値が-0.05を初めて下回った点から50点前の点とした。切り出した後のデータのx軸加速度を $x(t)$ 、z軸加速度を $z(t)$ と表す。DP tap と MP tap それぞれのある1回の試行に関して、 $x(t)$ を横軸に、 $z(t)$ を縦軸にプロットしたものが、図4である。図4において、黒色の点がDP tapのデータ、灰色の点がMP tapのデータに対応する。

図4に見られる2つの異なる軌跡を区別するため、以下の方法を用いた。まず、各試行におけるデータについて、以下の式(1)および式(2)により、分散共分散行列を求めた。

$$R(x(t), z(t)) = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{N} X^T X, \quad (1)$$

$$X = \begin{bmatrix} x(t_0) - \mu_x & z(t_0) - \mu_z \\ x(t_1) - \mu_x & z(t_1) - \mu_z \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ x(t_{N-1}) - \mu_x & z(t_{N-1}) - \mu_z \end{bmatrix}, \quad (2)$$

ここで、 $x(t_i)$ および $z(t_i)$ は、それぞれ*i*番目のx軸加速度、z軸加速度の値、 μ_x 、および μ_z は、それぞれ、x軸加速度、z軸加速度の平均値、*N*はデータ点数であり、この実験においては1024点である。

以上により求めた分散共分散行列の固有値、 λ_1 、 λ_2 の比 ε を度数分布で表したのが図5である。丸印はDP tapのデータ、バツ印がMP tapのデータを表す。各階級の幅は0.5である。図5より、DP tapの場合は、分散が小さく、安定していることがわかる。DP tapとMP tapとでは ε の平均値に差があり、分布の重なりもほとんど見られない。仮に閾値をMP tapのデ

ータより得られた ε の最小値とすると、DP tapに関しての50試行中、3試行のみがMP tapに分類されることになる。ある程度の訓練を行いMP tapのデータの分散を小さくすることで、より高い精度での判別が可能になると考えられる。

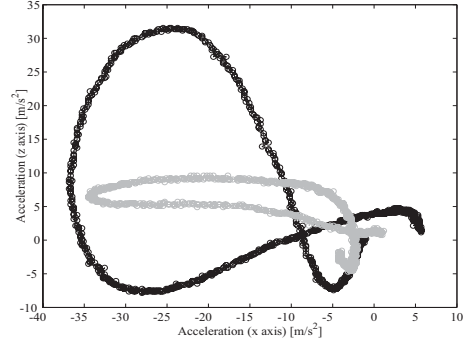


Fig. 4 A 2-D plot of the cut data. The black markers and gray markers correspond to the data in Fig. 10 Left and Right, respectively.

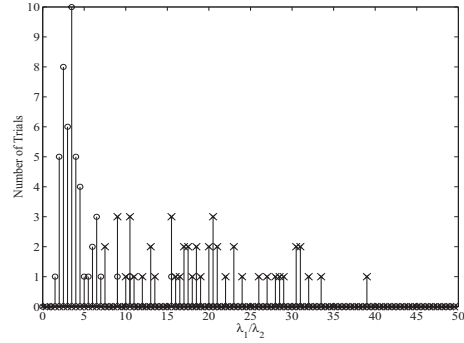


Fig. 5 The histogram of the value ε . The circle and cross markers are the results for DP and MP tap, respectively.

4. まとめ

本稿では、指輪型の触覚インターフェイスを提案し、2軸の加速度を利用して、仮想のボタン群を指上に配置可能であることを示した。今後は、骨伝導音など、他の振動モードの計測とその利用も追加し、インターフェイスとしての精度を上げるとともに、触覚に関連する情報の取得も目指す。

文献

- [1] S. Mascaro, and H. Asada, "Measurement of Finger Posture and Three-Axis Fingertip Touch Force Using Fingernail Sensors," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 20, no. 1, pp. 26-35.
- [2] Y. Sun, J.M. Hollerbach, and S.A. Mascaro, "Measuring fingertip forces by imaging the fingernail," in *Proc. 14th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, 125-131, 2006
- [3] M. Fukumoto, and Y. Tonomura, "Whisper: A Wristwatch Style Wearable Handset," in *Proc. CHI'99*, pp.112-119, 1999.