

振動モータアレイを用いた触覚グローブによる 多様な幾何形状の提示

五十嵐 治雄[†]早稲田大学大学院先進理工学研究科[†]澤田 秀之[‡]早稲田大学理工学術院[‡]

1 はじめに

我々は、4次元空間の情報を視覚と触覚の双方で提示し、ユーザに知覚させるシステムを構築している [1][2]. 4次元空間の多様な情報を触覚刺激として表現するには、手表面のあらゆる位置に同時に刺激を提示する必要がある。ところが、従来の触覚提示デバイスの多くは手の平など限られた箇所のみで提示するものであり、より多くの範囲に提示する試みは限られている [3]. そのため、新たに手の甲、指なども含めた30か所に小型振動モータを搭載した触覚グローブを開発した。

本デバイスは、複数のモータを独立に制御することで多様な空間情報を提示する。デバイスを装着した手でモーションコントローラを握ることで手の姿勢を認識し、提示情報の計算を行う。本デバイスを用いることで、4次元空間の情報を3次元空間に投影して現れる点、直線、面などの多様な幾何形状を振動パターンによって提示することができる。

本稿では、4次元触覚提示システムの仕様と幾何形状の提示について報告する。

2 システム構成

本システムの構成を図1に示す。ユーザはヘッドマウントディスプレイを被り、右手に触覚グローブを装着してモーションコントローラを持つ。システムはモーションコントローラの位置をもとに触覚刺激の強度を計算し、マイクロコンピュータに送信する。マイクロコンピュータは受信した情報に従い、触覚グローブに搭載された30個の振動ディスクモータを独立に制御する。モータに加える電圧は、PWM制御とトランジスタによる増幅を組み合わせて制御する。

3 触覚グローブ

触覚グローブは、ビニール手袋と30個の振動モータからなる。モータの配置は、モータ同士が近すぎると判別が困難になることも考慮し、図2の通りとした。開発段階でのモータ位置の微調整や使用者の手の大きさに合わせた調整を容易にするため、各モータは貼り付ける位置を簡単に変えられるようにしている。加えて、モータの振動を手伝えるには各モータが手に密着している必要があるため、モータが離れやすい箇所は、図3のようにバンドで固定している。

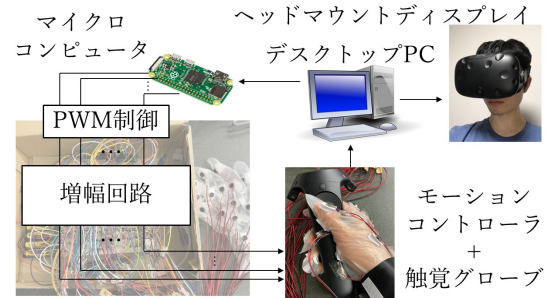


図1 システム構成.

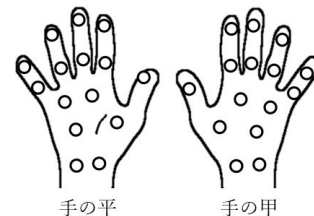


図2 触覚グローブのモータ配置.

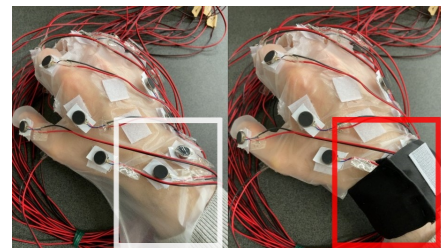


図3 モータの固定.

4 振動強度の計算

本システムで扱うデータは、3次元空間上に配置された3変数関数のスカラー量であり、モーションコントローラの位置から計算した各モータの位置に対応する値を振動強度に変換して出力する。ただし、振動強度によって表現できる値の幅は限られる。そこで、測定位置近傍の形状に着目し、以下のように最大値が1、最小値が0となるよう、各測定値 l_i を s_i に正規化する。

$$s_i = \max\{\alpha(l_i - l_{max}) + 1, 0\}. \quad (1)$$

ただし、 $l_{max} = \max_{k \in L} l_k$ (L はモータの集合) であり、 α は定数である。

また、形状の違いをより認識しやすくするため、以下のように正規化測定値 s_i を h_i に補正する。

$$h_i = \left(1 - \beta \frac{\sum_{k \in L} s_k}{N}\right) s_i. \quad (2)$$

Presentation of Various Geometries with a Tactile Glove Using a Vibration Motor Array

[†] Haruo Igarashi, Major in Pure and Applied Physics, Graduate School of Science and Engineering, Waseda University

[‡] Yukihito Sawada, Faculty of Science and Engineering, Waseda University

ただし、 β は定数 ($0 \leq \beta \leq 1$)、 $N = \#\{i \in L \mid s_i > 0\}$ は振動しているモータの個数である。この計算を可視化したものを図4に示す。この計算により、平坦なパターンに対し面、直線、点状のパターンに対して、振動強度が順に強くなる。

この h_i をモータ位置ごとの感度等に基づき修正した値を、モータ制御信号として出力する。

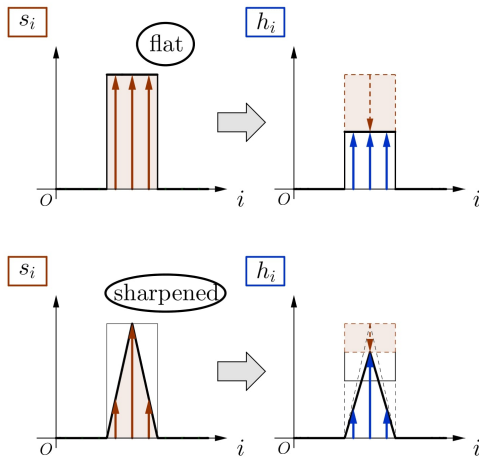


図4 式(2)の可視化。 ($\beta = 0.5$)

5 触覚提示の結果

本システムは4次元空間に定義される図形を3次元VR空間に投影して表示するが、本稿では触覚提示の性能を検証するため、図5に示すように各モータの振動データを可視化して表示する。

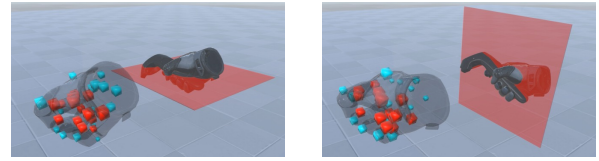
各モータの振動強度は、モータの位置に対応した立方体の大きさで表示される。立方体の色は、水色が手の甲側(握った際の外側)、赤色が手の平側(握った際の内側)のモータであることを表している。

図5の右側が触覚提示領域、左側がモータ振動強度表示である。図(a), (b), (c)にそれぞれ面、直線、点の形状に極大点が分布している場合(山型パターン)を示す。なお、値はピークからの距離に比例して減少する。手がピークに交わっている際はその部分のモータが最も強く振動し、ピークから離れている際はピークに近いモータが最も強く振動する。これにより、振動パターンからピークの位置とその形状を把握することが可能となっている。

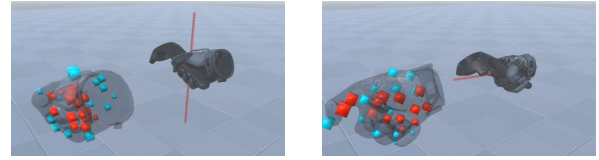
また、図(d), (e), (f)には逆に面、直線、点の形状に極小点が分布している場合(谷型パターン)を示している。このような極小部分に手を重ねた場合、重なった部分のみ振動が小さくなる。

6 まとめ

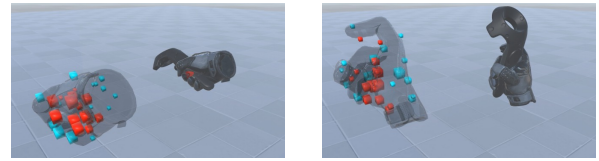
30個の小型振動モータを配置した触覚グローブの開発と、これを用いて4次元空間の幾何形状を触覚提示するシステムについて述べた。手の全体に同時に振動パターンを提示することで、ユーザは多様な4次元幾何情報を触覚を通して素早く認識できることを示した。今後は、ハンドトラッキング技術と組み合わせて自由な姿勢をとれるようにすることで、さらに情報提示性能を向上させていく。



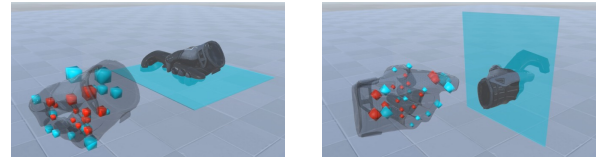
(a) 面状山型パターン。



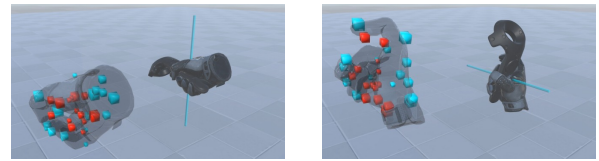
(b) 直線状山型パターン。



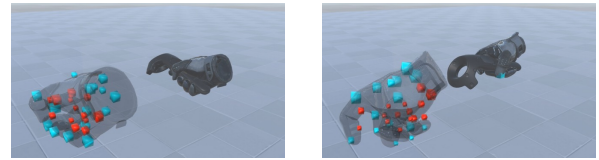
(c) 点状山型パターン。



(d) 面状谷型パターン。



(e) 直線状谷型パターン。



(f) 点状谷型パターン。

図5 触覚提示の様子。

参考文献

- [1] 五十嵐治雄, 澤田秀之. 触覚フィードバックを伴う4次元空間可視化システム. 第83回全国大会講演論文集, 第4巻, pp. 275-276, Feb. 2021.
- [2] Haruo Igarashi and Hideyuki Sawada. Touching 4d objects with 3d tactile feedback. In *2021 14th International Conference on Human System Interaction (HSI)*, pp. 1-7, 2021.
- [3] 矢野博明, 廣瀬通孝, 小木哲朗, 田村善昭. 振動触覚グローブを用いた流れ場表現. 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 2, pp. 414-421, Feb. 1999.