



振動分布を再現する腕輪型触覚デバイスによる動作体感の伝達

一第 3 報：振動分布の再現が接触力の弁別に及ぼす影響

Transmission of Haptic Experience by a Bracelet-type Tactile Device to
Reproduce Vibration Distribution

-3rd Report: Effect of Reproduce Vibration Distribution on Discrimination of Contact Forces

松原亨¹⁾, 和賀正宗¹⁾, 昆陽雅司¹⁾, 田所諭¹⁾

Toru Matsubara, Masamune Waga, Masashi Konyo, and Satoshi Tadokoro

1) 東北大学 情報科学研究科 (〒 980-8579 宮城県仙台市青葉区 荒巻字青葉 6-6-01)

概要: 本研究では、技能などの動作体感を伝える方法として、手先から手首に伝播する空間的な振動分布を取得し、再現として複数点刺激を用いるで、その効果を示してきた。前報では数種類の異なる接触動作において発生する振動の空間分布を利用することで、動作の弁別が向上することを確認した。本稿では接触の強度を識別する際に、空間分布の再現が弁別能力にどう影響するのかを調査した。

キーワード: Haptics, Vibration, Wearable device

1. 緒言

COVID-19 の感染拡大をきっかけにリモートワークや会議のオンライン化が進んでいる。それに伴い、技能教育に必要な体感など、映像や音声だけでは伝えることのできない触覚情報のリモート伝達技術の必要性が注目されている。

本研究では、体感伝達技術として身体に伝播する振動情報の利用に着目している。特に、接触時に発生する高周波の振動成分の再現に着目し、これまでに筆者らが提案する人の知覚特性に基づく高周波振動変換手法 Intensity Segment Modulation (ISM) の効果を確認した [1]。さらに、手先から手首位置に伝播する振動の空間分布の再現に着目し、手首を複数点で刺激する腕輪型触覚デバイスを提案した。これにより、単一の振動子だけでは再現できない接触部位や方位感の違いが提示できると期待される。前報では、把持したツールを複数の異なる動作で計測し、手首位置 4 点の振動を再現することにより、手先に 1 点だけ提示した場合に比べて、動作種類の弁別を向上できること報告した [2]。なお、このような手首位置での振動分布については計測手段として、障がい者が利用する指文字の識別について研究された例がある [3]。

一方、接触の強弱を区別する際に、振動の空間分布再現が有効かは議論の余地がある。対象物に強く接触すると大きな振動が発生するが、一般に、そのような振動に対しては単一の振動子を用いるだけで強弱は十分表現できると考えられる。例えば、筆者らは、建設ロボットの遠隔操縦の支援のために、単一の振動子を用いた腕輪型デバイスにより、ロボットアームの衝突の強さを提示することに成功している [4]。

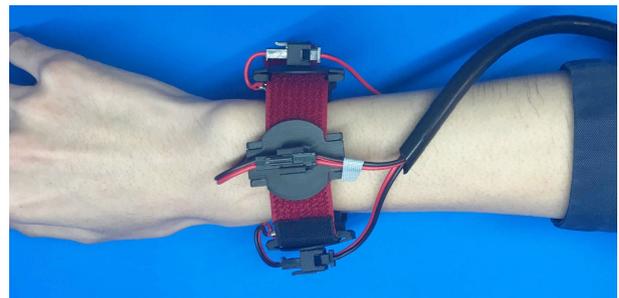


図 1: 腕輪型触覚デバイス

本稿では、接触の強度を識別する際に、空間分布の再現が弁別能力にどう影響するのかを調査を行う。具体的には把持した金属棒を壁に衝突させ、接触力を変化させた際の、棒上と手首位置 4 か所の振動を計測する。これらの計測振動を元に、手首位置の振動分布の再現の有無が振動強度の弁別に及ぼす影響を評価する。

2. 手法

2.1 腕輪型触覚デバイス

振動提示デバイスを図 1 に示す。パイブレータにはオーディオエキサイタ (Tectonic Elements, TEAX13C02-8) を用いる。3D プリンタで造形したケースにパイブレータを取り付け、ベルトを通して固定する。パイブレータは 4 つで、振動の計測位置に合わせて配置する。振動刺激は USB オーディオインタフェース、オーディオアンプを介して出力する。

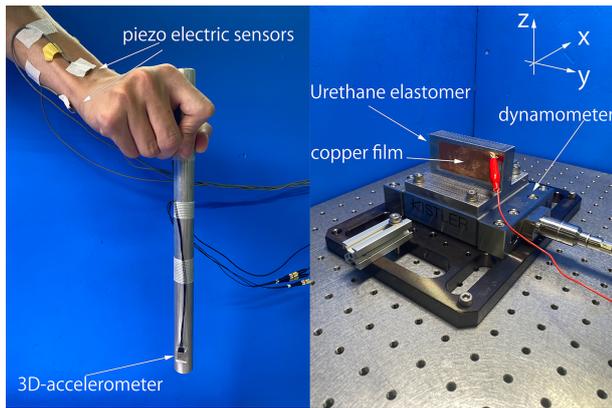


図 2: 実験装置

2.2 Intensity Segment Modulation (ISM)

筆者らは振動の触感を維持したまま任意のキャリア周波数の振幅変調波に変換する技術として ISM を提案している [1]. ISM はヒトの高周波振動の強度知覚と包絡線情報の知覚の 2 つの知覚特性に着目した変換手法である. 高周波振動を 5 ms のセグメントに分割し, セグメント毎に知覚インテンシティを維持して任意のキャリア周波数の振動に変換する. 従来の振動提示の課題として, 高周波振動を提示すると, 可聴域のノイズが発生することや, パイプレータの応答限界により十分な刺激が与えられない, といった問題があった. ISM では振動を任意のキャリア周波数に変換できるため, これらの問題を解決できる. 本実験においても, 高周波振動が金属棒で発生するため, この変換を用いた.

3. 計測

振動の測定の概要を図 2 に示す. 動力計の上に T 字のブロックが取り付けられており, その側面を金属棒の先端を衝突させる. そのときに発生する側面の接触力, 接触時間, ツールと手首 4 か所の振動を計測する. 接触力の測定には多成分動力計 (キスラー, 9129AA) を用いており共振成分を除去するために 500 Hz の LPF をかけた. また接触時間の測定のために壁の側面に銅のフィルムが貼り付けられており, 金属棒と接触したときに通電するように乾電池 (1.5 V) を用いてスイッチ回路を作成した. 0.3 V を閾値とし, 超えたときを接触とみなし接触時間を推定した. 接触時の通電により動力計の測定への影響を考慮し, 念のために壁の側面と銅の間にウレタンエラストマーを挿入し絶縁状態にした. 手首の振動計測には圧電式振動センサ (トーキン, VS-BV203) を 4 つ両面テープとサージカルテープを用いて取り付けられており, 実験中常に皮膚とセンサが絶縁され, 衝突時の振動により外れないように注意した. 電圧が正の値のときは皮膚を押し込む方向にセンサが動いた時である. 次に金属棒の先端には 3 軸の圧電型加速度検出器 (昭和測器, MODEL-2366) を 3D プリンターで造形した治具を用いて固定している. 最後にすべてのセンサはデータロガー (キーエンス, NR-600) を用いてサンプリングレート 50 kHz で計測した.

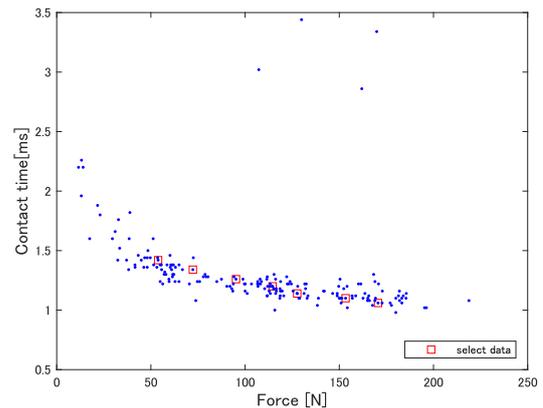


図 3: 接触力と接触時間の関係

腕の動作の違いによる振動への影響が起らないように, 持ち方および壁への当て方が均一となるように, ツールの先端を壁に注意しランダムな強さで当てた. このときツールの長手方向を机に対して垂直にし, 水平な移動をするように注意し測定を行った.

次節の評価実験に用いる振動として, 接触力の異なる 7 種類の振動 (53.83, 72.28, 95.17, 114.58, 127.67, 153.35, 170.35 [N]) を選定した. これらの振動の選び方に関して, 接触時間が明らかに長いものは 2 度打ちをしていたため除去して選定した. 具体的には接触力と接触時間の測定結果が図 3 であり, グラフ中央やや上の 2 ms 辺りの 4 点を除去して, 間隔が約 20 N となるように図中の赤で示した計 7 点を選定した.

4. 強度の評価実験

本稿では, 金属棒を手で把持した状態で, 棒先端を様々な強度で衝突させた際の, 手首位置の振動の空間分布再現により, 振動強度が弁別しやすくなるかを検証する.

弁別タスクは, 前節で選定した 7 種類の振動を用い, 中央の 114.58 N のときの振動を参照刺激とした. まず, 被験者に参照刺激を提示し, 次に 7 種類の振動からランダムで提示した. その際に被験者には参照刺激と比較して 2 回目の刺激の強弱について回答させた. 提示回数は, 各刺激毎に 5 回, 計 35 回行った.

4.1 実験手順

提示にあたって 3 つの方法とその順番を記述する.

- 手の甲での振動を手の甲のみに提示
 - 手の甲での振動を 4 つすべてに提示
 - それぞれの部位での振動を 4 つそれぞれに提示
- b) は単純にパイプレータの強度を上げた際の比較のために行っており, 空間分布を再現したものは c) のみである. a) → b) → c), c) → b) → a) の順で 2 回実験を行った. 提示実験において聴覚は遮断しており, 1 回目と 2 回目の実験の間には十分時間を置いた.

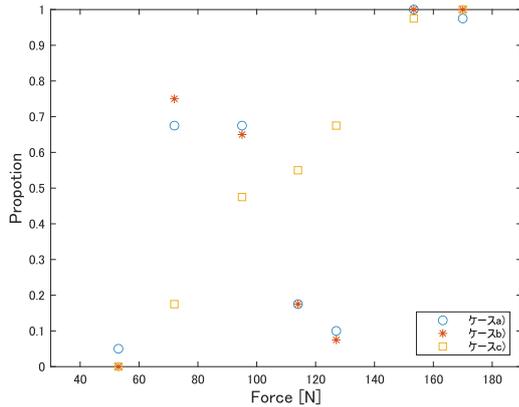


図 4: 提示実験結果 (被験者 5 人)

4.2 実験結果

提示実験の結果を図 4 に示す。縦軸の Proportion とは参照刺激に対して 2 回目の刺激が強いと答えた割合である。接触力が 53.83, 153.35, 170.35 [N] であるときの振動刺激がいずれの提示方法においても高い確率で弁別できている。しかし、他 4 点に関して接触力が大きい所ではチャンスレベルを超え、小さいところで下回ったのは c) のみであり、a) と b) は逆転する結果となった。

また、a) と b) の結果に差異がなく、本実験で用いたバイブレーターでは刺激強度による違いは見られなかった。

4.3 考察

図 4 において、a) と b) において接触力に比例しない回答がみられた。図 5 は本実験で用いた接触力と振動の振幅の最大値の関係のグラフである。手の甲側のデータをみると、参照点より接触力が大きくなる方向に振動が小さくなっている点があり、左から 2 点目と 5 点目の間で逆転の現象が起こっている。これにより提示実験においても同様の傾向がみられたと考えられる。

逆に c) においてそれが起こらなかった理由として、4 点の刺激を総合的に判断された可能性があり図 5 において 4 つの振幅の最大を平均した点を見ると先ほどの逆転現象が起こっていないため、比較的に弁別の結果が高かったと考えられる。

このような接触力に比例しない振動となった理由として、打撃の試行ごとの振動のばらつきが大きく、選定した波形が外れ値になってしまっていた可能性がある。今後、振動の接触力と手首の振動分布の関係を再確認し、空間分布再現の効果について再実験する予定である。

5. 結言

接触の強度を識別する際に空間分布の再現が弁別能力にどう影響するのかを調査のために提示実験を行った。本実験では分布を再現した場合の弁別結果が最も高く、空間分布再現が打撃強度の弁別性能向上にも有効である可能性を示した。ただし、比較対象とした単振動の条件が、不利になっていた可能性もあり、今後、波形の選定を見直して再実

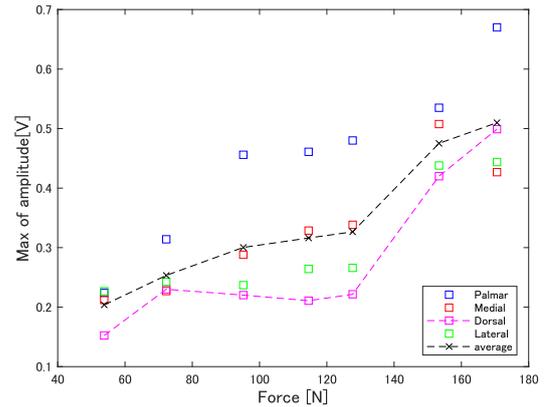


図 5: 接触力と最大振幅の関係

験する予定である。

謝辞この成果は、JSPS 科研費 JP18H01401 および国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP21004) の結果得られたものである。

参考文献

- [1] 山口 公輔, 昆陽 雅司, 田所 諭, “振動分布を再現する腕輪型触覚デバイスによる動作体感の伝達-第 1 報: 知覚インテンシティ再現に基づく伝達の効果-”, 第 22 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2021
- [2] 山口 公輔, 昆陽 雅司, 田所 諭, “振動分布を再現する腕輪型触覚デバイスによる動作体感の伝達-第 2 報: ツール取り付け型デバイスとの比較-”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2022
- [3] S. Dinulescu et al., ”A Smart Bracelet Supporting Tactile Communication and Interaction,” 2022 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS), 2022, pp. 1-7,
- [4] Hikaru Nagano, Hideto Takenouchi, Nan Cao, Masashi Konyo and Satoshi Tadokoro, “Tactile feedback system of high-frequency vibration signals for supporting delicate teleoperation of construction robots,” Advanced Robotics, vol. 34, no. 11, pp. 730-743, 2020.
- [5] K. Yamaguchi, M. Konyo, and S. Tadokoro, “Sensory Equivalence Conversion of High-Frequency Vibrotactile Signals using Intensity Segment Modulation Method for Enhancing Audiovisual Experience,” 2021 IEEE World Haptics Conference (WHC), pp. 674-679, 2021