

道具を介した触感共有に関する基礎検討

A Basic Study on Sharing Tool-Mediated Tactile Sensations

北道広大¹⁾, 湯川光¹⁾, 田中由浩¹⁾

Kota KITAMICHI, Hikari YUKAWA, and Yoshihiro TANAKA

1) 名古屋工業大学大学院 工学研究科 (〒 466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町
k.kitamichi.854@stn.nitech.ac.jp, yukawa.hikari, tanaka.yoshihiro@nitech.ac.jp)

概要: 触覚は身体技能と関連が強く、触覚が他者と共有できれば技能伝承に有効である。一方、触覚は身体と環境との力学的相互作用の結果であり、個人の身体に依存する。個人差が含まれた情報の伝達では、熟練者と学習者の間で相手の感覚に対する理解の齟齬が生じる。本研究では、道具を介して指先に伝達される触覚振動を異なる人物で取得し、2 種類の 방법으로調整した。振動の強度と周波数変調を加えた場合で、個人差軽減への有効性を認知的に評価する。

キーワード: 触覚共有, 信号処理, 個人差

1. 緒言

人は身体と環境の力学的相互作用によって引き起こされる現象を知覚し、対象の識別や技能に役立てている。近年では触覚インターフェースにより、皮膚上で生じる力学現象が検出され、個人間で伝送もでき [1]、ロボットや医療・福祉、教育へ活用が期待されている。教育分野では技能伝承が挙げられ、本研究では触覚共有による技能伝承を目的とする。特に技能では道具を用いる場面が多く、道具越しの触感に着目する。道具を使用する際に指と対象との間に相対運動がないため、触感としては皮膚上の振動が重要となる。この皮膚振動を人-人間で共有することで、言葉や音、目視だけでは伝達が難しい触感を熟練者から学習者へ感覚的に伝え、人の技能学習をより容易にできる可能性がある。また、人が技能を他者から学習する過程では、他者と自分の差分を触感の違いで感じ取り、試行錯誤することが重要であると考えられる。しかし、人-人間で共有される皮膚振動は指の粘弾性の影響を受け、指の粘弾性差が技能者と学習者の技能差を感じ取ることへの妨げになる。そこで、皮膚振動に含まれる個人差を除去することで、人-人間で共有される触覚に共通認識を持つことを可能にする無人称化 [2] に注目した。一方、簡易な触覚の個人差除去では振動強度の調整がある。本稿は、無人称化で提案されている振動の周波数変調を適用する手法とより簡易な振動強度を揃える手法について、道具越しの触感として筆記振動を対象にして評価を行った。

2. 実験方法

2.1 実験装置

本システムは、右手の人差し指の中腹背側に装着されたウェアラブル加速度センサ (2302B, 昭和測器株式会社) 及

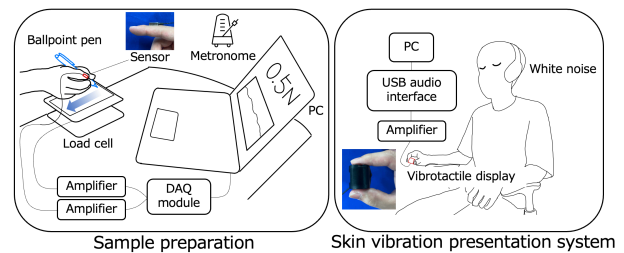


図 1: 実験システム概略図

びチャージアンプ (1607A, 昭和測器株式会社) を用いて皮膚振動を測定した。押し付け力は、ロードセル (LUR-A-50NSA1, 共和電業株式会社) と動ひずみ測定器 (DMP-752A, 共和電業株式会社) を使用して測定した。センサ信号は、25 kHz のサンプリング周波数で DAQ モジュール (National Instruments, NI USB-6216) を使用してラップトップ PC に記録した (図 1 (左))。調整された対象刺激は、オーディオインターフェイス (Sound Blaster Play! 3, Creative) とアンプ (AP05, Fostex) を介して振動子 (639897, Foster Electric Company) を使用して提示した (図 1 (右))。

2.2 2つの調整法

振動強度に基づく調整法では、個人差を調整する 2 人ペアを選定し、参照刺激に対する RMS を求め、2 人の平均値と各々の平均値に対する倍率分、対象刺激の強度を調整した。

振動の周波数変調では無人称化技術を用いた [2]。参照刺激に対する皮膚振動を複数回測定し、フーリエ変換を使用して振動の振幅平均を算出する。対象刺激に対しても、フーリエ変換を使用して時間領域から周波数領域に変換し、対象刺激の振幅成分を参照刺激の平均振幅で除する。最後に、対象刺激の元の位相情報と調整した振幅情報を統合して逆フーリエ変換を行うことで振動を生成する。

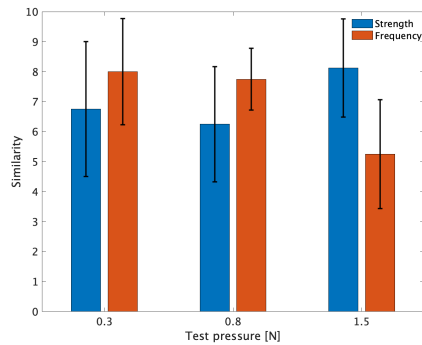


図 2: 各調整方法における主観的類似度の平均値と標準偏差

2.3 実験手順

2.3.1 提示刺激準備

実験には健康な男性 3 名、女性 1 名 (21-25 歳) が参加し、2 人 1 組のペアを無作為に設定した。本実験では、道具を介した皮膚振動を取得するためボールペン (SARASA, ゼブラ株式会社) を用いた筆記を対象にした。筆圧を維持しながら右方向へ直線を書くタスクを設定し、参照する筆圧 (0.5N) と 3 つの異なる筆圧 (0.3N, 0.8N, 1.5N) を対象刺激として準備した。被験者らは、椅子に着席してウェアラブル加速度センサを装着し右手でボールペンを持ち、メトロノームを聞きながら筆記速度が 150mm/s より遅くなるように、また筆圧をモニターで確認しながらタスクを行った。各被験者から初めに参照刺激を 5 回、次に対象刺激を無作為な順番で取得した。ペアとして設定された被験者らごとに上記の強度と周波数に基づく調整法で刺激を作成した。なお筆圧と調整法に依らず、全ての皮膚振動から 0.8 秒間のデータを抽出した。また、強度調整によって生成された振動の強度の平均値を求め、周波数変調によって生成された振動の強度の平均値が等しくなるように調整した。

2.3.2 類似度評価

類似度評価では、皮膚振動を取得した被験者ペアと同一の被験者ペアに対して行った。被験者らは視覚と聴覚を遮断した状態で椅子に座り、人差し指と親指で振動子をつかみ、接触力を維持するよう努めた。2 つの調整方法 (強度と周波数調整) が適用された対象刺激の認知的な類似度を評価した。合計 12 組の刺激ペア (筆圧 3 通り × 調整法 2 通り × 順序 2 通り) を無作為に並び替えた。刺激ペアは 2 人の被験者から取得された同一の筆圧、調整法に基づく振動が交互に 3 回提示される。刺激ペアの 2 つの対象刺激を比較し、類似度を 1 から 10 のリッカート尺度で評価した。類似度評価は 2 セット行い、1 セット目は訓練として結果を使用しない。全試行の後、被験者らは筆記で感じる振動と振動子によって提示される振動とを比較し、似ている調整法を 2 択で答えた。

3. 実験結果

各筆圧と調整方法ごとの主観的な類似度の結果を図 2 に示す。実験後の感想では 3 名の被験者が周波数変調による手

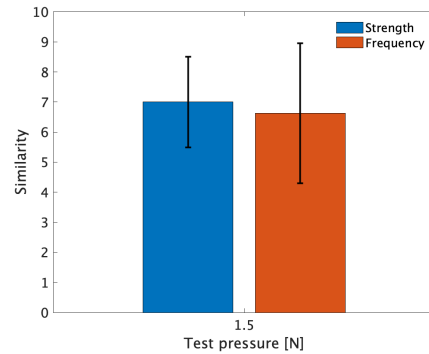


図 3: 認知的に強度調整した主観的類似度の平均値と標準偏差

法で、残り 1 名が強度の調整法で調整された振動の方が元の筆記振動に近いと答えた。筆圧が 0.8N までは認知的な類似度が強度調整よりも周波数調整の方が高く、1.5N では逆転した。使用した振動子が 75Hz 付近に共振することから、強度調整された 1.5N の筆記振動が人の感覚知覚に対して飽和した振動強度であった可能性がある。そこで、1.5N の筆記振動に対して強度調整、周波数変調した振動の強度を認知的に揃えてから 1.5N の振動に対してのみ同様の類似度評価を健康な男性 3 名、女性 1 名 (21-25 歳) に追加実験を行った。被験者らの平均類似度とその標準偏差を図 3 に示す。1.5N の筆記振動を強度調整、周波数変調した場合を比較すると、同程度の結果となった。

4. 考察

図 2 において、力が 0.3N と 0.8N では道具越しの触感にも各被験者の皮膚特性を受けるため、周波数変調した調整の方が類似度評価が高くなった。一方、力が 1.5N の時では参照刺激 (0.5N) より力を入れてボールペンを握る必要があり、指先の粘弾性の変化が大きくなり、類似度の低下が見られたと考えられる。ただし、ボールペンを親指や中指で持つ人もいるため、ウェアラブル加速度センサを装着した人差し指への加わり方は人によって異なる。周波数変調による個人差の調整では、対象刺激の周波数ごとの振幅成分を参照刺激で除するため、筆圧による指の粘弾性変化には対応できない。したがって、参照刺激を複数の筆圧で設けるか、把持力が個人間で差が少ない親指等に装着することで粘弾性変化にも対応する必要がある。

5. 結言

強度に基づく調整では、簡単な計算である一方で、任意の相手の参照刺激から算出される RMS によって、調整倍率が変化し、振幅の大きさが一意に決定されない。周波数調整では参照刺激と対象刺激の間で計算が完結するため、振幅の大きさが一意に決定する。一方で、筆圧によって指の粘弾性の個人差を縮められないことや計算コストが強度調整より複雑である。今後は、リアルタイムに強度並びに周波数に基づく調整がなされる手法を検討したい。

謝辞 本研究は、JST ムーンショット型研究開発事業 Cybernetic being プロジェクト (JPMJMS2013) の支援を受けて行われた。

参考文献

- [1] T. Katagiri, Y. Tanaka, S. Sugiura, K. Minamizawa, J. Watanabe, and D. Prattichizzo, “Operation identification by shared tactile perception based on skin vibration,” 2020 29th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), pp. 885–890, 2020.
- [2] K. Kitamichi, H. Yukawa, K. Minamizawa, and Y. Tanaka, “Intersubjective Tactile Sharing Method Based on Human Skin Vibration Characteristics,” SMC, in press, 2022.
- [3] Y. Takekawa, T. Hasegawa, Y. Tanaka, K. Minamizawa, and A. Sano, “Tactile display based on skin-propagated vibration,” Proceedings of AsiaHaptics, pp. 121–123, 2016.