

空中フリック入力における非接触触覚フィードバック提示 Non-contact Haptic Feedback Presentation for Mid-air Flick Input

有賀 光希[†] 渡邊 俊哉[†]
Koki Aruga Toshiya Watanabe

1. はじめに

2007 年, 岩本らは超音波の音響放射圧を利用して空中に触覚刺激を提示する手法を実証した[1]. 以降, 超音波による空中触覚提示技術は, インタクションへの応用を目的とした複数のシステムに展開されている. たとえば, 星[2]は超音波を利用した触覚ディスプレイと 3 次元トラッキングを組み合わせた触覚フィードバックのある空中入力システムを提案した. また, Carter ら[3]は超音波を用いて空中の複数点に触覚フィードバックを提示することができるシステム「UltraHaptics」を提案し, ユーザインターフェースにおける空中触覚提示技術の新たな可能性を示した. しかし, 空中触覚を文字入力システムへ応用した際の効果について言及した研究はほとんどない.

そこで本研究では, 空中仮想キーボードの操作に, 超音波による空中触覚刺激を用いたフィードバック (以降, 空中触覚フィードバック) を付加するシステムを実装し, 非接触型の文字入力システムに対する空中触覚フィードバックの効果を検証する.

2. 提案手法

提案するシステムの概要を図 1 に示す.

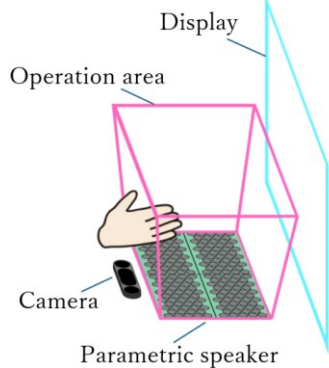


図 1 システム概要図

本システムは, ハンドトラッキングを行うカメラとユーザに超音波による触覚刺激を提示するパラメトリックスピーカーを組み合わせた入力装置, およびフリック入力式の仮想キーボードと認識した手の表示を行うディスプレイで構成される. 入力装置上部を操作領域とし, 操作に対応した超音波を出力して空中触覚フィードバックを提示する.

3. 実装

実験に使用した入力装置を図 2(a)に示す. 本装置は, ユーザの手指の動きを認識するカメラ (Leap Motion Controller 2) と, 手に空中触覚フィードバックを提示するパラメトリックスピーカーで構成されている. パラメトリ

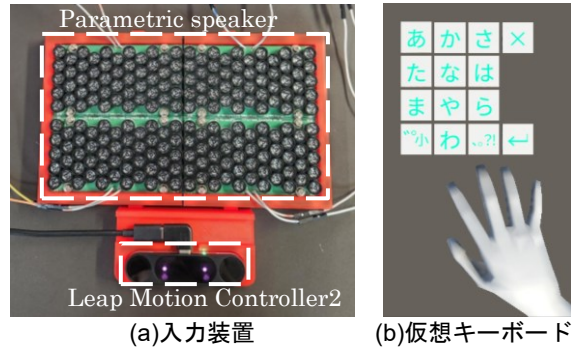


図 2 実装システム

ックスピーカーには, 50 個の超音波発振子が配置された, サイズ 98mm×55mm の基板を 4 枚並べて使用した.

文字入力を行う仮想キーボードを図 2(b)に示す. 仮想キーボードは, Unity を使用して開発し, カメラで認識した手によるフリック操作でひらがな入力が可能である.

4. 実験

4.1 振動パターンの選定

仮想キーボードにおける, 触れる・フリックする・離す, の 3 操作に対して, それぞれ異なる空中触覚フィードバックを付加するために, ユーザにとってわかりやすい触覚刺激の振動の選定を行った.

選定に使用した振動は, 以下の 3 要素を組み合わせた計 18 種類である.

- ・波形: 正弦波, 三角波, 方形波
- ・周波数: 100Hz, 200Hz, 300Hz
- ・出力パターン:
 - ・パターン 1: 50ms 連続出力
 - ・パターン 2: 30ms 出力→30ms 待機→30ms 出力

10 名の参加者に対し, これら 18 種類の振動をパラメトリックスピーカーから出力し, 手の表面で感じた触覚刺激の「わかりやすさ」を 1~7 の 7 段階で評価してもらった.

評価が最も高かった 3 種の振動を, 以下のように仮想キーボードの各操作に割り当てた.

- ・触れる: 正弦波・200Hz・出力パターン 2
- ・フリックする: 方形波・200Hz・出力パターン 1
- ・離す: 方形波・200Hz・出力パターン 2

4.2 主観評価実験

12 名の参加者を対象に, 仮想キーボードの入力操作に対して, 以下の 4 条件を比較し, 入力速度・エラー率・ユーザビリティの違いを検証した.

- ・条件 A: フィードバックなし
- ・条件 B: 視覚フィードバックあり
- ・条件 C: 聴覚フィードバックあり
- ・条件 D: 空中触覚フィードバックあり

[†]群馬工業高等専門学校 National Institute of Technology, Gunma College

視覚フィードバックでは、触れたキーを緑に、フリック時には赤く発光させた。聴覚フィードバックでは、選定した触覚刺激に対応する振動をヘッドホンから出力した。空中触覚フィードバックでは、振動をパラメトリックスピーカーから出力した。

実験では、参加者に各条件下でひらがな 3 文字の単語を 10 語入力してもらい、その後、SUS (System Usability Scale) に関する 10 項目のアンケートに回答してもらった。

5. 結果

主観評価実験で得られた各条件での入力速度・エラー率・ユーザビリティ (SUS スコア) の結果を、それぞれ図 3, 図 4, 図 5 に示す。

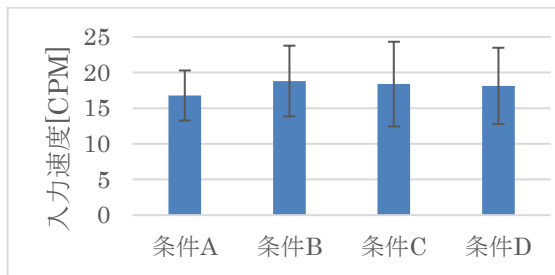


図 3 各条件の入力速度の平均

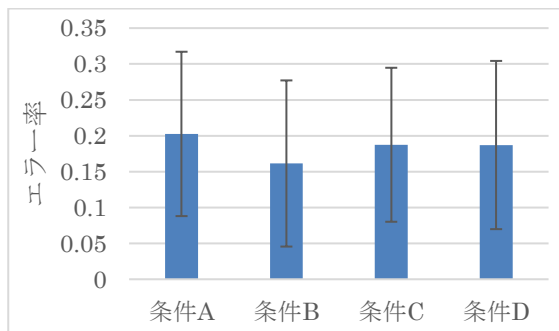


図 4 各条件のエラー率の平均

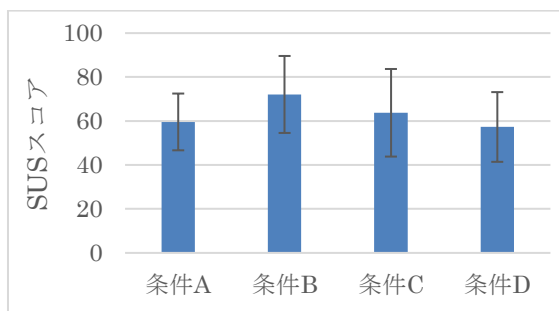


図 5 各条件の SUS スコアの平均

仮想キーボードの入力速度とエラー率は、大石ら[4]の定義に従い、以下の式(1),(2)で算出した。

$$\text{入力速度[CPM]} = \frac{\text{入力文字数} - \text{削除文字数}}{\text{入力時間[秒]}} \times 60 \quad (1)$$

$$\text{エラー率} = 1 - \frac{\text{入力文字数} - \text{削除文字数}}{\text{入力文字数}} \quad (2)$$

入力速度の単位には、1 分あたりの入力文字数 CPM (Characters Per Minute) を用いた。

各フィードバック条件が操作時間・操作精度・ユーザビリティに影響を与えるかどうかを検証するため、入力速度・エラー率・SUS スコアそれぞれについて、4 条件間で一元配置分散分析 (ANOVA) を行った。その結果、いずれの指標においても統計的に有意差は認められなかった ($p > 0.05$)。ただし、SUS スコアに関しては、Tukey の HSD 検定によって条件 B と条件 D の間に有意差が認められた ($p = 0.014 < 0.05$)。

実験後の自由記述アンケートでは、「仮想キーボードの上段のキーが入力しづらかった」、「仮想キーボードに慣れるまで時間がかかった」、「触覚フィードバックが感じにくかった」、「触覚フィードバックは距離感をつかみやすかった」というコメントが寄せられた。

6. 考察

入力速度・エラー率・SUS スコアのいずれにおいても、フィードバックの種類による有意差は確認されなかった。しかし、入力速度およびエラー率については、視覚・聴覚・空中触覚のいずれのフィードバックも、フィードバックなしの条件と比較して改善傾向が見られた。

実験後の被験者のコメントから、有意差が得られなかった原因として、実装システムや実験方法に問題があった可能性が示唆され、改善策として以下の点が考えられる。

- ・入力装置や仮想キーボードの構成を見直し、フィードバックの違いに関わらず発生する誤入力を改善する
- ・被験者の練習時間を十分確保し、実験中に学習効果が生じて結果にばらつきが生まれる問題を改善する
- ・空中触覚刺激の強度を高める方法を検討し、被験者が触覚刺激を正確に知覚できるように改善する

手法の改善によって、各フィードバック間に有意差が認められる結果を得ることができれば、空中触覚フィードバックの効果について論じることができると考えられる。

7. おわりに

本研究では、非接触での文字入力手法に対する空中触覚フィードバックの効果を検証することを目的として、空中仮想キーボードの操作に空中触覚フィードバックを付加するシステムを実装し、主観評価実験を通じて、フィードバックなし・視覚フィードバック・聴覚フィードバック・空中触覚フィードバックの 4 つの条件における入力速度・エラー率・ユーザビリティを評価した。

今後は、より明確かつ認識しやすい空中触覚フィードバックの提示方法の検討を進め、非接触での文字入力におけるその効果をさらに詳細に評価する予定である。

参考文献

- [1] 岩本 貴士, 篠田 裕之, “空中超音波による触覚提示”, 第 8 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 (SI2007), pp.29-30, (2007).
- [2] 星 貴之, “触覚フィードバックのある空中入力システムの開発”, 第 11 回システムインテグレーション部門講演会 (SI2010), pp.182-183, (2010).
- [3] T. Carter, S. A. Seah, B. Drinkwater, S. Subramanian, “UltraHaptics: Multi-Point Mid Air Haptic Feedback for Touch Surfaces”, In Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST 2013), pp.505-514, (2013).
- [4] 大石 真佐貴, 物部 寛太郎, “VR におけるピンチ動作を用いたフリック入力手法に関する研究”, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2D2-1, (2022).