



投影型投影拡張手と実手との微小な運動不整合を 手掛かりとする情報伝達

内田琢也¹⁾, 佐藤優志¹⁾, 岩井大輔¹⁾, 佐藤宏介¹⁾

1) 大阪大学 大学院基礎工学研究科 (〒 560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3,
{t.uchida, y.sato}@sens.sys.es.osaka-u.ac.jp, {daisuke.iwai, sato}@sys.es.osaka-u.ac.jp)

概要: 投影型身体拡張インタフェースにおける投影拡張手の運動は、実手の運動に忠実に反映させることが一般的である。我々は、ユーザに不可知情報を可視化させることを目的に、ユーザの随意ではない運動を生起させ、それを第三者に知覚できない程度に微弱に投影拡張手へ付与することにより、実手の動きに対する投影拡張手の不整合な運動（以下、不随意運動）からユーザへの情報伝達を図るシステムを提案する。本報告ではユーザの操作性に影響を及ぼす 3 種類の不随意運動に関して、投影拡張手操作ユーザの不随意運動に対する感度を調査した。

キーワード: 環世界, 身体拡張, 投影型複合現実感, 固有感覚

1. はじめに

人間拡張技術により、ユーザは生来の身体機能では持ちえない新たな知覚能力や身体能力を獲得することができる。知覚能力の拡張に関して、ユーザへの新たな感覚の追加が取り組まれている。ユーザに感覚追加を行う研究の多くは、ベスト型などの専用の装置を用いた聴覚刺激の振動触覚刺激への変換といった、感覚代行技術により実現されている [1]。

身体能力の拡張に関して、投影型複合現実感技術を用いる手法がある。上田らが提案した ExtendedHand はユーザの手の動きをタッチパネルで測定し増幅することで、プロジェクタから投影されたバーチャルハンド（以後、投影拡張手）の動きへと反映する [2]。このインタフェースにより、ユーザは自分の手のように随意に投影拡張手を操作することで、手が届かない遠くの場所に対しても物体指示が可能となる。また、佐藤らは指先が振動するなどの視覚効果の付与による疑似触覚フィードバックを用いて、投影拡張手を介して物体触感をユーザに知覚させることを実現した [3]。

ここで、投影拡張手は映像の手であるため、投影拡張手を介してユーザに伝達する情報は、物体触感などの人間生来の知覚能力で知覚可能な情報に限定する必要はない。そのため、ユーザの身体を拡張するだけでなく、無臭ガスや赤外線のような人間が知覚できない不可知な環境情報（以後、不可知情報）を投影拡張手を介してユーザに知覚させることで、新たな感覚をユーザに追加できる可能性を考えた [4]。

そこで、本研究では投影拡張手に第三者には知覚できない程度に随意でない運動を生起させ、実手の動きに対する不整合な運動（以下、不随意運動）を手掛かりとしてユーザに与えることで、不可知情報を知覚させる方法を提案する。また、人間が持つ感覚は各自にとって固有なものであるため、投影拡張手操作ユーザのみが不可知情報を新たに知覚し、ユーザ以外の他者にとっては可知となつてはならない

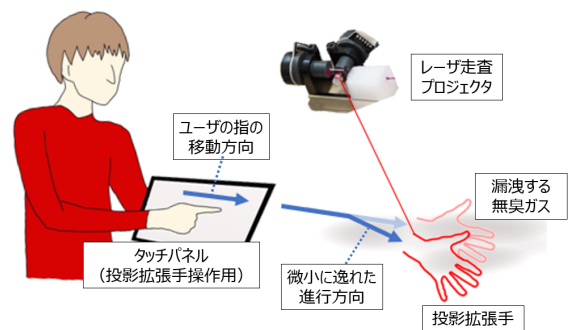


図 1: 投影拡張手が不随意に動くことによる無臭ガスの可視化の例

属人性を重視する。本稿では投影拡張手に生じる不随意運動に関して、ユーザの投影拡張手に対する不随意運動の感度を調査した結果について報告をする。

2. 提案手法

本研究では、不可知情報を理化学的手法により取得し、ユーザの操作により決定される投影拡張手の運動に、取得した情報を基にユーザに随意でない微小な運動を混入させる。これにより、投影拡張手と実手の動きとの間に運動不整合を生じさせ、ユーザにこの手掛かりを基に不可知情報を知覚させる。投影拡張手に生起させる不随意運動が微小であることから、ユーザのみへ投影拡張手を介した不可知情報の属人性のある情報伝達が期待できる。

ここで、提案手法を用いた無臭ガスの可視化の例を図 1 に示す。無臭ガスに反応して、投影拡張手はユーザが意図する進行方向から微小に逸れた並進運動を行う。自身が意図した動きに対して進行方向が急に変化するという不整合な動きがユーザの視覚に介入することで、本来不可知である無臭ガスをユーザに知覚させることを実現する。

3. 投影拡張手の不随意運動に対するユーザの感度調査

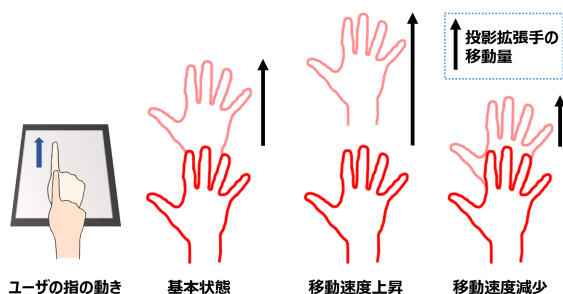
3.1 実験目的

大きな不随意運動は、投影拡張手操作ユーザだけでなく第三者にも知覚されやすく属人性が損なわれる。一方で、過度に微小な不随意運動はユーザに知覚されない可能性がある。そこで、微小な不随意運動に対してユーザが知覚できる感度を調査した。

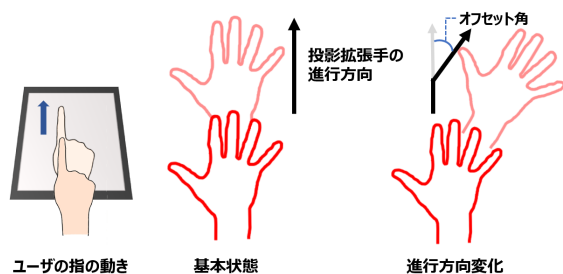
3.2 実験条件

ユーザの投影拡張手の操作性に影響を与える3種類の不随意運動を作成した(図2(a), 図2(b))。まず、不随意運動が生じない時を基本状態とする。この時、ユーザがタブレット上で指を10 mm動かすと、1.0 m先の投影面上でユーザのタブレット上での指の移動方向に投影拡張手が約100 mm並進移動するように設計をした。図2(a)の移動速度上昇と移動速度減少の2種の不随意運動は、ユーザ操作時の投影拡張手の移動速度を決定するパラメータである移動ゲインを、一時的に変化させることで投影拡張手の移動速度を変化させる。なお、移動ゲインは移動速度上昇では大きくなり、移動速度減少では小さくなる。

図2(b)の進行方向変化条件は、ユーザ操作により決定される投影拡張手の進行方向にオフセット角を付与することで、投影拡張手はユーザ入力に対して逸れた方向に進行する。3種の不随意運動で、予備調査により5段階の大きさの不随意運動を設定した。



(a) 移動速度変化による不随意運動



(b) 進行方向変化による不随意運動

図2: 投影拡張手の不随意運動

3.3 実験方法

参加者(男性9名, 女性1名, 21-26歳)は図3に示す環境で以下のタスクを繰り返した。

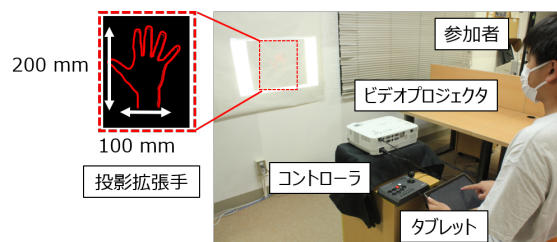


図3: 実験環境の概要

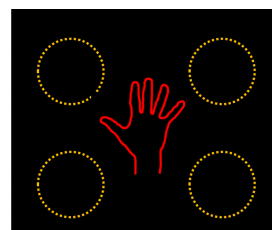


図4: 仮想環境の概要。黄色の円は不随意運動発生候補領域を表す(実験時は非表示)。

1. 参加者から1.0 mの位置に仮想環境(図4)が投影される。
2. 参加者は手元のタブレット端末で投影拡張手を操作し、投影拡張手に不随意運動が生起する場所を探索する
3. 参加者は4つの候補領域から1つを必ず選択し、その領域まで投影拡張手を移動させた後にコントローラのボタンを押すことで、不随意運動が生起する場所の回答を示す。

不随意運動は図4で黄色の円で囲まれた4ヶ所の候補領域の中の1ヶ所に試行ごとにランダムで発生する。なお、実験時には仮想環境内に黄色の円は表示されない。参加者は図4に示す4ヶ所の候補領域と生起する不随意運動の種類についてタスク実施前に説明を受けた。また、参加者間の投影拡張手の操作技術により実験結果に影響が出ないように、タスク実施前に参加者は投影拡張手の操作練習を十分に行った。

各不随意運動について設定された5段階の大きさは実験時に10回ずつ参加者に提示された。そのため、参加者は各不随意運動について5×10繰り返しの計50回試行した。参加者に提示される不随意運動の大きさの順番はランダム化し、参加者間でバランスをとった。以上の手続きを3種の不随意運動条件全てについて実施した。

3.4 結果

評価指標として、不随意運動の各大きさに対して、10回提示された中で、不随意運動が生起していた場所と参加者の回答が一致した割合を感度として式1で定義し用いる。

$$\text{感度} = \frac{\text{不随意運動発生場所と回答の一致数}}{10} \quad (1)$$

実験結果を図5に示す。移動速度減少と移動速度上昇に関して、横軸のゲイン比は不随意運動時の基本状態に対す

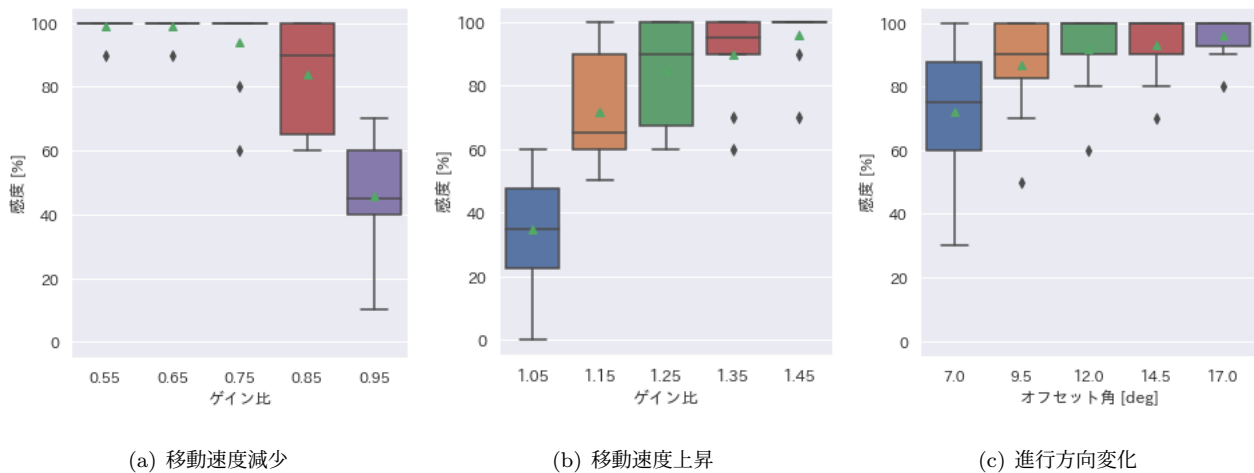


図 5: 実験結果

移動ゲインの比率を表す。ゲイン比が 1.0 に近づくほど不随意運動の混入度合いは小さくなる。進行方向変化に関して、オフセット角が小さいほど不随意運動の混入度合いは小さくなる。結果として、不随意運動が大きい時は不随意運動の感度の平均が 80 % を超えており、分散も小さい傾向にあった。一方、全ての不随意運動で不随意運動が小さくなるほど感度は低下し、分散も大きくなる傾向にあった。

3.5 考察

不随意運動が過度に微小である時、ユーザは投影拡張手の不随意運動を知覚することが出来ず、投影拡張手を介した情報伝達が困難である。そこで、おおよそ感度が 80 % 以上となる大きさの不随意運動であれば、ユーザは不随意運動を不可知情報の手掛かりとして知覚ができると考える。そこで、本研究では感度が 80% となる不随意運動を知覚限界として定めた。図 5 の結果から、移動速度減少ではゲイン比が 0.85 から 0.95 の間、移動速度上昇ではゲイン比が 1.15 から 1.25 の間、進行方向変化ではオフセット角が 7.0° から 9.5° の間に感度が知覚限界となる大きさの不随意運動が存在する。

ここで、投影拡張手操作ユーザは、投影拡張手の観察者よりも投影拡張手の不随意運動を知覚しやすい傾向が示唆されている [5]。また、不随意運動が小さくなると、観察者に対する不随意運動の視覚的な手掛かりも小さくなる。そのため、知覚限界付近の不随意運動は、ユーザ周囲の第三者にとってはその変化に気づきにくく、ユーザのみに投影拡張手の不随意運動から情報を伝達する属人性の高いパラメータ域と考えられる。しかし、不随意運動が小さくなると分散が大きくなる傾向にあったことから、不随意運動の感度には大きな個人差が見出された。そのため、投影拡張手の微小な不随意運動によるユーザへの情報伝達を考える際には、ユーザの特性に合わせて生起させる不随意運動を設計調整する必要があると考えられる。

4. おわりに

本稿では投影拡張手に微小な随意でない運動を意図的に引き起こし、実手の動きとの不整合な運動を手掛かりとすることでユーザのみに不可知情報を知覚させる方法を提案した。そして、投影拡張手に生起させる不随意運動の大きさについて、ユーザの感度を調査した。実験の結果、本稿で用いた不随意運動に関して、微小ではあるがユーザは知覚しやすい不随意運動の大きさが示唆された。今後は、仮想環境ではなく実環境において、本提案手法による不可知情報の可知化に関して、どの程度投影拡張手から不可知情報を知覚させることが可能かという点について調査していく。

参考文献

- [1] Scott D. Novich, David M. Eagleman : Using space and time to encode vibrotactile information: toward an estimate of the skin's achievable throughput, Springer, Vol. 233, No. 10, pp. 2777–2788, 2015.
- [2] Yuta Ueda, Yuki Asai, Ryuichi Enomoto, Kai Wang, Daisuke Iwai, Kosuke Sato : Body cyberization by spatial augmented reality for reaching unreachable world, Augmented Human International Conference, pp. 1–9, 2017.
- [3] Yushi Sato, Takefumi Hiraki, Naruki Tanabe, Haruka Matsukura, Daisuke Iwai, Kosuke Sato : Modifying texture perception with pseudo-haptic feedback for a projected virtual hand interface, IEEE Access, Vol. 8, pp. 120473–120488, 2020.
- [4] 内田琢也, 渡邊あきら, 佐藤優志, 岩井大輔, 佐藤宏介 : 装着型拡張手システムを用いた不可知情報の可知化, 第 26 回バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 2D2-4: 1–2, 2021.
- [5] 内田琢也, 渡邊あきら, 佐藤優志, 岩井大輔, 佐藤宏介 : レーザスキャン投影による装着型拡張手システム, 第 65 回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, pp. 392–394, 2021.