

デスクトップ・プレゼンスのための 身体変形感を誘起する背面タッチインタフェースの研究

石原 由貴^{†1} 小鷹 研理^{†1}

概要 : ディスプレイ内で起こるイベントの現実感を高めるためには、ユーザの身体がディスプレイ空間に入り込んだかのような実在感を与えることが重要となる。マウスポインタの操作性を維持しつつ、ディスプレイ内のポインタがあたかもユーザの手の一部であると感じさせるためのアプローチとして、本研究では身体の錯覚現象に注目し、背面入力インタフェースを採用したうえで、視覚・運動感覚・触覚を相互に同期するデスクトップ操作環境を設計した。さらに、被験者実験によって、ポインタの形状の設計に関する重要な指針を得たので報告する。

Research on Sense Induction of Body-Image Transformation Using Rear Touch Interface in Desktop Environment.

YUKI ISHIHARA^{†1} KENRI KODAKA^{†1}

Abstract: To build a strong reality for various events happening in desktop environment, it is important to give a feeling as if the body-part is placed on actual display. This study focuses on a well-known body illusion and designed a novel desktop system using rear-touch interface with visuomotor-haptic correlations. In addition, we report an important guideline concerning how to design the shape of pointer in such a system.

1. 背景

現在、コンピュータの操作手法は、アイコン（マウスポインタ）を用いた相対座標によるポインティングが主流となっている。この手法により操作の自由度は高まるものの、操作者の身体アクションとディスプレイで生じているイベントとの間には心理的な隔たりが生じ、操作する身体とその代理であるアイコンが身体的につながっている感覚を得ることは難しくなる。この身体感覚の隔たりは結果的にディスプレイ内で起こる物事の現実感を低下させ、ネットモラルの低下に代表される、ディスプレイ上における社会モラルの喪失を引き起こす恐れがある。

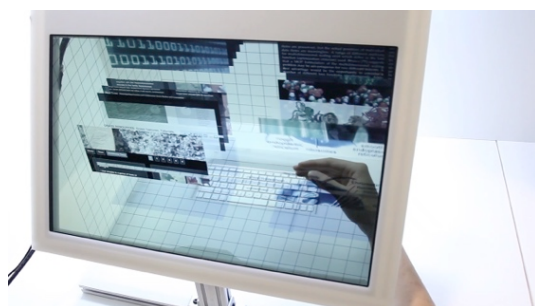


図 1 SpaceTop (<http://leejinha.com/SpaceTop>)

ディスプレイ空間との身体的繋がりを意識させ、ディスプレイ内での実在感を得る「デスクトップ・プレゼンス」

への取り組みとして、SpaceTop[1] (図 1) がある。これは半透明なディスプレイに 3D 化された GUI を描画し、その背面から操作手を透かし見ることによって、ディスプレイ空間と操作手があたかも同次元に存在するような高い現実感を得ることのできる操作環境である。しかし、ディスプレイ空間に現実空間の画をそのまま用いる、これらの AR 的アプローチでは、身体そのものが操作ポインタとなることに根ざした以下のような問題が起こりうる。

- ① 操作手の動作と形状がそのまま反映されるため、操作時にはディスプレイ空間いっぱいには操作手を動かす必要があること。
- ② 手先の形状がアイコンに比べ巨大であるため、細かいポインティングが困難であること。

こうした問題から、身体をそのままポインタとして用いた操作環境は、アイコンを用いたポインティングほどの操作性を達成することができない。操作性を保った状態でのデスクトップ・プレゼンス実現のためには、操作手が操作に適した形状へと変形し、ディスプレイ内に存在する仕組みが必要となる。そこで、本研究ではその身体変形感を誘発する操作環境のための、基礎的研究を行う。

2. 認知的心理学的アプローチ

先に述べた問題を解決するため、筆者らは RHI (Rubber Hand Illusion[2] (図 2)) を始めとした認知心理学的の知見を用い、操作ポインタがあたかも操作手であると感じる錯覚を引き起こす操作環境を構築した[3]。

^{†1} 名古屋市立大学芸術工学研究科
Nagoya, 464-0083, Japan

RHIとは認知心理学の分野で著名な、身体所有感を実際の身体ではない、身体の類似物（以下、仮想身体）へと移行させる錯覚実験である。この実験では隠された被験者の手と、目の前にあるゴムの手を同時かつ同部位に触れることにより、視覚-触覚の刺激の同期から、被験者がゴムの手を被験者自身の手であるように感じる錯覚を引き起こすことができる。この錯覚はゴムの手の他、長過ぎる腕、机そのものを用いた場合にも生じ[4]、空間・形態に対して柔軟に対応することがわかっている。また、ディスプレイに映し出される腕を用いた場合[5]や HMD を用いたバーチャルボディーに関する研究[6]によれば、身体イメージの投射先は、必ずしも実世界である必要はないことが示唆されている。さらに、これらの身体所有感の移動は視覚-触覚の同期によって誘発されるが、視覚と自発的な運動感覚が一致することによって起こり得る例も確認されている[7]。

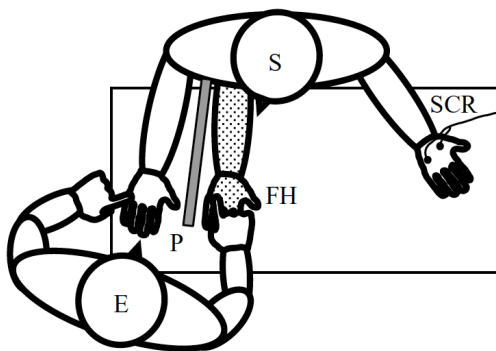


図 2 Rubber Hand Illusion ([4])

本システム（図 3）ではデスクトップの操作環境として扱いやすい視覚-運動感覚の同期を錯覚の誘発因子とし、先の知見から抽出した以下の要素を取り入れた。

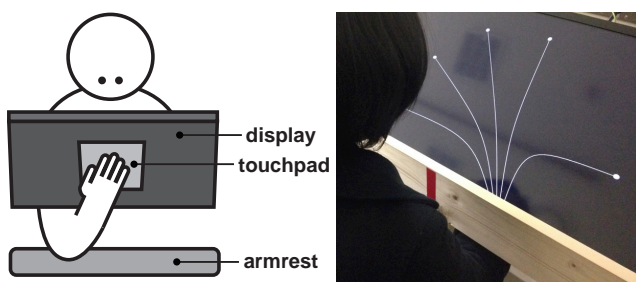


図 3 Appearance of Body-Image transformation system

身体のマスキング

自己の身体を隠すことで錯覚効果が高まるという RHI の原理に基づき、操作する手をディスプレイ背面に隠すことによる自己身体のマスキングを行った。

投射先との距離

薄型ディスプレイの背面に直接タッチパッドを取り付けることで指先とポインタ間の物理的な距離を減らし、体性感覚で感じられる自己身体の位置と仮想身体（ポインタ）

の位置とを誤認しやすい状態にした。

空間的同一性

タッチパッドで得た指先の座標を、絶対座標系を用いて空間的・身体構造的な関係性を保持・伸張させ、ポインタ座標に変換した。これにより、ポインタの動作と運動感覚の向きを同方向に揃えつつ、実際の指が届く限界よりも約 3 倍広い操作範囲を得ることを可能にした。また、接触位置センサによる肘の位置検出を行い、肘座標を用いた身体とポインタを連続的に繋げる線の補間表現を行った。

3. 空間的同一性が与える影響の検証

先に述べた通り、操作性を保持したデスクトップ・プレゼンスの実現には、身体が操作に適した形状に変化する必要がある。しかし形態的相似度が低い仮想身体に対しても身体イメージの投射は可能[4]とする報告がある一方、形態的相似度が低い場合には身体所有感の移動は起こらないとする報告もある[8]。筆者らは操作ポインタに適した単純な形態に対して「空間的同一性」を取り入れた場合、その身体イメージの投射にはどのような変化がみられるのか、制作した操作環境を用いて検証を行った。

3.1 実験内容

Hari らの研究[9]により、VR 空間上にある仮想身体が本物の手であると感じる錯覚状態にある場合、そうでない場合に比べ、仮想身体付近に呈示された光点の検出速度が優位に高くなることが分かっている。これを指標とし、指先を表す球状のポインタに、異なる線の補間表現を持たせたポインタ 5 種類（図 4）を用いた身体イメージの投射強度の比較を行った。

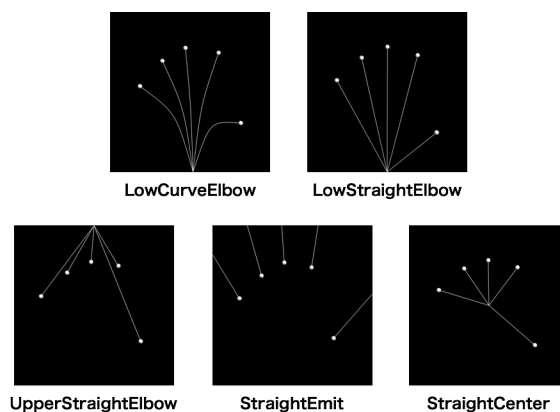


図 4 Types of lines for the experiment

3.2 手順

11 名（男性 5 人・女性 6 人）の被験者に対し、以下の 4 つの行程を計 80 回繰り返した。

- ① 5 種類からランダムに選ばれた補間表現を持ったポインタが表示される
- ② 被験者はタッチパッドに 5 本の指を触れたまま、指全体をすぼめ、再度広げる。

- ③ 肘をディスプレイ上に呈示されたターゲットまで左右に動かす。
- ④ 薬指を除く4本の指からランダムに選ばれた、赤く光るポインタに対応する指を出来る限り素早く判別し、トラックパッドから離す。
- ④の段階において、光点の呈示から指が離れるまでの反応時間 (Reaction Time : RT) と誤答率 (Error) を記録した。

3.3 結果と考察

各モードにおける RT・Error の平均を図5に示す。また、線の補間表現 (Mode) を要因とした分散分析の結果、RT・Error の双方において $p < 0.01$ という優位な差が得られた。図中の統計記号は TukeyHSD による多重比較の結果である。

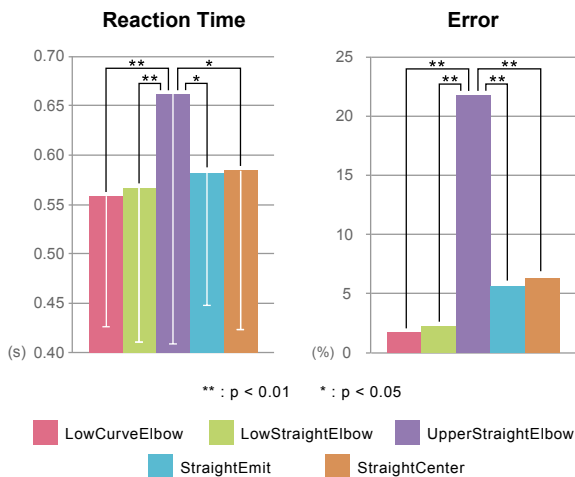


図5 Graph of RT and Incorrect

ポインタから上方向へと伸びる補間表現として UpperStraightElbow と StraightEmit の2種がある。どちらも線が腕から指先へと伸びる、指の物理的配置とは大きく異なる表現であるが、StraightEmit の成績は RT・Incorrect 共に、UpperStraightElbow に比べて有意に高くなった。それは StraightEmit の補間表現が5本の指の延長線と解釈することで空間的相同性が保存される一方、UpperStraightElbow では実際の5本の指の配置イメージが180度回転した形状に類似していることから、誤った身体像を読み取るための心的回転に認知コストがかかり、身体イメージの投影に困難が伴ったと考えられる。

興味深いことに、UpperStraightElbow 以外の4種においては、光点検出の成績に優位な差はなかった。StraightEmit は補間する線が上方に伸びるために、視覚的に自然な表現であるとは言い難い。それにもかかわらず成績の悪化が見られないのは、それぞれの補間線が5本の指の延長線として素直に解釈されているためだと考えられる。このような迂回した形で得られる身体イメージであっても、身体構造的に自然である他の視覚表現との間に、光点認知での大きな差は無かった。また、空間的相同性が高いと見られた LowCurveElbow と StraightEmit を比較しても大きな差は見

られない。これらのことは、我々が自己の身体イメージをかなりラフなかたちで認識していることを示唆する。つまり、一定の基準を超えない限り、空間的相同性の強弱は身体イメージの形成に影響を及ぼさないと考えられる。

以上より、身体の相似的表現に対して一定の相同性が確保される限り、我々は提示されたアイコンに対して柔軟な自身の身体イメージを投影することが可能であることが分かった。そして同時に、相似的表現のみで強い身体イメージを引き起こすことが難しいことも示唆された。

4. タッチインタフェースの環境設計と実装

筆者らが構築した背面タッチインタフェース環境は、視覚と運動感覚の同期による、空間的相同性を主軸とした身体イメージの想起をねらいとしていた。しかし、実験結果を鑑みると、それらの感覚の同期のみでは強固な身体イメージの投射を起こすことはできないと考えられる。そこで、筆者らは設計で除外していた触覚を加えた、視覚-触覚-運動感覚の同期を誘発材料とし、インタフェースの検討・構築を再度行った。

4.1 ポインタの形状設計と操作

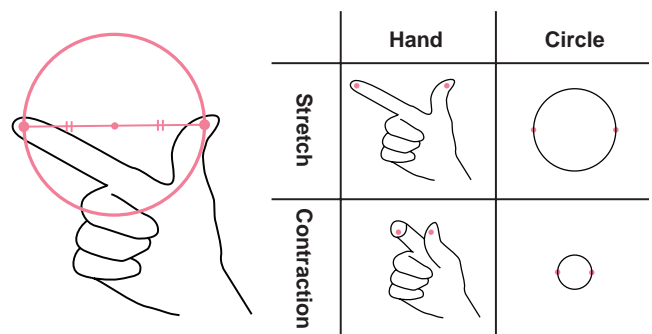


図6 Mapping between hand formation and pointer's appearance

本研究は GUI 操作に適した操作手獲得への基礎的な研究であるため、操作ポインタは今後様々な形状へと発展可能な形状であることが望ましい。また、先の実験結果から空間的相同表現は、先の提案ポインタよりも低度な付与で十分な効果が得られると考えられる。これらを踏まえ、本制作では背面タッチパッドから得た指座標を入力とした、単純な円による操作ポインタを制作した (図6)。

タッチパッド (iPad Air) はディスプレイ背面に直接取り付けられており、ユーザはディスプレイの裏側を親指と人差し指の2点でなぞることで操作を行なう (図7左)。ポインタの中心はこの2点間の midpoint であり、その直径は2点の距離から決定される。指の運動によって円の大きさが変化するため、プリミティブな形態でありながらも、一定の空間的相同性を付与することができる。

4.2 視触覚のマッピング

操作手への触覚刺激として、指への振動付与を行う。明

確な接触感を得るため、振動子として振動モータ (VBV10B-009) を選択し、それを親指・人差し指の爪側に縫い付けた振動伝達グローブを制作した(図7右)。また、効率的に爪全体に振動を伝えるため、振動モータとグローブの間には軟質ウレタン樹脂を挟んだ。

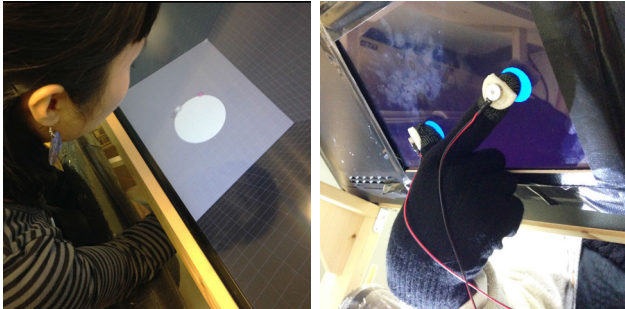


図7 Appearance of actual implementation

視覚-触覚の同期イベントを起こすため、本環境では操作ポインタとコンピュータで制御された球との衝突イベントを作成した(図8)。この衝突発生時に、指先への振動が付与される。このイベントは仮想身体となる操作ポインタ全体に、満遍なく起こることが望ましいことから、操作空間を半3D化し、球が縦横に飛んでくるよう設計した。

さらに、2点の触振動刺激の強度バランスを変化させることで点間の任意の位置で振動が起きているように感じさせる触錯覚[9]に基づき、爪に与える振動のパワーバランスを変化させることでごく少数の振動子から、操作ポインタ全体に触覚があるかのような、面としての触覚を与えることができる。振動子の強度は発生したイベント位置と指座標との距離に応じて決定され、距離が近いほど大きな触覚刺激を与えるよう、刺激の配分を行った。ただし振動モータにおいては、電圧制御による強度提示の差異は微小であるため、本システムでは刺激提示時間の長短により、振動モータの強度を表した。

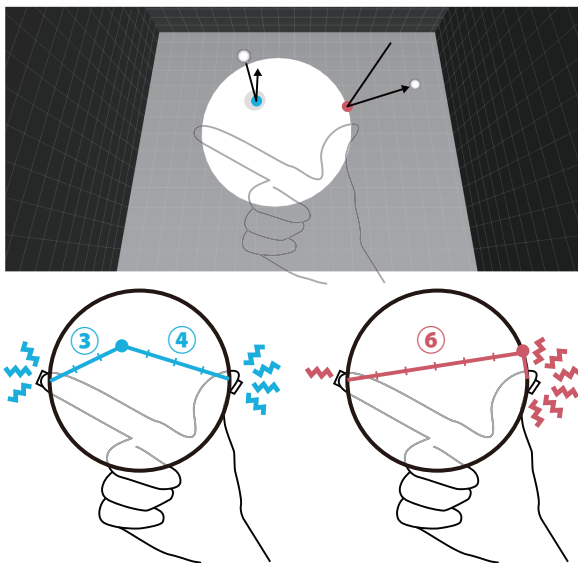


図8 Vibration event

5. まとめ

本研究はデスクトップ・プレゼンスのための身体変形感の形成を目的とし、その誘発因子として視覚と運動感覚の同期から形成される「空間的相同性」に着目した実験を行った。結果、一定の空間的相同性が確保される限り、実在身体から迂回した表現であったとしても、柔軟な身体イメージの投射が行われることが分かった。しかし同時に、空間的相同性のみを錯覚の誘発因子とした場合、強固な身体イメージの投射は期待できないという見解も得られた。これを踏まえ、以前除外していた触覚を環境設計に導入し、視覚-触覚-運動感覚によって身体変形感が誘発されるインタフェース操作環境の再構築を行った。

今後はこの環境によって引き起こされる身体変形感の実証実験を行う。操作手は存在しないが、ポインタとしては存在する位置座標に恐怖刺激を行った際の SCR (Skin Conductance Response) 値を計測することで、実際にポインタの形態に操作手の身体イメージが変形しているかどうか、客観的に測定を行なう。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 25540090、日比科学技術振興財団の助成を受けたものです。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Jinha Lee, Alex Owlwal et al.: SpaceTop: Integrating 2D and Spatial 3D Interactions in a See-through Desktop Environment; CHI'13, pp.189-192 (2013)
- 2) M.Botvinick, J.Cohen: Rubber hands 'feel' touch that eyes see; Nature, 391(6669), 756 (1998)
- 3) 石原由貴, 小鷹研理, 「デスクトップ・テレプレゼンスのための入力インタフェースのデザイン -ラバーハンド・ポインタの開発-」, 情報処理学会シンポジウムインタラクション 2014, B2-4, インタラクティブ発表, (2014)
- 4) K. Armel, V. Ramachandran: Projecting sensations to external objects: evidence from skin conductance response; The Royal Society, vol. 270 (1523), 1499-506 (2003)
- 5) M. Slater, D. Prez-Marcos et al.: Towards a digital body: the virtual arm illusion; Front. Hum. Neurosci, 2 (2008)
- 6) H. Ehrsson: The experimental induction of out-of-body; Science, 317(5841), 1048 (2007)
- 7) A. Kalckert, H. Henrik Ehrsson: Moving a Rubber Hand that Feels Like Your Own: A Dissociation of Ownership and Agency. ; Front. Hum. Neurosci, 6 (2012)
- 8) M. Tsakiris, L. Carpenter et al.: Hands only illusion: multisensory integration elicits sense of ownership for body parts but not for non-corporeal objects. ; Experimental Brain Research, 204(3), 343-52 (2010)
- 9) R. Hari, & V. Jousmaki : Preference of personal to extrapersonal space in visuomotor task. ; Journal of Cognitive Neuroscience, 8(3), 305-7. (1996)
- 10) G. Békésy :Neural Funneling along the Skin and between the Inner and Outer Hair Cells of the Cochlea. ; J. Acoust. Soc. Am, 31(9), 1236-49 (1959)