

デスクトップ・テレプレゼンスのための 入カインターフェースのデザイン —ラバーハンド・ポインタの開発—

石原由貴^{†1} 小鷹研理^{†1}

従来の GUI を通したコンピュータの操作において、操作者の身体とディスプレイ空間におけるポインタとの心理的繋がりは希薄であった。この隔たりによって、ディスプレイ内での振る舞いにおける身体感覚に基づく社会性を喪失させるおそれがある。本研究では身体的実在感の感じられるデスクトップの操作環境「デスクトップ・テレプレゼンス」を提案する。その実現に向けて、身体没入を引き起こす事例である RHI を取り上げ、自己身体イメージが投射される仮想身体をポインタに置き換えることで、身体的実在感が感じられるポインタである「ラバーバンド・ポインタ」の開発を行った。

Interface Design for Desktop Telepresence - Rubber Hand Pointer -

YUKI ISHIHARA^{†1} KENRI KODAKA^{†1}

In operating a computer with conventional GUI, it is generally difficult to make an operator's body image to be projected onto a display space from the physical world. Such a gap can make us to lose body-sense-based sociability in the display world. This research aims to construct the operational desktop space inducing the body presence, which we call "Desktop-Tele-Presence". To realize this, we design "RubberHandPointer" that allows an operator to feel as if the pointer is his/her body's representation, based on recent psychological studies on rubber hand illusion.

1. はじめに

従来の GUI を通したコンピュータの操作は、マウスやキーボードを通した間接的な身体動作によるものであった。この方法によって操作の自由度は高まるが、操作者の身体アクションとディスプレイ空間で生じているイベントとの関係が心理的に希薄になり、操作する身体とその代理であるポインタとが身体的につながっている感覚を得ることは難しい。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、インターネット空間における社会モラルの低下を生み出す一因となっている。

本研究ではコンピュータの操作環境に、認知科学において知られている身体没入を引き起こす錯覚を参考として、デスクトップ上に身体的実在感を引き起こす操作環境「デスクトップ・テレプレゼンス」を提案し、その構築を目指す。

2. 関連研究

2.1 AR 的アプローチ

操作者の身体とディスプレイが同次元のものとして認識できるデスクトップの操作環境として SpaceTop[1]が挙げられる。(図 1 参照) これは半透明なディスプレイを用いた操作環境であり、操作する手が透けて見ることができる

仕様となっている。ディスプレイに映し出す空間は 3D 化され、ディスプレイと操作者の身体が同次元にあるような高い現実感が作り出されている。

この操作環境では手の動作と形態がそのまま利用されているために、操作を行なう際に手をディスプレイ空間いっぱいには動かす必要がある。また、手のサイズが物理的に固定されているために、細やかなポインティングは行うことができない。これらのことから、身体形態をそのまま用いた操作環境は、効率性や精度の点で、大きな問題を抱えていることがわかる。

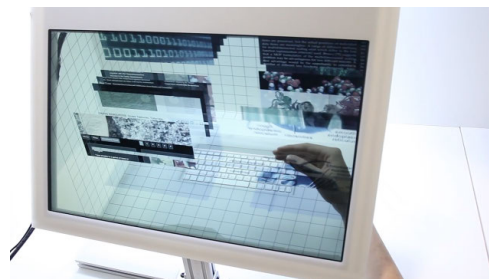


図 1 SpaceTop (<http://leejinha.com/SpaceTop>)

2.2 認知科学的アプローチ

近年、身体所有感を実際の身体ではない身体の種類物（以下、仮想身体）へと移行させる研究が多く取り組まれている。[2]そうした研究の 1 つに、RHI (Rubber Hand Illusion[3]) が挙げられる。この実験は被験者の手を被験者に見えないよう衝立の向こうに隠したまま、偽物であるの

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

ゴムの手を被験者の目の前に置き、実験者がその両方の手に同時かつ同部位に刺激を与えることで、被験者が偽物の手を本物の手であるように感じるというものである。(図2参照) この錯覚の強度は、刺激の時間的一致、投射先との空間的一致、実際の手との形態的一致によって決定される。ただし、仮想身体が明らかに長すぎる腕の場合や、机の端を用いた場合でも錯覚が生じた例[4]があり、空間と形態の一致についてはその柔軟性も指摘されている。さらに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、その投射先には必ずしも 3 次元の実体を必要としないことが示唆されている。本研究ではその柔軟性に着目し、従来のポインタのように身体動作を拡張した操作範囲を保ちつつも、身体イメージの投射が容易な、ディスプレイ内に身体的実在感を引き起こすポインタを開発する。このポインタは RHI におけるゴムの手の役割を果たすことから、「ラバーハンド・ポインタ」と呼ぶ。

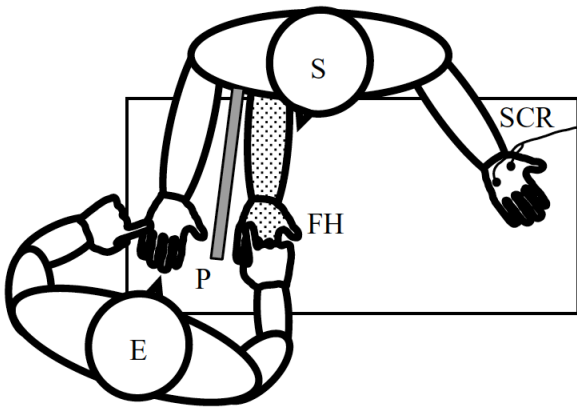


図 2 RHI の実験 ([4]より引用)

3. 設計要件

2 で述べた関連研究を踏まえ、「デスクトップ・テレプレゼンス」および「ラバーバンド・ポインタ」実現のために考慮すべき点を設計要件とした。なお、以下の説明において、「自己身体」とはポインタを操作する操作者自身の上肢を、「仮想身体」とはディスプレイ内に現れるポインタを指す。

3.1 身体のマスキング

自己身体が視覚的に明示されている場合、身体所有感自己身体に位置に確立されてしまい、仮想身体へと身体所有感を移すことは難しくなる。2. 2 で述べた先行研究の多くは、衝立等を使用することによって自己身体を視覚的に隠している。本研究においても操作する手を視覚的に隠す構造を持たせる必要がある。

3.2 投射先との距離

身体周りの腕が届く空間のことを神経科学の分野では身体近接空間 (ペリパーソナル・スペース) と呼ぶ。この空間

間も自分の身体の一部であるとして、脳内の身体マップに含められている。そのため、仮想身体もその空間内にあった場合の方が、脳に「身体らしい位置」に「身体らしい何か」があると認識させやすい。逆にこの空間外に仮想身体があったとしても、「身体ではありえない位置」に何かがあるという認識になるため、身体イメージの投射も起こりにくくなる。また、体性感覚と仮想身体から得られる視覚刺激とが合致することも投射を強める要因となる。これらのことから、自己身体は仮想身体に近い空間に配置すべきだと考えられる。

3.3 仮想身体 (ポインタ) の形態に関する制約

仮想身体は自己身体と類似するほどに、身体イメージの投射が強くなるとされている。しかし、ポインタに腕の画像を用いるなどの、仮想身体が自己身体に酷似するような場合には、過度の近似性に拒否感を抱く「不気味の谷[7]」の問題に直面する。そのため、ポインタには写実的な画像よりも、デフォルメ化された像を用いるのが望ましい。本研究ではポインタの形状に依存しない操作環境を構築することで、今後のデスクトップ・テレプレゼンス研究での基礎的なシステムを構築する。そのため、今回開発するポインタの形態には、最も基本的な形態である幾何学形を用いる。

しかし形状による類似性が低い場合、ポインタと身体との関連性も低くなるため投射が極端に弱くなる。これを補うため、操作の手とポインタとの動きの相関を強化し、ポインタの動きから自身の手を想起させるような表現を作る必要がある。

3.4 空間的相同性



図 3 サルを用いた身体イメージの変形の実験 ([8]より引用)

入来[8]の研究では、図のような実験装置を用いてサルに自身の手の映像を見せた。この訓練を続けることで、サルの視覚受容野がモニタ内の手周辺に形成され、サルはモニタ上の手を見るだけで自在に手を動かせるようになる。私たちの実生活においても、車の運転中に先端が見えなくと

も車間距離がどことなく分かるといった、道具に身体感覚が拡張されたような体験をすることがある。このように、ボディ・スキーマ（自身が感じ取った身体的位置、および運動）は変形しやすく、柔軟性を持って変化する続けている。

本研究では操作の汎用性の高い環境を構築するため、ポインタの操作にかける身体動作は小さくしつつも、ポインタの可動範囲を大きく保つ必要がある。そこで仮想身体と自己身体の動きはベクトル方向を同じに保ちつつ、その仮想身体の移動量のみを拡大する。運動方向を揃えることで仮想身体と自己身体の関連付けを保ち、移動量を相似的に変形させることで、ボディ・スキーマの柔軟性による身体イメージの補間を狙った。

3.5 仮想身体の視覚刺激と自己身体の触覚刺激の同期

RHI は視覚刺激と触覚刺激の同期によって引き起こされる錯覚である。これらの刺激が整合することで、投射先の身体は本物であるという理由付けがなされ、投射はより強力になる。この環境においても、視覚的に何かが生じた際には、それに対応した触覚的刺激を与えることで、より強固な投射を生み出すことができると考える。

4. 実装

3にて述べた内容を元に、実際に環境を実装した。

4.1 操作姿勢

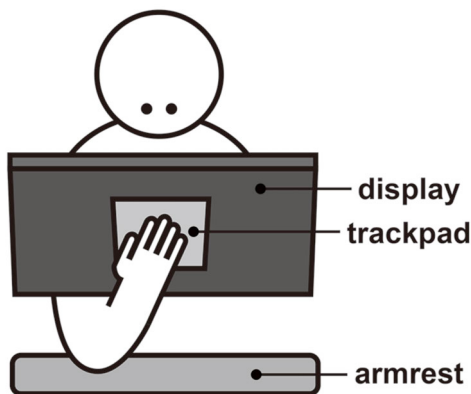


図 4 操作環境

ポインタの制御はディスプレイ（SAMSUNG/ME32B）の裏側に取り付けたトラックパッド（Apple/MagicTrackpad）に指先を添えて行う。（図4参照）ディスプレイの裏側で操作を行うことで、操作する手の「マスキング」とポインタとの「空間的相同性」の効果を狙った。操作姿勢は座位であり、ディスプレイを水平状態から約30度傾けることで、無理な姿勢による投射への影響を軽減している。

さらにディスプレイを設置した台の手前側に10cmの衝立を取り付けることで、操作者からポインタの根本と腕との継ぎ目が直接見えないよう配慮した。

4.2 座標系の扱い

ポインタはトラックパッドに添えられた指によって操作

される。ポインタの表示位置はトラックパッドの操作範囲の座標をディスプレイの表示範囲に拡大して割り当てた絶対座標系で計算される。（図5参照）そうすることで操作者の動作とポインタの動作とが同期した状態を保ちつつ、小さな運動のみで広大な範囲の操作範囲を手に入れることができる。（図6参照）

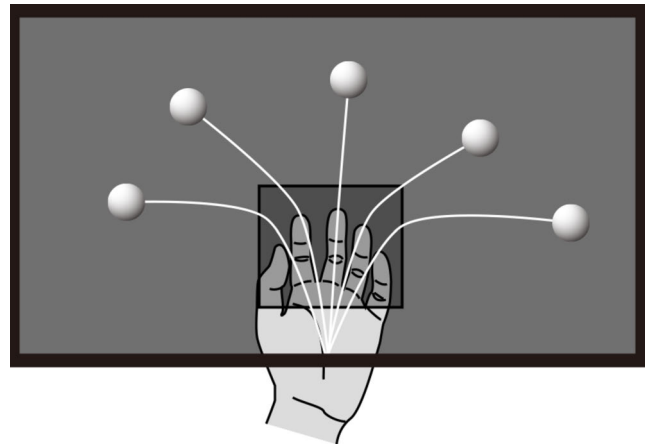


図 5 指とポインタ（球）との位置関係

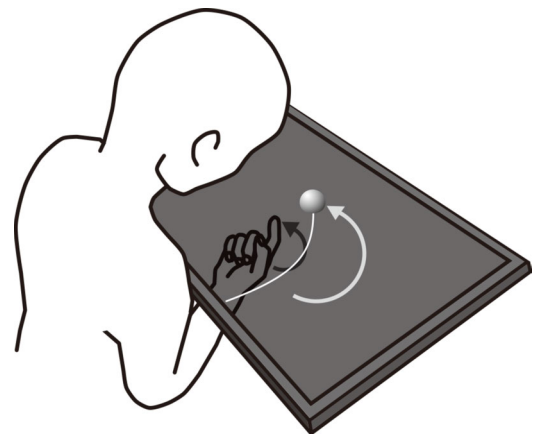


図 6 操作動作の拡大

4.3 ポインタの形態的表現

指に対応する位置には方向性を想起させない形態である球が映し出される。球は指がトラックパッドに接触した本数分ディスプレイに表示され、4.2で述べた位置に表示される。

また、自己身体の動作イメージを伝えるため、球1つに対し1本の曲線を表示した。曲線は

- ① ディスプレイ手前の際と腕の交わる位置座標（基点）
- ② 基点と指を結ぶ線を基点より任意の長さ伸ばした先の座標
- ③ 球の座標

の3点を通るベジェ曲線である。（図7参照）基点の位置については腕置きに内蔵された接触位置センサ（SoftPot/500mm）によって計測をしている。この曲線表現によって、腕の動きと指の位置から割り出された指の曲が

り具合を伝えることができる。

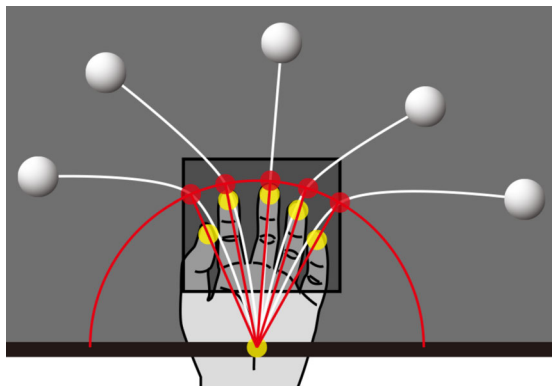


図 7 自己身体とポインタとの相関

4.4 ポインタの形態的表現

トラックパッドの反応範囲の境目に約 5mm の出っ張りを持たせることで、球がディスプレイの端に衝突した場合に、指に触覚的アクションが返ってくるようにした。



図 8 トラックパッドの設置

5. まとめ

本研究では身体実在感のある操作環境「デスクトップ・テレプレゼンス」へのアプローチとして、RHI などの身体類似物への身体没入を引き起こす事例を参考に「ラバーハンド・ポインタ」の開発をおこなった。このポインタは先行研究で多く取り組まれてきた形態的一致による身体イメージの想起ではなく、空間的な相同性に注目した身体イメージの想起を目指した。ポインタという高度に抽象化された形態に対して身体感覚を付与するデザインを検討するため、必然的に認知科学的視点においても意義のある環境の開発となった。

今後は構築した環境によって実際にポインタへの身体イメージの投射がどの程度起こっているのかを調べる必要がある。特に線による身体の補完表現があった場合と、球のみの場合のポインタへの身体の投射の強さの違いについて比較実験を行う。この計測は心理指標、皮膚抵抗、身体イメージのドリフト量、また Hari らの研究[9]によって報告さ

れた光点によるものなど、様々な計測法がある。現在どの計測法が有効であるか検討中である。

また、ポインタに付加した曲線の描画は 2 次元座標で行い、白単色で描画しているのにもかかわらず、あたかも立体であるかのように感じられた。これはトラックパッドを操作する指の曲がった関節の体性感覚が、ポインタの形状認識に影響を及ぼしている可能性がある。この件についても今後実験を通して調べる必要がある。

細部については、ポインタ座標の拡大倍率の原点を左右するトラックパッドの取り付け位置、身体イメージを想起しやすいポインタ座標の拡大倍率について早急に対応する必要がある。これらの検討を重ね、より身体拡張感覚高いポインタを目指す。

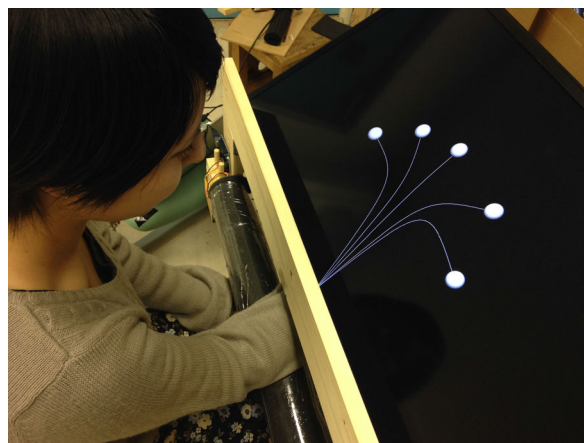


図 9 実際の様子(ポインタの拡大倍率を半分にしたもの)

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 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.189-192 (2013)
- 2) Mel Slater, Daniel Perez-Marcos et al.: Inducing Illusory Ownership of a Virtual Body; Front Neurosci, 3(2), pp. 214-220 (2009)
- 3) M.Botvinick, J.Cohen: Rubber Hands 'feel' touch that eyes see; Nature, 391, 756 (1998)
- 4) K.Carrie, V.S.Ramachandran: Projecting sensations to external objects: evidence from skin conductance response; The Royal Society, vol. 270 no. 1523, pp. 1499-1506 (2003)
- 5) Mel Slater, Daniel Prez-Marcos et al.; Towards a digital body: the virtual arm illusion; Front. Hum. Neurosci, doi:10.3389, neuro. 09. 006. 2008 (2008)
- 6) H. Henrik Ehrsson: The experimental induction of out-of-body; Science, vol. 317 no. 5841, p. 1048 (2007)
- 7) 森 政弘:不気味の谷; Energy, 7(4), pp. 33-35. (1970)
- 8) 入来 篤史:道具を使うサル;医学書院(2003)
- 9) Hari, R., & Jousmaki, V.: Preference of personal to extrapersonal space in visuomotor task. ; Journal of Cognitive Neuroscience, 8, 3, pp. 305-307. (1996)