

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：23903

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25540090

研究課題名(和文)テレプレゼンスにおける身体イメージのプロジェクションに関する研究

研究課題名(英文)Body Image Projection in Telepresence Environment

研究代表者

小鷹 研理(Kodaka, Kenri)

名古屋市立大学・芸術工学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40460050

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文): 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。

研究成果の概要(英文): To build a strong reality for variety kinds of events happening in PC's desktop environment, it is important to give a feeling as if an user's body-part is literally present in 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 found an important guideline concerning how to design the shape of pointer in such a system.

研究分野: ヒューマン・コンピュータ・インタフェース 認知科学

キーワード: 身体イメージ 身体変形感

1. 研究開始当初の背景

近年、通信環境の整備により、遠隔地のロボットに搭載された映像を介して遠隔コミュニケーション(テレプレゼンス)を行うロボットが多く活躍している(e.x. Texai, QB)。こうしたシステムで操作者側に与えられる映像には、ロボット自身の姿は通常映されていない。そのため、遠隔地の人間は、ロボットの動きや映像から操作者の身体的実在感を共有できる一方、操作者の身体感覚が遠隔ロボットに同化することはない。こうした身体感覚の欠如は、記号的なアバターの投影されたCG空間でモラルの無い行動が散見されるのと同じように、遠隔空間内の振る舞いにおける社会性を喪失させてしまうおそれがある。

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が挙げられる。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ディスプレイ上に投影されているために、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。

近年、身体所有感を実際の身体ではない身体の類似物へと転移させる研究が多く取り組まれている。そうした研究の源流の1つに、RHI(Rubber Hand Illusion)という名で報告されている錯覚現象を挙げることができる。RHIを誘起する実験では、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。この錯覚の強度は、刺激を与えるタイミングの一致、刺激を与える場所の空間的一致、実際の手との形態的一致によって決定的に高められる。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やHMDを用いたバーチャルボディーに関する研究によれば、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。従って、このような身体認知の原理を、ディスプレイ空間において身体感覚を補償するための手法として

活用することは、今後の新しいヒューマンインタフェースにおける、魅力的な課題である。

2. 研究の目的

本研究では、操作者の身体動作イメージを、恣意的に生成された映像物(CGや抽象的な図形等の擬似身体表現)を媒介とし、遠隔ロボットに空間的に投射するという、全く新たな枠組みを提案する。こうした枠組みを実現するにあたって重要なことは、映像空間に投影されたものが、身体と似ても似つかない外観を持っていたとしても、ユーザとのインタラクションを通して、相互に身体的な関係性がとり結ばれることにある。

以上の観点より、RHIの際に我々の認知システムが発揮するその柔軟性に注目し、従来のポインタのように、操作範囲を限定しつつも、ディスプレイ空間全域において身体イメージを投射することが可能な、全く新しいタイプのポインタを開発する。本研究では、このようなコンセプトを持つポインタを、RHIにおけるゴムの手と同様の役割をポインタに期待することから、「ラバーハンド・ポインタ」(RHP: Rubber Hand Pointer)と呼び、ディスプレイ空間における身体性の不在を補償する試みを行う。なお、当初、RHPを、ディスプレイ中において表示された現実空間と組み合わせることで、テレプレゼンスの場面における応用を検討していたが、その前段階における「ラバーハンド・ポインタ」の設計そのものに、種々の興味深い課題が見られたため、本研究期間では、主に、感覚間の同期のタイプに注目したラバーハンド・ポインタの有用性について検証を行った。

3. 研究の方法

(1)視覚-運動感覚の同期を錯覚の誘発因子とするRubber Hand Pointerの設計と検証実験を行った。RHIの誘発原理に基づき、(a)身体のマスキング(b)投射先との距離(c)空間的相同性(図1)に注目して設計を行った。具体的には、自分自身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身体のマスキングを行うとともに

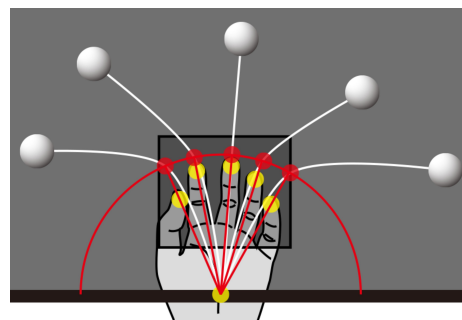


図1 空間的相同性の実装

に(a), 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ト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(ポイント)の位置とを誤認しやすい状態にし(b), さらに, 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(c). 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トを連続的に繋げる線の補間表現を行った.

(2)(1)で実装した視覚-運動感覚に加えて, 視覚-触覚の感覚同期の要素を含む新たな Rubber Hand Pointer の設計と評価を行った. 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, 操作ポイント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, 先の提案ポイント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トを制作した. 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. ポインタの中心はこの2点間の中点であり, 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. 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. また, 効率的に爪全体に振動を伝えるため, 振動モ

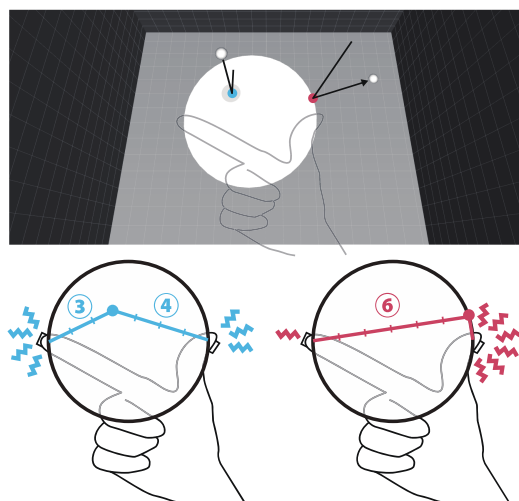


図2 視覚-触覚間同期の実装

ータとグローブの間には軟質ウレタン樹脂を挟んだ. 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ト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2). 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ト全体に, 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, 操作ポイント全体に触覚があるかのような, 面としての触感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.

4. 研究成果

(1) Hari らの研究により, 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有意に高くなることが分かっている. これを指標とし, 異なる線の補間パターンを与えた5種類のポイント表現(図2)を用いて, ポインタを一定時間動かした後に, 薬指を除く4本の中からランダムに選ばれた指に対応するポイント上での光点を呈示し, 光点の定時後, 対応する指をトラックパッドから離すまでの反応時間 (Reaction Time: RT) と誤答率 (Error) を記録した. 2要因分散分析 (補間表現・指の違い) の結果, RT・誤答率ともに, $p < 0.01$ という高い水準で有意差が得られた. また, 指の違いに関しては, 誤答率に対してのみ $p < 0.05$ の水準で有意な差が検出された. 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

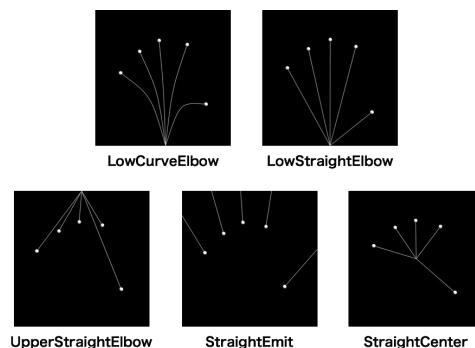


図3 Rubber Hand Pointer の5種の線パターン

は大きく異なる表現であるが、StraightEmitの成績は反応時間・誤答率ともに、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。一方で、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。

(2) 実装したシステムによって得られる身体変形感を検証するため、被験者実験を行った。二本の指と連動して作動するアイコンの形状は、Size(Actual / Large - 1.5倍)、Position(Overhead / Distant - 斜めに20cmほどずらしたもの)の2因子によって規定される(図4)。被験者は、画面上を円状に跳ねる球を円形アイコンで2.5分間追従するように指示される。この際、円形アイコンに着地する際に、対応する重みで被験者の指に振動が付与される。このタスクの後、身体所有感(ボールが自分の手に当たったように感じた)・身体変形感(「右手が大きくなったと感じた」「白い円は自分のからだの一部だと感じた」)を含む5つの項目について、0(全くそう思わない) - 6(非常にそう思う)

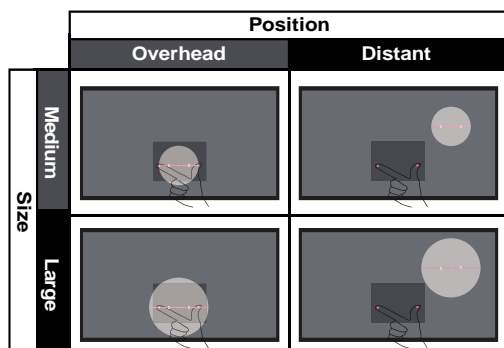


図4 実験要因のデザイン

の7段階で評価を行った。実験の結果、Size要因について見ると身体変形感の項目について $p < 0.05$ で有意な差が得られ、大きなアイコンが提示される Large 条件下では、Actual 条件よりも右手の身体イメージが大きくなっている傾向が現れた。これは右手の身体所有感がアイコンに移ったために、アイコンが大きく提示された際には右手も大きくなったと感じていることを示している。よって意識レベルで見て、本環境下における身体所有感の誘起が、実身体以上のサイズ感を持つアイコンに対しても柔軟に起こることが示唆された。Position 要因については、アンケート項目「白い円の裏に自分の右手があると感じた」で $p < 0.01$ の有意な差が見られ、Distant 条件時にはアイコン裏に右手が無いと感じる、事実在即した効果が得られた。これは Overhead 条件から Distant 条件への変化において被験者が実身体とアイコンとの空間的関係性を正確に把握していることを意味する。一方で、身体所有感に関する設問に関しては、距離が離れる事によるスコアの低下は見られず、比較的高い水準(3以上)を保持している。以上はディスプレイ空間上のアイコンに対し、主観的に身体所有感を付与するうえで、距離的な要因の重要性がそれほど高くないことを示唆している。

(まとめ) 両者の実験結果は、本研究で実装したそれぞれのシステムが、実際の身体外観との視覚的な差異(実験1)や空間的距離の変化(実験2)を吸収し、高いレベルで身体所有間の投射が可能であることを示すものである。すなわち、本システムの設計における根幹である、種々の感覚間同期・マスキング・空間的相同性が、ポイント呈示における空間的逸脱を補償し、さらに、多様な線的パリエーションを許容したものと解釈することができる。

最後に、本報告書では詳しく触れないが、本研究では、Rubber Hand Pointerにおいて、より強い身体所有間の投射を生む(=身体イメージの流動性が高じる)姿勢条件を検討するために、左右の手に関する種々の姿勢条件において、主観的な身体イメージの移動量を計測する実験を並行して行った(Self-touch Illusion)。実験の結果、位置感覚の不定性が高まる条件において、身体イメージの流動性が特に高まることがわかった。とりわけ、流動性の増加は、両手を交差する条件において最大化した。これらの知見は、今後のRubber Hand Pointerの設計において非常に示唆的なものである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

1. Kenri Kodaka and Yuki Ishihara, "Crossed hands strengthen and diversify proprioceptive drift in the self-touch illusion", *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 422. doi:10.3389/fnhum.2014.00422

[学会発表](計10件)

(2013年度)

1. 小鷹研理, 石原由貴, 接地パターンが somatic rubber hand illusion に与える影響, 第11回日本認知心理学会, 2013.6.30, つくば
2. Kenri Kodaka, Yuki Ishihara, "Spatial attraction with causality perception based on semi-intentional action through synchronized taping between two persons", *Association for the Scientific Study of Consciousness* 17, 7.14, Sandiego
3. Kenri Kodaka, Yuki Ishihara, "Proprioceptive Drift in Self-Touch Illusion is Bilaterally Asymmetrical regardless of whether Hands are Active or Resting on Surface", 9th International Conference on Cognitive Science, 8.29, Kuching, Sarawak
4. 石原由貴, 小鷹研理, "身体没入感を高めるデスクトップ操作環境の構築に向けた研究", ヒューマンインタフェースシンポジウム 2013, 9.11, 西早稲田
5. 石原由貴, 小鷹研理, "デスクトップ・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・ポイントの開発", 第18回一般社団法人情報処理学会シンポジウム・インタラクシオン 2014, 2.28, 日本科学未来館
6. 小鷹研理, 石原由貴 "仮想的な身体イメージの獲得を「学習」するための装置 -ラバーハンドを介してもう一方の手に触れる方法", 第18回一般社団法人情報処理学会シンポジウム・インタラクシオン 2014, 2.28, 日本科学未来館

(2014年度)

7. 小鷹研理, 石原由貴, 手の交差が自己接触錯覚誘起中のドリフトパターンに及ぼす効果, 第12回日本認知心理学会,

2014.6.29, 仙台

8. Kenri Kodaka, Yuki Ishihara, "Dominance of the administrating hand in proprioceptive drifts of self-touch illusion is not applicable when hands are crossed", *Association for the Scientific Study of Consciousness* 18, 7.18, Brisbane
9. 石原由貴, 小鷹研理, "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", 第19回一般社団法人情報処理学会シンポジウム・インタラクシオン 2015, 3.5, 東京国際交流館
10. 小鷹研理, 石原由貴, 森光洋 "自己接触錯覚の原理を用いた指が伸縮する感覚を誘起する装置の考案", 第19回一般社団法人情報処理学会シンポジウム・インタラクシオン 2015, 3.7, 東京国際交流館

6. 研究組織

(1)研究代表者

小鷹 研理 (KENRI KODAKA)

名古屋市立大学芸術工学研究科・准教授

研究者番号: 40460050