

ダミーカーソル実験におけるカーソルの遅延が自身のカーソル特定に与える影響

安中勇貴^{†1} 山岸丈留^{†1} 相澤裕貴^{†2} 渡邊恵太^{†1}

概要：マウスを用いて、画面内のカーソルを遠隔で操作するときにそれを「自身のカーソルである」ということを認識している。自身の操作と対象物の動きの同期によるものであると考えられている。そこに遅延が生じると同期が損なわれ、「自身のカーソルである」という感覚が損なわれると考えた。そこで本研究ではマウスの動きと画面の表示に遅延を与えた状況でダミーカーソル実験を行い、遅延がカーソルの探索に与える影響について調べる。

1. はじめに

渡邊らは、GUI上のカーソルを「自身の」と感じる要因を調べるためにダミーカーソル実験（図1）を行なった[1]。ダミーカーソル実験では、ディスプレイ上に色形が同じでそれぞれ動きが異なる複数のダミーカーソルを表示し、参加者は動きの情報から自身のカーソルを探索する。この実験の結果、色形が同じカーソルが複数あっても、自分が動かすマウスと動きが一致すれば、自身のカーソルを特定できることを明らかにした。渡邊らはマウスと同じ動きをすることがカーソルである感覚を生起すると考察した。

ダミーカーソル実験の結果は、GUI上のカーソルにもGhallagerの身体所有感 [2]の点でも説明できる。身体所有感とは「自分の一部である」という感覚であり、自身の身体と動きが同期している物体に身体所有感を感じることがわかっている。神保らの受動操作によるダミーカーソル実験[3]でも、それを裏付ける結果が得られている。さらに、動きの同期による身体所有感は、遅延によって減衰することがわかっている。嶋田らは、自身の手と同じ動きをする偽物の手を使った実験[4]で、実際の手より偽物の手が遅れて動くと身体所有感が減少し、200ms以上の遅延で完全に身体所有感を感じなくなることを明らかにした。我々は嶋田らと同じ現象がGUI上のカーソルにも起こり、ダミーカーソル実験においてカーソルの遅延が自身のカーソル特定に影響すると考えた。

そこで本研究では、カーソルの動きを遅延させたダミーカーソル実験「遅延ダミーカーソル実験」を設計した。遅延ダミーカーソル実験によって、カーソルの遅延が自身のカーソル特定への影響を調べる。本稿では、遅延ダミーカーソル実験の実験環境について説明し、その実験から得られた結果を報告する。また、本研究の知見からインタラクティブシステムへの応用について議論する。



図1 ダミーカーソル実験

2. 遅延ダミーカーソル実験

遅延ダミーカーソル実験環境とは、マウスのXY動きの入力に対して、カーソルの動きに遅延を与えたダミーカーソル実験である。本研究ではカーソルの動きの遅延が複数のカーソルの中から自身のカーソルの特定に与える影響について調査した。

2.1 実験環境

実験機材を図2に示す。実験では、ディスプレイ、EIZO EV2336W-Z、23.8インチ、解像度 1920 × 1080、リフレッシュレート 60Hzを使用する。使用するパソコンのOS、Windows10、マウスはRival 650 Wirelessを使用した。また、押しボタンとしてRI-FP1Bkを使用した。

また実験環境は図3のとおりである。

実験アプリケーションは小川らのダミーカーソル実験プラットフォーム[5]を使用する。また、ダミーカーソルのアルゴリズムは相澤らの回転角アルゴリズム[6]を用いた。

なお今回の実験における遅延は、通常時にマウスを使用したときにディスプレイに反映される時間を0msとして扱う。

本実験に使用する遅延秒数以外のパラメータは以下の

^{†1} 明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科

^{†2} 明治大学大学院 先端数理科学研究科 先端メディアサイエンス専攻

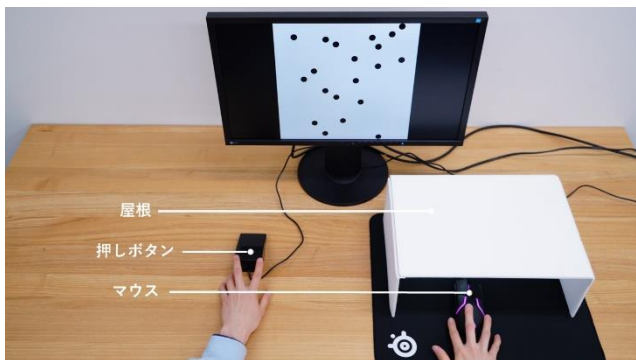


図2 実験機材



図3 実験環境



図4 実験手順

とおりである。

- ・ カーソルサイズ：50px
- ・ カーソル数：20個
- ・ ウィンドウサイズ：1080px × 1080px
- ・ セッション回数：10回
- ・ カーソル速度：1倍
- ・ タイムアウト時間：30秒

参加者の目とディスプレイの間隔は60cmとする。

2.2 実験手順

1セッション数ごとのタスクを図4と以下に示す。

- 1) ディスプレイに表示されるカウントダウンが終了すると実験がスタートする。
- 2) 画面に複数のカーソルを表示し、参加者はただ1つだけ

ある自身のカーソルを探索する。自身のカーソルだと思うカーソルを特定したら押しボタンを押す。

- 3) 押しボタンを押すと全てのカーソルは停止し、各カーソル上にそれぞれ番号が表示される。参加者は自身のカーソルだと思うカーソルの番号を実験者に伝え、実験者は正誤を記録した。選択したカーソルが自身のカーソルであった場合を「特定成功」、ダミーカーソルであった場合を「特定失敗」とした。

実験参加者はカーソルの遅延秒数0ms, 100ms, 200ms, 300ms, 400msの5パターンを各10試行、合計50試行(5×10)を行った。本実験では参加者の集中力を維持するために30秒の制限を設け、制限時間を過ぎると次のセットに移行する。タイムオーバーの時の探索時間は30秒と

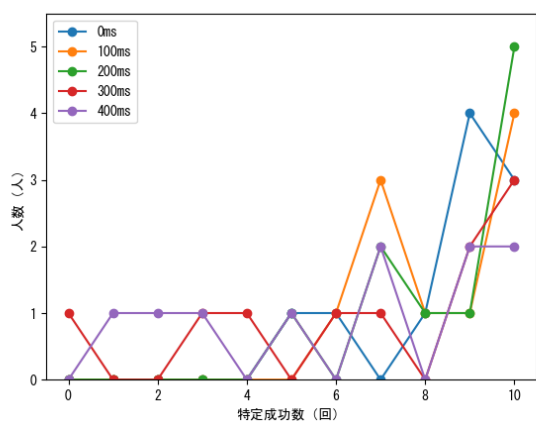


図5 特定成功数のヒストグラム

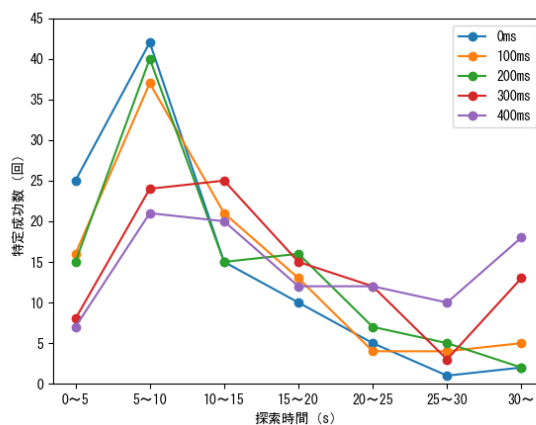


図6 探索時間のヒストグラム

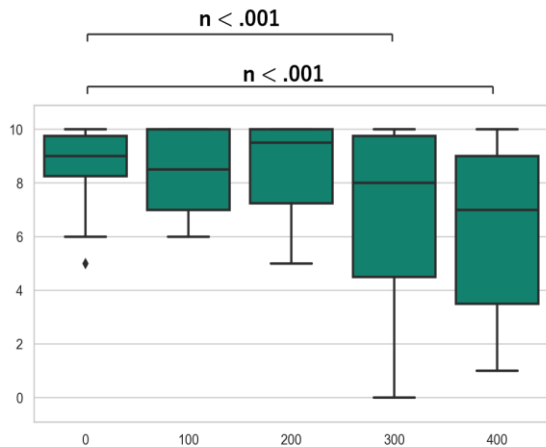


図7 特定成功数の箱ひげ図

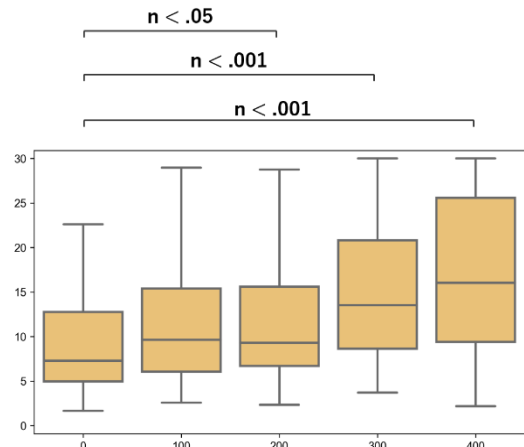


図8 探索時間の箱ひげ図

して換算し、特定失敗として扱った。

自身のカーソルの探索において定期的にマウスを止めることで、マウスの動きを確認してから画面を見ることができ、遅延秒数に関わらず特定できる。そのため参加者にはマウスを動かすよう指示した。また、マウスを直線的に動かす続けるとカーソルは同じ動きをし続ける。そのため遅延秒数に関わらず自身のカーソルを特定できるため、参加者にはマウスを動かす際に数字の0から9を順番に書くように動かすよう指示をした。また各試行のはじめには発見した段階で書いていた数字の次の数字から書き始めるように指示をした。

2.3 参加者

実験参加者は19～23歳の10名（男性9名、女性1名）で大学生及び大学院生であった。全ての参加者は正常な視力あるいは矯正視力を持っていた。

2.4 結果

遅延条件ごとの探索時間と特定成功数を統計的検定で評価した。図5に特定成功数のヒストグラム、図6に探索時間のヒストグラムを示す。どちらも正規分布を仮定できないため、ノンパラメトリックなFriedman検定による評価とSteel-Dwass検定による多重比較を行なった。

まずは特定成功数の結果を述べる。Friedman検定においてどの条件間にも有意差がなかった ($p > .05$) が、Steel-Dwass検定による多重比較において0msと300msの間と、0msと400msの間に有意差があった。図7の箱ひげ図に遅延条件ごとの特定成功数と、有意差を示した。図7から遅延が200ms以下の場合には特定成功数に差がないのに対して、300ms以上になると特定成功数が下がっていることがわかる。

次に探索時間の結果を述べる。こちらもFriedman検定において有意差がなかった ($p > .05$) が、Steel-Dwass検定による多重比較において0msと200msの間 ($p < .05$)、0msと300msの間 ($p < .001$)、0msと400msの間 ($p < .001$) に有意差があった。図8の箱ひげ図に遅延条件ご

との探索時間と、有意差を示した。図8から200ms以上になると、遅延なし(0ms)より探索時間が長くなっていくのがわかる。

2.5 考察

遅延なし(0ms)と遅延ありの結果から、カーソルの遅延が自身のカーソル特定に与える影響を考察する。図7と図8から、特定成功数と探索時間の両方において0ms - 300ms間、0ms - 400ms間に有意差があり、300msと400msは共に0msより特定成功数が低く、探索時間が長かった。さらに0ms - 200ms間には特定成功数の有意差がなかったが、探索時間の有意差があり、200msの方が探索時間が長かった。このことから遅延が大きいと自身のカーソルが特定しづらくなるを考える。

また0ms - 200ms間より、0ms - 300ms間と0ms - 400ms間の方が有意差が大きい。これはカーソルの遅延が大きくなるにつれて自身のカーソルが特定しづらくなるからだと考えている。

0ms - 100msの間には有意差がなかった。一方で、探索時間において100msの方が中央値が大きく、分布が広い。このことから明確な差はなかったが100msの遅延も自身のカーソル特定に影響している可能性がある。

3. 議論

3.1 遅延とGUI上の身体所有感

遅延ダミーカーソル実験の結果から遅延があると自身のカーソルが特定しづらくなるのがわかった。また、遅延が無いときと明確に差が出るのは200msの時だった。先行研究では200msを境として身体所有感が徐々に減少することがわかっており、今回の実験の結果と一致する。このことから自身のカーソルが特定しづらくなったのは身体所有感が減少したからであると考えられる。

また身体所有感が減少したのは遅延によって、遅延が大きくなると画面上のカーソルの動きがより過去のものとなり、現在の手の動きと乖離が大きくなるからだと考える。

3.2 マウスの動かし方が自身のカーソルの特定に与える影響

今回は参加者に数字の0から9を順番に書くように動かすよう指示をした。これは予備実験においてマウスの動かし方を工夫すると、遅延秒数にかかわらず自身のカーソルを特定できることがわかったからである。たとえばずっと右に直線的に動かすと、遅延の影響なく自身のカーソルを特定できる。このとき参加者は「自身の」と感じるカーソル探索タスクから、継続的に同じ動きをするカーソル探索タスクとなり、実験の目的や性質が変わってしまう。これはGUI上のカーソルに「自身の」と感じる要因を調べるというダミーカーソル実験の趣旨に反する。

予備実験後に我々はカーソルの動かし方をどう制限するか試行錯誤した。最初は直線を動かさないように伝えた。その結果、参加者が動かし方に戸惑ってしまったり、操作方法に気を取られて自身のカーソルを特定できなくなったりした。次に、既存の文字や記号を描く動かし方に方針を変えた。最初はアルファベット小文字のブロック体で試したが、アルファベットの順番を忘れてしまう、アルファベットを書くことに集中してしまい実験が正常に行えないという問題があった。次に普段から使われている英数字を描く方法に変えたところ、アルファベットを使ったときの問題を解決できたため、今回は英数字を描く動かし方を採用した。

しかし、英数字を使ったことによる実験への影響がある可能性が考えられる。実験後のインタビューにおいて、「マウスで数字や文字を書くことが難しかった」、「数字を書くことに意識を取られてしまう場面があった」という意見があった。このことから、マウスの動かし方について複雑な指示を出すと、参加者がマウスを動かすことに気を取られ、正常なデータが取れない可能性がある。これらは事前に参加者が動かし方を練習することで解決できると考えている。一方で、そもそもマウスの動かし方を制限すると、マウスの動かし方と自身のカーソル特定との関係が分析できない可能性がある。この解決方法として、普段のマウスの動かし方を分析して、それに基づいた動かし方のパターンを考案し、それを描くように指示する方法を考えている。

3.3 インタラクティブシステムへの応用

視覚情報から擬似触覚を生み出す Pseudo-haptics という現象がある。カーソルを用いた Pseudo-haptics 研究では、カーソルの遅延が使われている [7]。たとえば VisualHaptics では、カーソルの遅延を用いて風や液体の抵抗感を表現している [8]。これらの設計は、設計者の感覚に委ねられている場合が多い。

今回の実験結果は、定量的な Pseudo-haptics の設計に役立つと考えている。たとえばカーソル遅延を 300ms 以上にすると、身体所有感がなくなり Pseudo-haptics を感じな

くなる可能性がある。そのため、カーソル遅延を用いた Pseudo-haptics 設計では、300ms 以内の遅延にした方がいいと考えられる。今後はカーソル遅延によるカーソルへの印象を調べ、その結果と遅延ダミーカーソル実験の結果を照らし合わせることで、Pseudo-haptics にどう応用できるのか調べる。

4. おわりに

本研究ではカーソルの動きを遅延させた状況下でダミーカーソル実験を行い、遅延が自身のカーソルの特定に与える影響について調べた。その結果、遅延が自身のカーソルの特定に影響を与えることがわかった。

参考文献

- [1] 渡邊恵太, 樋口文人, 稲見昌彦, 五十嵐健夫. 複数ダミーカーソル中における自分自身のカーソル特定. 情報処理学会インタラクティブ論文誌, 25-31, 2013.
- [2] Gallagher, Shaun. "Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science." Trends in cognitive sciences 4.1 (2000): 14-21.
- [3] 神保一馬, 相澤裕貴, 佐藤大輔, 渡邊恵太. ダミーカーソル実験における受動的な探索でのカーソル特定. 第192回ヒューマンコンピュータインタラクティブ研究発表会, 2021
- [4] 嶋田総太郎, ロボットハンド錯覚における自己身体のプロジェクション, 2017年度人工知能学会全国大会, 31, 2017
- [5] 小川恭典, 相澤裕貴, 渡邊恵太. 実験者フレンドリーなダミーカーソル実験プラットフォームの開発, インタラクティブ 2021, "DummyCursorPlatform" <https://github.com/keitalab/DummyCursorPlatform> (参照 2021,12,19)
- [6] 相澤裕貴, 渡邊恵太. ダミーカーソルアルゴリズムがもたらす自身のカーソル発見への影響調査. 第184回ヒューマンコンピュータインタラクティブ研究発表会, 2019
- [7] 渡邊淳司, Haptic Designにおける Pseudo-haptics 技術の役割および表現分野での事例紹介, システム/制御/情報, 2017年 61巻 11号 p. 459-462
- [8] Keita Watanabe, Michiaki Yasumura. VisualHaptics: Generating Haptic Sensation Using Only Visual Cues, Ace2008, Proceedings of the International Conference on ACE 2008, pp405, 2008