



入力装置を直接的に駆動する能動的操作支援システムが 自己主体感に与える影響

Effect to Sense of Self-Agency for Active Operation Assist System Driving Input Device Directly

片岡俊樹¹⁾, 舟橋健司²⁾, 谷田公二³⁾

1) 名古屋工業大学 (〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町, katao@center.nitech.ac.jp)

2) 名古屋工業大学 (〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町, kenji@nitech.ac.jp)

3) 近畿大学 (〒 577-8502 東大阪市小若江 3-4-1, tanida@mech.kindai.ac.jp)

概要: 自己主体感(行為の起源は自身であるという感覚)は心理学の分野で提唱された概念であり, インタフェース開発においても自己主体感を考慮することは重要である. 一方で自動車の運転における車線逸脱防止支援のような操作支援システムも提案されている. 本研究では操作支援のあるインタフェースにおいて自己主体感がどのように影響されるか調査する. また合わせて安心感についても調査することで, 主体感と安心感の関係についても考察する.

キーワード: インタフェース, 操作支援, 自己主体感, 安心感

1. はじめに

心理学の分野では人間の知覚に関して様々な研究がなされており, 運動に関する感覚について Gallagher は最も基本的な自己感の一つとして自己主体感 (sense of self-agency) を挙げている [1]. 自己主体感とは行為の起源は自身であるという感覚で, 統合失調症に特有の作為体験, すなわち自身の考えや行動が他人に操られていると感じる体験に関わるといわれており注目されている. ところで, インタフェースの分野においても人間の知覚を考慮することは重要であると考えられる. いわゆるユーザビリティは多角的な要素により評価されるが, インタフェースにおける自己主体感の高さはユーザの満足度に関係すると考えられる. そのため近年では工学の分野においても自己主体感が注目されている [2].

インタフェースの性能が原因で行為(入力)と効果(出力)の間にノイズや遅延が生じてしまうことがある. そこでまず我々は操作におけるノイズや遅延に着目し, それらが自己主体感に与える影響を調査した [3][4]. 一方で近年は自動車の運転における車線逸脱防止支援のような操作支援システムも提案されている. ここでは操作支援システムをその性質から以下のように分類する.

1. 受動的操作支援: 人が操作したうえでそれを受けてその操作を支援する.
2. 操作時判断支援: システムが判断し, 人に通知することで人の最終的な判断と必要な操作を促す.
3. 能動的操作支援: 人の操作の有無に関わらずシステム

が判断し, 能動的に操作する.

自動車の機能を例に挙げると, パワーステアリングが受動的な操作支援, 車線逸脱警報が操作時判断支援, 積極的に車線維持を行うタイプのレーンキープアシストが能動的な操作支援にそれぞれ該当する. 本研究では自己主体感に大きく影響を与えると考えられる能動的な操作支援を対象として, 支援の強さの変化が自己主体感に与える影響を調査する. また操作支援が望まれる状況にするために入出力間に意図的にノイズや遅延を加えることで, 支援が自己主体感に与える影響を検証したい. ところで道具や機械の操作にはリスクを伴うものがあるため, 操作時の安心感 (sense of security) もインタフェースを評価するうえで重要な要素であると考えられる. そのため自己主体感に加えて安心感についても調査することで, 操作支援や自己主体感との関係を考察する.

2. 実験

実験の被験者に, 提示される目標信号の動きに一致するように操作対象を操作してもらう, という実験を行う. 操作対象はノイズ, 遅延の影響を受け, 操作入力とは完全には一致しない. 能動的な操作支援機能による様々な強さの支援に対して, 被験者に操作時の自己主体感と安心感について主観評価してもらう. 支援の方法や強さについては後述する. 被験者は大学生および大学院生の 20 名である. なお, 全ての被験者から実験参加について同意が得られている.

2.1 実験システム

被験者は三次元力覚入出力デバイス Phantom を操作する(図 1). Phantom はペンを持つように操作することで, その三次元座標やペンの角度を得ることができる. またフォース

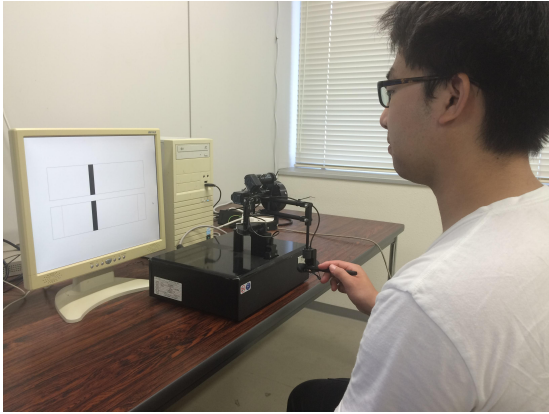


図 1: 実験の様子

フィードバック機能によりペンに任意の力を加えることができる。実験はペンを左右方向に動かす操作で行う。このときペンは前後方向、上下方向に動かないように拘束してある。

図 2 のような線形ゲージを画面に提示する。被験者は Phantom を用いた左右方向操作により、出力信号を操作する。出力信号は -1 から 1 までの範囲で変動するものとし、操作対象を表すバーは 0.1 の幅で表示している。出力信号は入力に対して遅延とノイズの影響を受ける。目標信号は、ノイズと遅延の影響を受けていない場合に出力信号を容易に一致させることができる程度に、 -0.8 から 0.8 までの範囲でゆっくりと滑らかに、かつランダムに移動する。出力信号が目標信号から大きく離れる、もしくは左右の赤線（出力信号の値が -0.8 と 0.8 の位置）より外側に位置している場合、電子音を出力するとともにバーを赤色で表示する。これはリスクを伴う操作を想定している。

2.1.1 ノイズと遅延

支援が望まれる状況にするために、ノイズと遅延のある状況で実験を行う。ノイズにはパーリンノイズを用いる [5]。パーリンノイズとは、ある間隔で配置された制御点ごとに適当に生成した勾配にしたがって各制御点間を補間することで得られるノイズである。出力信号に加えるノイズの大きさは式 (1) で定義する相互相関係数 C により表現する。

$$C = \max_{\tau} \frac{\sum_{t=1}^T \{X(t)Y(t+\tau)\}}{\|X(t)\| \|Y(t)\|} \quad (1)$$

ここで X と Y が相互相関係数を求める 2 つの信号であり（すなわち入力信号と出力信号）、 τ は 2 信号間の時間差を表

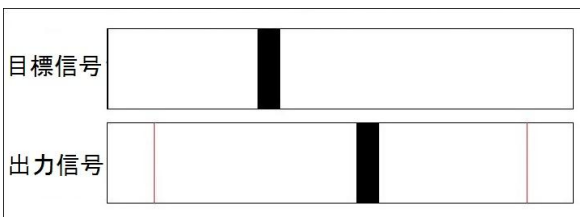


図 2: 提示する線形ゲージ

す。パーリンノイズの各パラメータを経験的に決定することでノイズを設定する。

本実験で用いる相互相関係数と遅延時間（秒）の組み合わせは次のように決定する。過去の実験 [3] においてノイズと遅延がともに最小の組み合わせ ($1.00, 0.0$) と比較して自己主体感の評価の平均値に有意差があり、かつ相互相関係数と遅延時間がそれぞれ $1.00, 0.0$ とは異なる組み合わせを抽出する。その中で、自己主体感の評価の平均値が最も高かった組み合わせ ($0.98, 0.2$) と最も低かった組み合わせ ($0.92, 0.6$) の 2 通りを採用する。

2.1.2 能動的操作支援

本研究では、積極的に車線維持を行うタイプのレーンキープアシストを参考に能動的操作支援機能を構築する。本来のレーンキープアシストは現在の速度や車両の向きから車線逸脱を予測し車両を滑らかに、かつ速やかに元の位置に戻すようにステアリング操作を支援する。本実験では簡単のため、時刻 t での目標信号と出力信号の距離 $D(t)$ に従って目標を達成するように操作を支援する。またシステムは目標を達成するために入力装置を直接的に駆動する。時刻 t での入力装置に加える力 $F(t)$ は式 (2) により求める。

$$F(t) = \alpha D(t) \quad (2)$$

ここで α は支援の強さを決定する定数である。

図 3 は、簡略化のために時刻 t における目標信号と出力信号の位置を一直線上に表している。目標信号が移動せずに、また人が操作を行わない場合を例に詳細を説明する。時刻 t_0 のとき目標信号と出力信号が距離 $D(t_0)$ だけ離れているとすると、時刻 t_0 で入力装置に加える力を $F(t_0) = \alpha D(t_0)$ とする。次に時刻 t_0 から微小時間進んだ時刻 t_1 では、その時刻における距離 $D(t_1)$ は、微小時間だけ $F(t_0)$ の力を加えたため、 $D(t_1) < D(t_0)$ である。このとき入力装置に加える力 $F(t_1)$ は $F(t_1) = \alpha D(t_1) < F(t_0)$ になる。このように入力装置に加わる力は微小時間ごとに逐次変化し、目標信号と出力信号との距離が近づくにつれその大きさは小さくなる。また力 $F(t)$ がある閾値以下になった場合には支援を行わない。実際には、実験開始時には目標と操作対象は一致しており、開始後に目標が離れるに従い支援の力が強くなる。

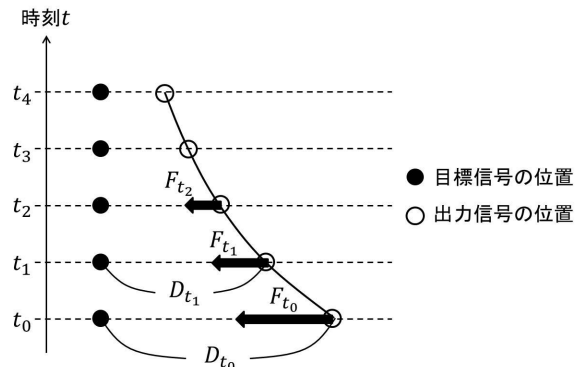


図 3: 操作支援の例

また α の値を変化させることで加える力を変化させ、位置補正にかかる時間と滑らかさを調節することができる。著者がほどよいと感じる支援の強さを経験的に決定し α_2 を設定する。さらにそれよりも大きい α_3, α_4 と、小さい α_1 , および $\alpha_0 = 0$ を設定することで、合計で 5 段階の支援の強さとした。

2.2 実験手続き

実験は静かな部屋で行う。被験者は、ディスプレイから 50cm 離れて座る。また、被験者には事前に以下の情報を伝える。

- 目標信号はランダムに動くのに対して、出力信号は Phantom の左右方向の操作入力で動く。
- 操作時には支援機能が能動的にペンに力を加える。
- 出力信号にはノイズが加わったり、遅延が発生したりする。
- 出力信号が目標信号から大きく離れる、もしくは赤線より外側に出てしまうと電子音が鳴る。
- 1 試行あたり 30 秒間操作し、その後 10 秒間でアンケートに回答する。

被験者が回答するのは操作感（自己主体感）と安心感の 2 項目であり、それぞれ 5 段階で主観評価する。自己主体感という言葉に馴染みがないことを考慮し、自分で操作ができていのかどうか操作感について回答するように指示する。本実験を行う前に、直前の試行との相対的な評価になるのを防ぐため、本実験で用いる 2 通りのノイズと遅延のある状況を操作支援がない状況で体験してもらい、これを基に回答してもらおう。ノイズと遅延の組み合わせは 2 通りであり、支援の強さは 5 通りであるため、全組み合わせは $2 \times 5 = 10$ 通りである。1 通りにつき 20 回試行したいため、合計 200 回試行する。試行は被験者全員にランダムに割り当てる。

3. 実験結果と考察

図 4 は実際の実験記録の一部である。なお以下では、操作支援の強さを決定する α が α_i のとき、支援の強さが i であると表現する。ノイズと遅延が小さい状況で支援の強さが 2 のときの目標信号と出力信号の位置とそのときの力の大きさを示している。目標信号の位置、出力信号の位置、および力の向きは右方向を正としている。目標の移動に追従するように操作していること、またそれらの差に応じて操作支援の力が加えられていることが確認できる。

操作の正確さ、すなわち目標信号に対する追従度合いを操作成績として表す。操作成績 P は、次の手順で求める。時刻 t における目標信号と出力信号の距離の絶対値 $|D(t)|$ の試行全体における平均値 $\overline{|D(t)|}$ を式 3 により算出する。

$$\overline{|D(t)|} = \frac{\sum_{t=0}^N |D(t)|}{N} \quad (3)$$

ここで N は合計フレーム数である。本実験はフレームレート 60fps で 30 秒間行うため、 $N = 60 \times 30 = 1800$ である。

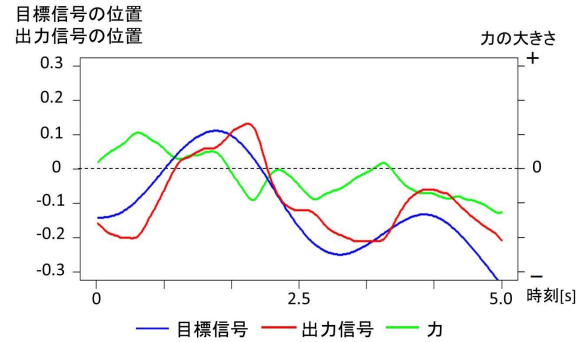


図 4: 実際の結果

$\overline{|D(t)|} = 0$ のとき $P = 100$, $\overline{|D(t)|} = 0.5$ (電子音が鳴る距離) のとき $P = 0$ となるように式 4 により正規化する。

$$P = -200 \times \overline{|D(t)|} + 100 \quad (4)$$

図 5, 6 はそれぞれ、ノイズと遅延が小さい状況と大きい状況での各支援の強さに対する自己主体感、安心感、操作成績の変化を示している。分散分析の結果、支援の強さの違いによって操作成績に有意な差はなかった ($F(4, 190) = 0.77 < 2.42, p > 0.1$)。操作成績は有意な差はなかったものの支援が強くなるにつれて増加する傾向であるともいえた。

自己主体感、安心感、操作成績はすべてノイズと遅延の大きさの違いにより有意な差があり ($p < 0.01$)、これはノイズと遅延に着目した過去の実験 [4] と同様の結果であった。

3.1 自己主体感

操作支援のない過去の実験 [4] では自己主体感と操作成績は強い相関関係にあったが、本実験では支援が強くなるにつれて操作成績が緩やかな増加傾向であるのに対して、自己主体感は概ね単調に減少するという結果が得られた。この結果は、強すぎる支援によって被験者が「出力信号を操作しているのは主に自分よりもシステムである」と感じたためであると考えられる。分散分析の結果、支援の強さによって自己主体感に有意な差が見られ ($F(4, 190) = 17.07 > 3.42, p < 0.01$)、下位検定を行ったところ、ノイズ・遅延が小さい状況での支援の強さ 3 と 4 の間に有意な差があった ($t(19) = 3.44, p < 0.05$)。この結果は、支援の強さの変化に対して自己主体感の強さが大きく変化する境界が存在するとも考えられる。またノイズ・遅延の大きさに関わらず支援の強さが 1 のときに自己主体感が最大になった。これは支援機能による入力装置の駆動を自分が行った操作であると誤認して自己主体感が高くなったと考えられる。操作成績が変わらずに自己主体感が高くなるのは操作者が慢心しているとも考えられるが、ほどよい操作支援が自己主体感を高め、結果としてインタフェースの性能を高めることができる可能性があるとも言える。

3.2 安心感

図 7 は、ノイズ・遅延が小さい場合と大きい場合の支援の強さの変化に対する安心感の変化を示したものである。操作支援のない過去の実験 [4] では安心感も操作成績と強い相関関係にあったが、本実験では支援が強くなるにつれ

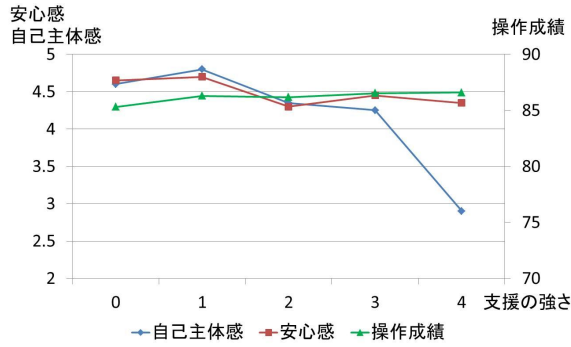


図 5: ノイズ・遅延が小さい場合の各値の変化

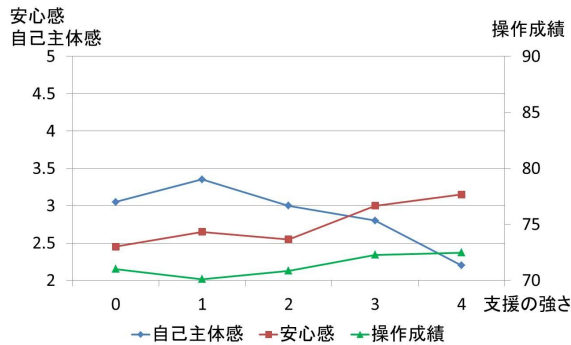


図 6: ノイズ・遅延が大きい場合の各値の変化

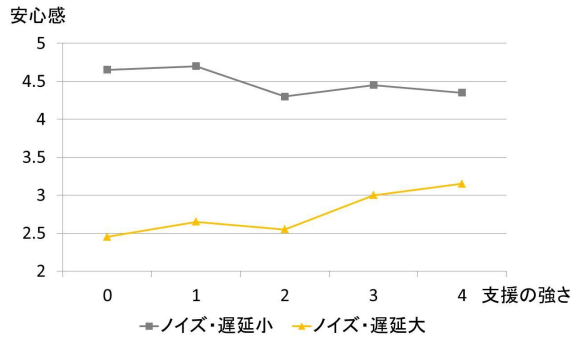


図 7: 安心感の変化

て操作成績が緩やかな増加傾向であるのに対して、安心感にはノイズと遅延が小さい場合には概ね単調減少の傾向があり、大きい場合には単調増加の傾向があった。分散分析の結果、安心感には支援の強さによる有意な差は見られなかった ($F(4, 190) = 1.26 < 3.42, p > 0.05$)。ノイズと遅延が大きい場合、自己主体感が単調減少しているのに対して安心感には単調増加している。強い支援によって自己主体感が減少したが、支援が強くなればなるほど容易に目標を達成できるため被験者は安心して操作できていたと考えられる。このことから操作支援機能はノイズや遅延など、操作に悪影響を及ぼす外因がある場合においては安心感の観点から見ると効果的であると言える。

4. むすび

本研究では、能動的操作支援の強さの変化が自己主体感と安心感に与える影響を調査した。被験者に、提示される目標信号に一致するように操作対象を操作してもらい、様々な強さの支援に対して、印象を主観評価してもらった。また入力間に意図的にノイズと遅延を加えることで、その大きさの違いによる、支援が自己主体感と安心感に与える影響の差を検証した。実験の結果は次の通りである。支援の強さがある強さを超えると急激に自己主体感が低下した。この結果は、支援の強さの変化に対して自己主体感の強さが大きく変化する境界が存在するとも考えられた。また弱い支援において操作成績が変わらないものの自己主体感が大きくなる場合があった。このことからほどよい操作支援が自己主体感を高め、結果としてインタフェースの性能を高めることができる可能性が示唆された。ノイズと遅延が大きい状況では支援が強くなるほど安心感が高くなった。このことから、操作支援機能はノイズや遅延など、操作に悪影響を及ぼす外因がある場合においては安心感の観点からみると効果的であると言えた。

今後は、自動車の運転のような具体的な操作を対象として能動的操作支援が自己主体感と安心感に与える影響を調査したい。また、音などの操作成績に影響を与えないと考えられる要素が加わることで、自己主体感や安心感がどのような影響を受けるのかも検証したい。

謝辞 研究を進めるにあたり、有益な議論を頂いた名古屋工業大学舟橋研究室諸氏に感謝する。

参考文献

- [1] S. Gallagher: Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science, Trends in Cognitive Science, Vol. 4, No. 1, pp. 14–21, 2000.
- [2] 蓑原 凜, 温 文, 濱崎 峻資, 前田 貴記, 加藤 元一郎, 山川 博司, 山下 淳, 浅間 一: スイッチ操作力の差異が運動主体感に与える影響の評価, 第 20 回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, pp. 139–144, 2015.
- [3] Toshiki Kataoka, Kenji Funahashi, Koji Tanida, Katsuya Yashiro: A study of sense of self-agency focused on cross-correlation and delay between action and effect in continuous operation, Proceedings of ICAT-EGVE, pp. 5–6, 2016.
- [4] Toshiki Kataoka, Kenji Funahashi, Koji Tanida, Katsuya Yashiro: A Study of Sense of Self-Agency Focused on Noise and Delay in Multiple Input Operation, Proceedings of IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics, 2017 (予定).
- [5] K. Perlin: Improving Noise, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2002, Vol. 21, No. 3, pp. 681–682, 2002.