



Multithreader

Multithreader

石川寛¹⁾, 篠原友理¹⁾, 四元菜月¹⁾, 氏家翔大¹⁾, 白川愛深¹⁾, 坪井優汰¹⁾, Enkhtaivan Dagiimaa¹⁾

1) 東京工業大学 科学技術創成研究院未来産業技術研究所長谷川晶一研究室 (〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259 R2-20 長谷川晶一研究室, info@haselab.net)

概要: 本企画では、複数のタスクを、「同時並行」に「意識動作」として処理する Multithread 処理を行う感覚を味わっていただく体験を提供する。システムでは、体験者自身が計算を行い、同時に外部制御装置が糸により体験者の指を操作すること、或いは指の下に設置されたボタンデバイスが隆起することで、両手のタップタスクが処理される。外部制御されたタップ動作に対し、体験者が予め抱いている「どの指でタップするか」という行動・知覚の予測と、外部制御装置が実際に動かす指、または動かした様なフィードバックを得る指(行動・知覚の結果)を一致させることで、comparator model に基づく運動主体感を発生させる。短期間でタスクを切り替えることにより、外部制御の存在を深く認識する暇を与えず、タスク一つ一つに生じた運動主体感を保存する。結果として体験者はあたかも自分が3つのタスクを同時並列に処理したと感ずることができる。

キーワード: 運動主体感(Sense of agency), 意識の分散, 視覚優位性, 指先外部制御

1. はじめに

※以下、複数タスクを、「同時並列」に「意識動作」として処理することを「Multithread 処理」と呼ぶ。

1.1 目的

計算機の Multithread による処理では、人間から見れば、同時並列に複数のタスクが行われている。一方、人間は「自分が意識的にこれを行った」と実感できるタスクは一度に1つである[1]。

しかし、もしあなたが Multithread 処理を行うことができるスーパーマン、すなわち「Multithreader」であったら、一体何をやるだろうか？

我々は、この Multithread 処理を行う感覚を味わっていただく体験を提供したい。(つまり、「あれ、今、複数のタスクに意識を配りながらかつそれらを実行したよね」と感じて欲しい。)

本企画では、「意識を向けての実行という観点において、見かけ上は Multithread 処理ではないが、体験者の実感として実質的に Multithread 処理を行える」いわば“Virtual Multithread System”を作成し、体験者に Multithread 処理を行う「Multithreader」となっていただく。

1.2 体験

本体験では、体験者に計算タスク、タップタスク(左手&聴覚)、両手のタップタスクの3つのタスクを同時に行う

ことを繰り返してもらおう。タップタスクは計算タスクと同時並列に行う。

1. 計算タスク(視覚)

体験者は、表示される整数に指定した数(7を想定)を足した数字を口頭で即答する。

2. タップタスク(左手)

体験者は、聴覚情報の指示に従いボタンをタップする。

3. タップタスク(右手)

体験者の右手親指に Haptic デバイスを装着し触覚情報(振動、圧覚、摩擦)を与える。体験者は、与えられた触覚情報を指示とし該当するボタンをタップする。タップを行うのは、人差し指、中指、薬指であり、各々に対応するボタンが設置されている。実際には、タップタスクは外部制御される(後述)。

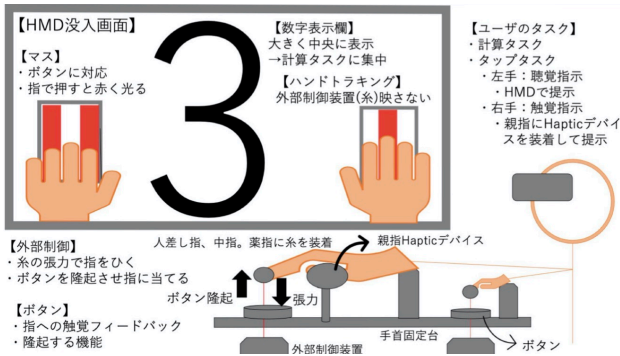
【体験の流れ】

1. 体験者に機器(HMD, 外部制御装置の糸, 右手親指用 Haptic デバイス)を装着し、タスクの説明を行う。
2. 人間の処理能力のみで Multithread 処理を行ってもらい、その難しさを痛感してもらおう。
3. 外部制御を混入させて、改めて Multithread 処理感覚の再現を体験してもらおう。
4. 体験者から感想・体験のフィードバックをいただく。

2. システム構成

2.1 システム概要

制作物概要図は以下の通りである。



2.2 システムのエッセンス・用語定義

Multithread 処理感覚を、外部制御動作に対し運動主体感を生じさせることで体験させる。

以下、重要概念を定義しつつ、先行研究を交え、システム構築の焦点を絞り込んでいく。

1. 運動主体感(Sense of agency): 「ある行為を自分が行った」と感じる感覚[2]。本システムでは、一つのタスクを体験者が、残り2つのタスクを外部制御装置が行い、後者にも「(外部制御装置ではなく)自分がやったのだ」と運動主体感を生じさせ、Multithread 処理感覚を生む。
 2. 運動主体感の発生条件(Comparator model)[2]
脳が運動指令をするとき、順モデルに基づき運動・知覚の結果を予測する。実際の運動・知覚の結果が得られる際に、この予測と結果を照合し、両者の誤差が微小ならば、運動主体感が発生する。
このモデルに基づき多くの運動主体感研究が行われ[2][3]、直接的な身体制御と関係のない対象に対しても抱ける感覚であることや[3]、タップ動作に対する適切な聴覚フィードバックにより生起するとわかっている[4]。以上より、本システムはこのモデルに基づき、運動主体感を発生させる仕組みを作る。
 3. タップタスクに対する外部制御装置
 1. 指を外部制御する場合
モーターで指に装着した糸を巻き取ることで、張力を発生させ指を曲げ、タップさせる。
 2. ボタンを外部制御する場合
指の下に設置されたボタンを上昇させ、指に触れさせることで、タップした様な知覚を与える。
 4. タスクに対する「意識の定義」
 1. 意識が強い=集中：意識が十分に向いていてタスクとして処理が可能である状態
 2. 意識が弱い：辛うじて意識は向いているがタスクとして処理は不可能な状態
 5. メインタスク：強い意識を向けるタスク
 6. サブタスク：弱い意識を向けるタスク
- 本システムでは、「メインタスク=計算タスク」、「サブタス

ク=タップタスク」となる様システムを構築する。メインタスクは自分で処理するため運動主体感が自然に生じる。故に、外部制御されたタップタスクに対し運動主体感を生じさせることが本システムの焦点となる。

2.3 システム及び体験者の処理知覚の流れ

計算タスク	タップタスク
計算に集中	指示により押すべきボタンを把握<行動知覚予測>
計算に集中	計算に集中して自分でボタンを押さない
計算に集中	外部制御装置が指に予測通りにタップ動作結果・知覚を与える<行動知覚結果>
計算終了→答える	正解したこと及び押した指による結果のフィードバックを視聴触覚で強調提示 →ようやくタップタスクに強く意識が向く 【以下の材料で状況判断】 ・タップ時の触覚の名残 ・フィードバック ・外部制御されている感覚は予め可能な限り排除 ・予測=結果 →運動主体感発生
計算タスクは自分がやった	タップタスクも自分が行った(∴運動主体感) →Multithreader 処理感覚!
ここまでが1ステップで、合計2秒程度 →外部制御に対する正常な把握を行う暇を与えず、次の処理へ	正常把握のための暇を与えず次の処理へ →運動主体感を感じたままこのステップが終了(運動主体感の保存)
以下繰り返し	以下繰り返し

<補足>

体験1回目は外部制御の正答率をランダム化し、2回目は格段に上げることで、運動主体感発生之机を格段に増やし、Multithread 処理感覚の再現として印象付ける。体験者がサブタスクに意識を向けず外部制御装置任せにすることを防ぐため、体験者に予め「外部制御装置は正解のタップ動作を行う保証はない。外部制御の妨害に振り回されず、正しいタップ動作を行う必要がある」と伝える。

2.4 システム及び体験者の処理知覚の流れ

システム構築実現のキーアイデアを整理する。

- ① 意識の分散：意識を全タスクに向けさせる
- ② メインタスクを計算タスクに固定する
- ③ 外部制御感を和らげる
外部制御感：外部制御装置により制御されていると感じる感覚と定義する。具体的には「糸による指の曲げ」または「ボタン上昇による擬似タップ感覚」を指す。
・指曲げまたはボタン隆起のタイミング、速度を人間に違和感のない、自然な行動パターンに近く設計
・意識分散で指への力への意識を弱める(①で対応)

・物理的アプローチで外部制御による力の知覚程度を下げる(接触面を広くし圧力を分散するなど)

- ④ サブタスクの運動主体感を発生させる
タスクへの予測に一致する結果を提示する。
1. ディレイの設定
体験者がサブタスク結果の予測を行うまで、指示提示から外部制御発動を 0.1~0.5 秒程待つ。
 2. フィードバック及びその強調
サブタスクに対し、視覚、聴覚、触覚のフィードバックを強調し、予測と結果の照合が一致したことを強く認識させ、運動主体感発生を誘導する。

2.5 システム構築

システムは、HMD、指先の外部制御装置、親指 Haptic デバイス、ボタンシステムから成る。以下、各々の構成、動作原理、役割を記す。

	視覚(HMD)	聴覚(HMD)	触覚(他)	その他
①	手の投影 マスの発光	指示 FB	指示 FB	連動操作
②	数字の存在感			点数の差別化
③	外部制御要素 の非表示		圧力分散	時間調節
④	FB 手の投影	FB	FB	ディレイ調節

※FB=フィードバック

[HMD]システムの視聴覚情報を提示し体験者の没入感を高める。Unity を用いて作成する。

・視覚:数字、マス発光、ハンドトラッキング映像の提示

1. 数字表示

数字表示欄を中央に大きく(画面の 50%以上を占める)表示。視覚情報は少なくとも知覚情報の 5 割以上を占め、これが 2 秒毎に切り替わり常に注意を引くことから、メインタスクは計算タスクに誘導される(②)。

2. マスの表示と発光

手首を固定しその座標を起点としマスを表示。発光時を省きマスには着色しない(②)。タップ時、ボタン端末からリアルタイムに指圧を知らせる OSC 等の信号を受信し、対応するマスを赤く発光させる。マス発光によりタップ動作への視覚フィードバックを提示する(④)。また、一時的に集中を数字(計算タスク)からタップタスクに誘導する。すぐ集中は計算タスクに戻るが、計算タスクへの意識の過度な集中を防ぎ意識はタップタスクにも分散される(①)。

3. 外部制御要素の非表示

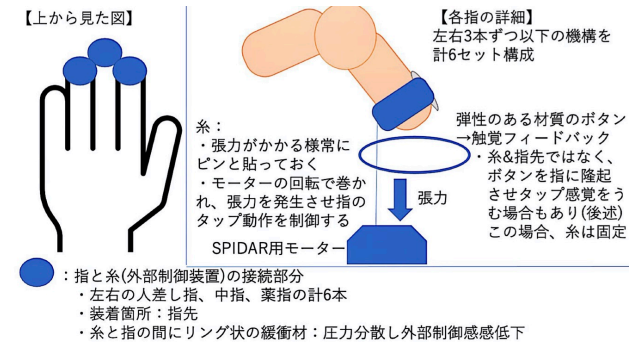
ハンドトラッキング映像に外部制御要素、すなわち指の制御時の場合は糸、ボタン制御の場合は隆起映像を映さないことで、タップ時の「外部制御された」という情報は視覚的に失われる。触覚と視覚に矛盾が生じるが、視覚優先により「自分がタップした」と言う情報が優先され、外部制御感が弱まる。短期間で次のステップに移行するため、この感覚を保全できる。ハンドトラッキングにより映像内の

指に身体所有感が生じるため、運動主体感発生に貢献する。

・聴覚:「左手タップ指示」及び「聴覚フィードバック」音量を大きく設定し印象を強くする(④)。マスに、左から順に「サイレン」「ドラム」「シャキーン」と書いてある。ボタン指示としてその何れかが HMD より日本語で読まれる。マス発光用のリアルタイム通信で指圧判定を受け、フィードバックとして対応マスの効果音を鳴らす。

[指先の制御装置]

指先制御部は下図の通りである。



モータドライバは OSC 等を用いてリアルタイムで画面切り替えタイミングを受け取り、最適なディレイだけ処理を待ち、外部制御を行う。つまり糸制御の場合は、曲げたい指対応のモーターを作動させ糸を巻き取り、手首が固定された状態で張力が鉛直した向きに作用し、ボタンをタップさせ、ボタン制御の場合はタップされるべきボタンを隆起させることでタップした触覚フィードバックを提示する。外部制御の強さ、速度等は、人間のタップ時間を計測し、自然なタップに近づける様最適な条件を実験により探る。さらに、外部制御感の意識分散として、タップした指への局所的な外部制御感を低くするために、「特定の指をタップさせる際に、その手の残りの 2 つのモータもタップができない程度の力を加える」と言う連動処理を行う。なお、上の図は複雑な指の制御を中心に記してあるが、ボタン制御は単純で、ボタンを、モーターを用いて鉛直上向に隆起させるだけである。具体的には、糸にトルクがかからない様にし、SPIDAR 用モーターデイトの代わりにボタンを隆起させる。すなわち外部制御とは、手に対しボタンが隆起することで、タップ動作が行われることを指す。外部制御に対し、タップをする向きに抗うため、無意識的に入る筋肉への力が正常なタップに近い点がメリットである。しかし、実際に指を動かすわけではなく、感覚知覚の予測と結果のみに依存し運動主体感発生を誘導する点がデメリットである。どちらの制御がより優れているか、あるいは混合が優れているのかは実験を行う必要がある。

[親指 Haptic デバイス]

右手タップタスクへの指示出しデバイス。以下の感覚を提示する。(提示開始後、次に切り替わるまで継続的に提示)

1. 圧覚

親指の中央部に緩衝材を挟んだ状態で糸が取り付け

てあり、この糸の張力を利用して圧覚を再現する。

2. 摩擦

親指の先端に、タイヤのような回転体を接触させ、この回転により摩擦を与える。

3. 振動

親指と人差し指の間の溝の部分にスティックを挟み、このスティックの下端に振動モータを装着する。スティックは、手にその振動を伝える。

[その他]

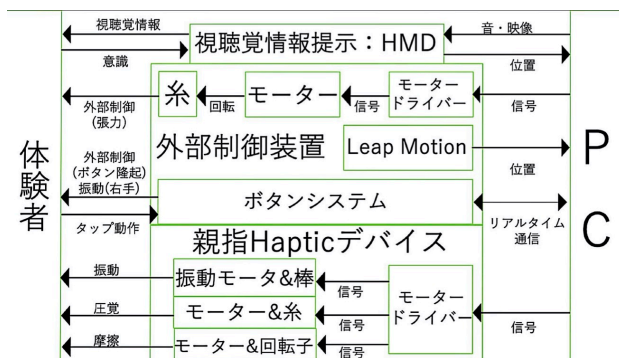
1. ハンドトラッキング

Leap motion を使用してハンドトラッキングを行う。

2. ボタンシステム

市販のスイッチを使用。左右両方用意し、タップされたらリアルタイムで Unity プログラムに伝達する。右手用については、タップ時に振動する様を設定する。タップ判定は力覚センサを用いて、閾値以上の力が加わればタップと判定する。

2.6 システム図



3. まとめ

3.1 魅力

1. マルチスレッドという計算機の機能を、人体を通し体験できる
2. VR の専門知識不要で体験可能。タップからバリエーションを増やせる小型システムである。
3. 外部制御された動作に対し、「意識の分散」と「短時間での指示切り替え」により運動主体感を生じさせる試みはほぼ存在しない。以下の様な技術への応用・発展が期待される。
 1. 心理学的側面：
意識分散下で外部制御された動作に対する運動主体感の知覚及びその条件について新たな知見が得られる可能性がある。
 2. 工学的側面：
 1. 既存の「自動制御システム」に運動主体感を伴わせることにより「人間拡張システム」へと転化させる技術。特に、介護業界では

重要と考える。日々体が不自由になる高齢者にとって、「自分の力で動いた」という感覚は生きる上での自立、自尊、意欲の面で非常に重要である。介護者不足から介護用自動制御システムを導入することが模索されているが、単純に動かされたのではなく、「自分の力で動いた」と実感できる介護を実現させる要になる可能性がある。

2. 未来の自動制御システム(ここでは自動運転)に対し運動主体感を伴わせることにより、他のことに意識が分散しがちな自動化システム内で、人間に参加意識を持たせ、いざという時に人間が対応できる様にする等の技術への応用可能性がある。

3.2 結び

外部制御操作に対して運動主体感を生じさせ、保存することで、Multithread 処理感覚を提供するシステムを提案した。身機融合が進む現代において、Multithread 処理感覚体験を通じ「人間らしいタスク処理とは何か」について考える一助となれば幸いである。

参考文献

- [1] 畑田裕二, 鳴海拓志, 「タスクごとのアバタ切り替えがマルチタスクのパフォーマンスに及ぼす影響」, 第 25 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 (2020) (閲覧:2023/07/21) https://conference.vrsj.org/ac2020/program/doc/2A2-8_PR0088.pdf
- [2] Nicole David, Albert Newen, Kai Vogeley. The “sense of agency” and its underlying cognitive and neural mechanisms. *Consciousness and Cognition*, Vol 17, pp. 523-534 (2008) (閲覧:2023/07/21) <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053810008000354?via%3Dihub>
- [3] 宮崎美智子, 高橋英之, 岡田浩之, 開一夫, 「自己認識における運動主体感の役割と発生メカニズム」, *Cognitive studies*, Vol 18, pp. 9-28 (2011) (閲覧:2023/05/28) https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcss/18/1/18_1_9/_article/-char/ja/
- [4] Atushi Sato, Asako Yasuda. Illusion of sense of self-agency: discrepancy between the predicted and actual sensory consequences of actions modulates the sense of self-agency, but not the sense of self-ownership. *Cognition*, Vol 94, pp. 241-255(2004) (閲覧:2023/07/21) <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001002770400099X?via%3Dihub>