

# 感覚統合を応用した体感経過時間操作の効果量増幅手法

双見 京介<sup>1,2</sup> 白井 希一<sup>1</sup> 村尾 和哉<sup>1</sup>

**概要:** 体感経過時間 (主観的に知覚する経過時間の長さ) に影響を与える要因を解明すること、体感経過時間を意図的に操作する手法を解明することは、情報機器の設計をはじめとして様々なシナリオで役立ち得る。多くの研究では、充実時程錯覚 (FDI) を考慮し、情報機器からの知覚刺激が体感経過時間を変化させる現象の存在とその操作手法が探求されてきた。しかし、従来手法は刺激の時間的密度の操作に着目しており、体感経過時間の伸長効果が頭打ちになる点に限界があった。そこで、本研究では、体感経過時間の伸長効果を強化するために、感覚統合の原理を FDI を用いた体感経過時間の操作に適用する 2 つの手法を提案する。1 つ目は、多感覚統合を応用し、視覚と触覚のバイモーダルな同時刺激を提示する手法である。2 つ目は、体性感覚統合を応用し、リストバンド型とアイウェア型とウェアラブル機器を用いて 2 部位 (手首と側頭部) への触覚の同時刺激を提示する手法である。32 名を対象にした評価結果は、提案手法の実現可能性を示した。提案手法は単一モダリティあるいは単一部位への刺激よりも体感経過時間の伸長効果を増幅した。本研究の実践的貢献は、2 種の感覚統合の原理を、一般的な情報機器を用いた体感経過時間の操作手法の領域に適用した点にある。本研究成果は、刺激の時間的密度が限界にある状況やシステムにおいても、より強力な体感経過時間の伸長効果を実現するために役立ち、また、多様な情報機器において体感経過時間を望ましく操作・設計するための新しい設計指針を提供する。

## 1. はじめに

体感経過時間 (主観的に知覚する経過時間の長さ) に影響を与える要因を解明すること、体感経過時間を意図的に操作する手法を解明することは、情報機器の設計をはじめとして様々なシナリオで役立ち得る。例えば、人は体感経過時間を自分で操作する機能をもたないため、実世界体験やデジタル体験において体感経過時間を望ましい方向に操作できれば、ユーザの体験や行動や心身パフォーマンスを改善できる可能性がある。また、情報インターフェースの知覚刺激が意図せず体感経過時間を望ましくない方向に改悪する現象を防ぐこともできる。

この対処のため、HCI やウェアラブル/ユビキタスコンピューティングの多くの研究では、主に充実時程錯覚 (Filled-Duration Illusion, FDI) を考慮し、情報機器からの知覚刺激が体感経過時間を変化させる現象の存在とその操作手法が探求されてきた。FDI は、一定時間内に提示されるイベントの数や密度が増加すると、体感経過時間が伸長する現象である。様々な情報機器を用いて単一の感覚モダリティからの知覚刺激 (ユニモーダル刺激) を利用した手法が多数提案されてきた (e.g., HDM やラップトップ画面からの視覚刺激 [1], [2], [3], スマートウォッチからの

触覚刺激 [2], [4], [5], スピーカーやイヤホンからの聴覚刺激 [2], [6])。

しかし、従来手法には根本的な限界があった。それは、刺激の時間的密度の操作に物理的な限界 (e.g., 刺激を提示できる最小の時間間隔) があり、体感経過時間を伸長させる錯覚の効果が頭打ちになる点である。例えば、先行研究 [4], [5] は、10 秒間に 11 回の触覚刺激を提示することで、体感経過時間を最大 16.7% 伸長させることに成功したが、物理的な最小の刺激間隔の限界 (及び知覚可能な限界) から、これ以上に刺激の頻度を上げて効果を高めることは困難であった。そのため、より強力な効果的な手法を実現するためには、視点の転換が求められていた。

本研究では、この限界を乗り越えるため、感覚統合の原理を応用した次の 2 つのアプローチが有効と考えた。

- 1 つ目のアプローチは、多感覚統合の原理に着目し、視覚と触覚のバイモーダルな同時刺激を提示するものである。多感覚統合においては、複数の感覚モダリティからほぼ同時に提示された刺激は、単一原因推論 (偶然ではなく一つの原因から生じたものと無意識に推論する働き) によって、脳内で結合され、単一の感覚モダリティよりも、刺激の顕著性や頑健性が高まると知られる [7], [8], [9]。ここでの顕著性とは、人の注意を無意識に自然と引きつける度合いである。このような

<sup>1</sup> 立命館大学大学院情報理工学研究所

<sup>2</sup> Digital Spirit Tech.

統合刺激の顕著性が実際に高まった行動的な証拠の一つとして、冗長信号効果 (e.g., 反応時間の短縮) が知られている [10], [11], [12]. この知見を踏まえると、視覚と触覚のバイモーダルな同時刺激はユニモーダルな刺激よりも刺激の顕著性が増幅されるとわかる. このことが、FDI の生起に関わる知覚イベントの密度を脳内で増幅させるならば、結果として体感経過時間の伸長効果を高める (FDI を強く生起させる) と想定できる. 近年、ウェアラブル・モバイルのデバイスは多様な感覚モダリティからの刺激提示が可能になったが、先行研究はユニモーダルな刺激提示に留まり、バイモーダルな同時刺激の影響の知見は少ない.

- 2つ目のアプローチは、体性感覚統合の原理に着目し、複数の身体位置に同時に触覚刺激を提示するものである. 体性感覚刺激とは身体由来の刺激 (例: 触覚や温度感覚の刺激) であり、ほぼ同時に与えた複数の体性感覚刺激が中枢神経系において単一刺激へと統合されるプロセスが体性感覚統合である. この原理においても、前述の多感覚統合と同じように、冗長信号効果が観察され、複数部位への刺激は単一部位への刺激よりも信号の顕著性が高まると知られる [13], [14]. この知見を踏まえると、既存のウェアラブル機器でアクセス可能な2部位 (手首と頭部) からの触覚の同時刺激は、単一の刺激よりも顕著性が高まるとわかる. このことが、結果として体感経過時間の伸長効果を高めると想定できる. これは言い換えると、触覚刺激の身体上の空間的密度が高まることで、FDI の生起に関わる知覚イベントの密度が脳内で増幅されるという想定でもある. 近年のウェアラブル技術の普及により、身体が多様な部位への触覚刺激の提示が可能になっているが、本観点の知見は殆ど無い.

そこで本研究では、感覚統合の原理を体感経過時間の操作に適用することで、FDI による体感経過時間の伸長効果を強化する2つの手法を提案する. 1つ目は、多感覚統合を応用し、視覚と触覚のバイモーダルな同時刺激を提示する手法である. 2つ目は、体性感覚統合を応用し、リストバンド型とアイウェア型とウェアラブル機器を用いて2部位 (手首と側頭部) への触覚の同時刺激を提示する手法である. 実験では、(i) 手首装着型リストバンドとラップトップ画面を用いた視触覚の刺激の同時提示システム、(ii) リストバンド型機器と眼鏡型機器を用いた触覚刺激の同時提示システムを構築した. 32名を対象にした評価結果は仮説を支持し、提案手法の実現可能性を示した.

本研究の貢献は次の点にある.

- 本研究の実践的貢献は、認知科学・神経科学における感覚統合の原理を、体感経過時間の操作手法の領域に適用するアプローチを示した点にある. また、これまで対処されてこなかった提示刺激の時間的密度を操作

する従来手法が抱える限界を指摘し、対処を考案した. 本知見は、ウェアラブルやモバイルをはじめとした多様な情報機器において体感経過時間を望ましく操作・設計するための新しい設計指針として役立つ.

- 本研究の理論的貢献は、時間知覚の理論に、感覚統合や身体の空間的・構造的な観点を考慮する有効性を示した点にある. これは、時間知覚の理論の拡張・精緻化に貢献する.
- 本研究は、体感経過時間の考慮・操作の研究において、発展性のある観点を導入した. 従来手法の多くが、知覚イベントの量に焦点を当て、刺激の時間的密度の次元を操作してきた. 一方、本研究では、知覚イベントの質の操作に焦点を当て、多感覚統合の観点 (感覚モダリティの次元での充実の観点)、体性感覚統合の観点 (身体上の空間的充実の観点)、の次元を導入した. また、評価2では補足的に、触覚モダリティにおいて身体の構造的な原理 (体性感覚ホムンクルス) の観点を考慮が有効な可能性も示唆した. これら観点の導入は新たな研究プログラムの方向性を複数示した.

## 2. 関連研究

### 2.1 体感経過時間の操作

本研究における体感経過時間とは、主観的な経過時間の知覚・感覚を指す. 心理学の研究では、知覚刺激が無意識的に体感経過時間を変化させる現象が知られている. その有名な一例が充実時程錯覚 (FDI) である [15]. この錯覚は、刺激の密度に関わる要素 (例: 刺激の量や速さ、頻度) に基づいて体感経過時間に変化を起こす. 例えば、より多い刺激 (速い頻度の刺激) で提示された視覚刺激は、より少ない刺激 (遅い頻度) で提示されたものよりも長い体感経過時間を起こす. 心理学の研究では、この現象が視覚 [16]、聴覚 [15]、触覚刺激 [15] で起こることが示されている. さらに、体感経過時間 (或いは時間知覚) の変化の現象は、様々なコンテキストで調査されてきた. 例えば、イベントを待つ状況 (例: テーマパークでの行列)、運転、瞑想、自然環境で過ごす時間、不快な画像を見る時、将来のタスクに必要な時間を推定する時、タスクスイッチング、ネガティブな感情状態 (e.g., 臨床的うつ病やストレス) などがある. 体感経過時間に影響を与える要因を理解し制御することは、依然として重要な研究領域である.

こういった心理学的知見をもとに、情報機器のインターフェース設計の文脈で、体感経過時間に影響を与える要素の解明と、その影響の制御の研究が行われてきた. 視覚インターフェースにおいては、ヘッドマウントディスプレイからの視覚刺激の提示手法がある (例: 視覚アイコンの点滅や振動 [17]、視覚アイコンの移動 [2]). また、プログレスバーのような視覚的フィードバックの提示でも体感経過時間を変化させることができる [18][3]. 他のアプローチには、

プログレスバーの形状を変更したり、進む速度を調整したり [19], 点滅のようなアニメーションをプログレスバーに組み込んだり [20][21][22], インタラクティブな要素を導入したり [23], 複数の方法 (バーインジケータ, パイインジケータ, カートゥーンインジケータ) の比較 [24], 等がある. 聴覚インターフェースの研究では, 音の頻度や間隔を変更する手法 [2], [6], 特徴的な音を使用する方法 [25][26][27] がある. 触覚インターフェースの研究では, スマートウォッチなどの手首装着物からの触覚刺激の頻度や間隔の操作手法がある [4], [5].

これら先行研究は, 普段利用される情報機器からの感覚刺激が意図せずに体感経過時間に影響を与えうること, そして, その要素を考慮することで体感経過時間の望ましい操作が可能であることを示してきた. 先行研究では刺激の時間的密度の観点に着目したものが多く, 本研究は異なる観点を探求して体感経過時間の操作手法の効果を増幅することを狙っている点で位置づけが異なる.

## 2.2 時間知覚の認知モデル, 感覚統合

人の時間知覚 (本研究でいう体感経過時間の知覚) を説明する有力な理論的枠組みの一つに, 内的時計 (internal clock) モデルがある [28]. このモデル群の中で, 人間の認知プロセスの影響を組み込んだものが, 注意ゲートモデル (Attentional-Gate Model) である [29]. このモデルは, 三つの主要なコンポーネントから構成される. 1つ目のペースメーカーは, 一定のリズムで神経的なパルスを生成し, これは時計の振り子のような役割を果たす. ペースメーカーのパルス生成率は生理的覚醒によって変わるとされる. 例えば, 高い覚醒はペースメーカーを加速させ, 単位時間あたりにより多くのパルスを生成させる [30]. 2つ目のゲートは, ペースメーカーと後述の積算機の間であり, 人の注意によって制御される閾門である. 同じ物理的時間でも, 注意の向け方によってゲートの開き方が変わる. 例えば, 人が時間に注意を向ければ/向けなければ, ゲートは大きく開き/小さく開き, パルスは多く/少なく通過する. 3つ目の積算機は, ゲートを通過したパルスの数を数え, 蓄積する. この蓄積されたパルスの総数が, 最終的な体感経過時間に対応する. このモデルでは, 注意と覚醒の二つの異なるメカニズムによって体感経過時間が変わると解釈する. 本研究では, 心理学におけるこの時間知覚モデルに, 神経科学における感覚統合の原理を統合する. この際, 感覚統合の刺激による体感経過時間の変化は, 注意の増強を誘発してゲートに作用する可能性と, 強い覚醒を誘発してペースメーカーに作用する可能性, が想定できる.

人の脳は, 異なる感覚モダリティから入ってくる情報を, 単に受動的に受け取るのではなく, それらを能動的に統合する [31]. このプロセスは多感覚統合として知られる. 多感覚統合はいくつかの基本原則に従うことが知られてい

る. 時間的原則では時間的に近接して (ほぼ同時に) 発生した刺激は, 単一のイベントとして統合されやすく [32], 空間的原則では空間的に同じ場所から発生した刺激が統合されやすい [33]. 多感覚統合によって知覚の精度や顕著性が高まったことが起こす現象として冗長信号効果 [10] がある. これは, 複数の目標刺激を同時提示すると, 単独刺激より人の反応時間が有意に短縮するという頑健な現象である. 例えば, 光と音を同時に提示すると, 光のみ, あるいは音のみの場合よりも, 人の反応が速くなる. また, 体性感覚統合においても冗長信号効果が観察される. 例えば, 触覚刺激を2部位 (両手の小指) に提示する方が1部位 (片手の小指) だけに与えるよりも有意に反応時間が短い [13]. 加えて, 2部位への触覚刺激であっても, 左右の手にまたがった2部位 (例: 右手の人差し指+左手の中指) の方が, 片手内での2部位 (例: 右手の人差し指と中指) よりも反応速度が短い [14]. この結果は, 触覚刺激を複数部位に同時に与える際には, 左右の脳半球で別々に処理されるような空間的に離れた (独立した) 刺激である方が, 脳は独立した情報源からの情報を統合するため, より大きな冗長信号効果を起こす原理を示唆している. 本研究では, 多感覚統合や体性感覚統合によって知覚の精度や顕著性が高まること, 体感経過時間の操作手法に影響するかを調査している. 日常的に使用するデバイスは, 多感覚的な刺激を提示できる機能をもつ. このような技術基盤の普及にもかかわらず, 複数の感覚モダリティ情報や体性感覚情報が同時に提示された際の, 体感経過時間への影響は, HCIの文脈ではほとんど解明されていない. 本研究は, このギャップを埋めることに貢献する.

## 2.3 無意識的な現象を考慮した情報提示手法

コンピュータによる情報提示は, 無意識の現象 (認知バイアス, 心理的効果, 錯覚など) を介して人の認知や心理に意図せず影響を与え得るため, その現象の存在と操作方法を明らかにすることの重要性が近年の多くの研究で示されてきた [34]. この種の研究によって, その知見の有益な応用が可能になる. また, その現象と手法が意図せず悪影響を起こす/意図的に悪用されることへの対処が可能になる.

心身のパフォーマンスや精神状態を変える手法がある. ユーザの不安レベルや認知パフォーマンスを改善するために, 実測値から改変した心拍数の触覚刺激を提示する手法がある [35]. 疲労感や物の重さといった負荷の知覚を操作するために, 身体負荷を示す筋電センサー値を改変して提示する手法 [36] がある. スポーツのような緊張する場面で心身の能力を向上させるために, 成功体験と条件付けた聴覚刺激を提示する手法 [37] や, VR空間で疑似的な成功体験を提示する手法 [38] がある. 学習時を対象にし, 暗記学習アプリ画面から視覚刺激を提示して記憶力を高める手法 [39] や, ユーザーの集中力の低下時に学習ビデオ教材

の音声を変調して提示することでユーザーの集中力を向上させる手法 [40] がある。こういった研究のように、本研究は体感経過時間を望ましく操作する設計手法の知見を提供する。

### 3. 評価 1

本実験では、視覚と触覚のバイモーダルな同時刺激を利用する手法の実現可能性を調査する。この実験の主な目的は、以下の仮説を検証することであった。

- 仮説 1: 視覚と触覚のバイモーダルな同時刺激は、ユニモーダルな刺激よりも体感経過時間の伸長効果を増幅させる。

第一歩として、触覚刺激と視覚刺激を採用した理由は以下である。触覚、視覚、聴覚のうち、体感経過時間を変化させる上で同様の傾向を誘発する感覚モダリティは触覚と視覚であるため、この2つを選んだ。具体的には、触覚刺激 [4], [5] と視覚刺激 [2], [17] では、刺激の密度の増加が体感経過時間の増加につながる。一方、聴覚刺激 [6] では、刺激の密度の増加は体感経過時間を減少させる傾向がある。そのため、多感覚統合の効果を調査する第一歩として、同一の現象の傾向である触覚と視覚のモダリティを採用した。

#### 3.1 被験者

32名 (男性 25名, 女性 7名; 平均年齢 29.68歳, 日本人) が実験に参加した。本研究は立命館大学の倫理審査委員会の承認を得て実施した (2023-045)。

#### 3.2 刺激の提示機器

視覚刺激と触覚刺激を提示するシステムは以下のように実装された。システム全体の制御は、Arduino Uno と Processing を用いて実装された。

触覚刺激提示システム (図 1): 触覚刺激は、手首に装着するリストバンド型のデバイスを介して提示された。このデバイスは、市販のリストバンドに4つのディスク型ブラシレス振動モーター (LBV10B-009) を内蔵したものである。モーターは、手の甲側に接触する。これは、振動の ON-OFF を繰り返して刺激を提示する。

視覚刺激提示システム (図 2): 視覚刺激は、ラップトップ PC のディスプレイ (15 インチ, FHD) の中央に表示されるアイコンによって提示された。これは、視覚アイコンの明滅によって刺激を提示する。

#### 3.3 FDI に基づく体感経過時間の操作手法

本稿では、刺激の量・頻度を制御することで体感経過時間を操作する手法に基づき、仮説を検証する。先行研究では、同じ時間枠内の刺激の量・頻度の違いが体感経過時間を変化させることが示されており、この知見を利用した。

刺激の回数は 11 回/10 秒間、刺激と刺激の時間間隔は 480ms である。触覚刺激のこの刺激によって、体感経過時間は+16.7%となると示されている [4], [5]。刺激同士の時間間隔の設定は、実験で採用する 10 秒を 1 周期と考えて、一つ目の知覚刺激の始点が比較時間開始 100ms 後、最後の知覚刺激の終点が比較時間終了 100ms 前、知覚刺激の持続時間が 500ms であることから逆算して設定をし、先行研究と同じであった。刺激のパルス図を図 3 に示す。これらの刺激の条件は、触覚刺激と視覚刺激の両方に対して作成された。触覚刺激の振動要素は図に示すパルスに応答して ON と OFF を繰り返した。視覚刺激の画面中央の視覚アイコンは図のパルスに応答して ON と OFF を繰り返した。

#### 3.4 感覚モダリティの条件

実験は、被験者内計画で実施した。独立変数は、以下の感覚モダリティの3水準であった。

- 触覚のみの提示 (Tactile-only): これは、触覚刺激のみを提示する条件である。
- 視覚のみの提示 (Visual-only): これは、視覚刺激のみを提示する条件である。
- 視触覚の同時提示 (Both): これは、触覚刺激と視覚刺激を同時に提示する条件である。

#### 3.5 手順

本実験では時間比較タスクを行った。時間比較タスクは、2種の条件の刺激パターンでの体感経過時間を比較するというものである。具体的に被験者は、2つの感覚モダリティ条件の刺激パターンを比較し、どちらの体感経過時間が長いかを回答した。本タスクは先行研究では Paired comparison と呼ばれており、一般的に採用されている [6][15]。

実験手順は次のようにした。被験者は、触覚刺激を与えるリストバンド型機器を手首に装着し、座った状態で画面を見ながら実験を行った。1 試行は、時間比較タスク 1 回であり、2つの条件の刺激の体感経過時間を比べるタスク 1 回とした。1 試行は、1つ目の条件の刺激を知覚する 10 秒間、何も提示されないインターバルの 3 秒間、2つ目の条件の刺激を知覚する 10 秒間、の3つで構成される。刺激提示の開始と終了の合図は PC からの音 (0.3 秒の単音) で提示した。被験者は 2 種の条件を体験してどちらが長く感じたかを、前者、後者、変わらない、の3種で回答した。この 1 試行を、3つの感覚モダリティ条件 (触覚のみ、視覚のみ、視触覚同時) の全てのペア (3 ペア) について繰り返した。各ペアの試行順序、条件の提示順序は、参加者ごとにランダム化した。その後、順序効果を相殺するため、各ペアは提示順序を逆にしたものも実施した (例: 「A 対 B」と「B 対 A」)。合計、6 試行 (3 ペア × 2 順序) が行われた。

刺激の持続時間として 10 秒を選択した理由は以下の通りである。10 秒は先行研究で利用されており [5][6]、実際の



図 1 触覚刺激提示のリストバンド型機器 [4]

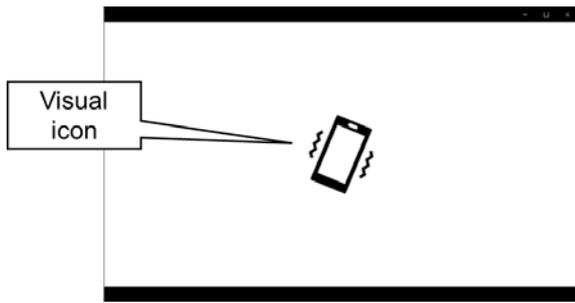


図 2 視覚刺激の提示機器

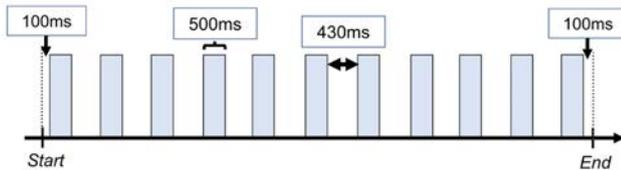


図 3 刺激の回数のパルス図

10 秒間隔よりも主観的な経過時間を変化させる刺激パターンを特定することは有益とされている [6]。10 秒を超える待ち時間は、タスクへの集中、体験への満足度、オンラインビデオ視聴者の離脱率など、様々な方法でユーザー体験に大きな影響を与えるからである。また、参加者あたりの連続試行回数を最小限に抑える必要があり、そのように設計した。この理由は長時間の試行シーケンスは、疲労や過剰曝露を引き起こし、知覚感度を低下させる可能性があるからである [41]。体感経過時間の評価における連続試行を制限することの重要性は、文献で強調されている [42]。

### 3.6 結果

参加者ごとに各条件のスコアを次のように計算した。ペアの比較において、長いと感じた条件に 1 点、短いと感じた条件に -1 点、変わらない場合は両条件に 0 点を付けた。条件ごとのスコアの平均値を個人毎に計算した。スコアが高いほど、その条件が主観経過時間をより長く伸ばさせたことを示す。このスコア計算方法は、先行研究 [4], [5], [6], [17] に倣った。

全被験者の平均スコアを図 4 に示す。エラーバーは標準誤差を示す。まず、Shapiro-Wilk 検定の結果、触覚単独

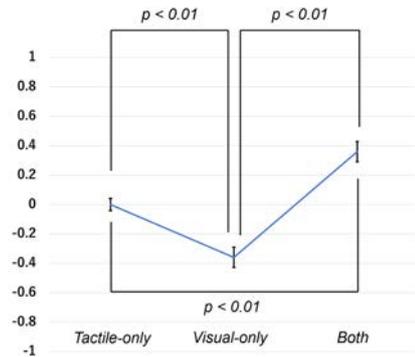


図 4 評価 1 の結果.

( $W = 0.87, p = .001$ ), 視覚単独 ( $W = 0.93, p = .041$ ), 触覚と視覚の同時 ( $W = 0.93, p = .035$ ) のいずれも正規性を満たさなかった。そのため、主分析にはノンパラメトリック検定である Friedman 検定を用い、その頑健性を確認するために反復測定一元配置分散分析 (RM-ANOVA) も併せて報告する。次に、Friedman 検定の結果、条件の主効果は有意であった ( $\chi^2(2) = 20.80, p < .001$ )。RM-ANOVA も同様に、有意な主効果を示し、Friedman 検定の結果を支持した ( $F(2, 62) = 22.81, p < .001$ )。そして、事後検定には、Bonferroni 法で多重比較補正を行った Wilcoxon 符号順位検定を用いた。結果は次の様になった。視触覚の同時条件が、触覚単独条件よりも有意にスコアが高かった ( $p = .003, r = 0.66$ )。また、視触覚の同時条件は、視覚単独条件よりも有意にスコアが高かった ( $p < .001, r = .76$ )。また、触覚単独条件は、視覚単独条件よりも有意にスコアが高かった ( $p < .003, r = .64$ )。

### 3.7 考察

結果は、仮説 1 を支持した。視覚と触覚の感覚モダリティからの同時刺激が、いずれかの単一の感覚モダリティの刺激よりも充実時程錯覚の効果を増幅させた (有意に長い体感経過時間を引き起こした)。この結果は、多感覚統合の原理が、体感経過時間の知覚においても、影響を与えることを示した。

#### 3.7.1 視覚と触覚の多感覚統合による効果

本実験から、視覚と触覚の同時提示が、それぞれの単独

刺激よりも体感経過時間を伸長させることが示された。この効果のメカニズムが起こった要因を次のように想定する。まず、多感覚統合によって、視覚と触覚の二つの感覚モダリティからの刺激が、脳内で単一のより顕著な知覚イベントとして統合された。そして、この知覚イベントの顕著性の増幅が、時間知覚の主要な認知モデルである注意ゲートモデルに、次のように影響した可能性がある。(1) 知覚イベントの顕著性の高まりが被験者の注意を無意識的・不随意的に高めたことで、内的時計のペースメーカーが生成するパルスを通す「ゲート」をより強力に開放させた。この結果、積算機に蓄積されるパルスの量が増加し、体感経過時間が長くなったと考えられる。(2) 顕著な知覚イベントが被験者の神経的な覚醒レベルを高めたことで、内的時計でパルスを生成する「ペースメーカー」の速度・発火率を加速させた。この結果、体感経過時間が長くなったと考えられる。これらを明らかにするためには異なる目的の研究の検証が必要なため、本研究においては考察に留める。

### 3.7.2 触覚刺激と視覚刺激の比較

本研究の主要な検証項目ではないが、触覚単独条件は視覚単独条件よりも体感経過時間の伸長効果が強い可能性が示唆された。この原因として、二つの可能性が考えられる。(1) ウェアラブルデバイスによる身体への直接的な物理刺激は、画面上の光の点滅よりも、持続的で高い注意や覚醒を引き起こした可能性がある。注意と覚醒をより高く誘発した要因は、感覚モダリティ毎の刺激が自己への関連性が高いと無意識に認識される程度の違いにあると考えられる。視覚刺激が「身体の外部で発生する遠隔的な情報」に対して、身体への直接的な物理刺激は身体の境界線で発生する「近接的な情報」であることから、自己への関連性が高いと認識され得る。身体への直接の物理刺激は、自己の領域(身体上)で何かが起きたことを明確に意味するため、自己への関連性が高い刺激(自己に無関係ではない刺激)と動物は生まれつき認識するのかもしれない(e.g., 人を含め生物は触れられると赤ん坊でも反応する)。自己への関連性が高いと認識された刺激が高い注意を無意識に誘発する例としては認知心理学のカクテルパーティー効果がある。(2) モダリティ適切性仮説を踏まえると、今回の体感経過時間の知覚においては、視覚よりも時間分解能に優れた触覚がその知覚のための適切なモダリティとして扱われ、脳内でより大きな重み付けを与えられた可能性がある。モダリティ適切性仮説とは、特定の判断をする上で、最も精度が高い、あるいは信頼性が高い(適切な)感覚モダリティの情報に、より大きな重み付けをされるという仮説である。

## 4. 評価 2

本実験では、身体上の二部位への触覚の同時刺激を用いる手法の実現可能性を調査する。この実験の主な目的は、以下の仮説を検証することであった。



図 5 触覚刺激提示用の眼鏡型機器

- 仮説 2: 触覚刺激を一般的なウェアラブル機器でアクセス可能な身体上の二部位(手首・頭部)へ同時提示することで、単一部位刺激よりも体感経過時間の伸長効果が増幅する。

32名(男性25名, 女性7名; 平均年齢29.68歳, 日本人)が実験に参加した。評価1と同様の倫理審査委員会の承認を得て実施した。

### 4.1 刺激の提示機器

今回検証する提示位置は手首と側頭部(眼鏡テンプレの接触位置)の2つである。これは、現在普及しているウェアラブル機器の腕時計型と眼鏡型を想定している。手首装着機器は評価1と同じである。眼鏡型の機器は図5に示す。左右のテンプレに振動素子が付いている。

### 4.2 実験条件

実験は、被験者内計画で実施した。独立変数は、以下の刺激提示位置の3水準であった。

- 手首単独条件(Wrist): 手首の刺激を提示。
- 側頭部単独条件(Eyewear): 側頭部の刺激を提示。
- 同時条件(Both): 手首と側頭部に完全に同期したタイミングで刺激を提示。

### 4.3 実験手順

本実験では評価1と同じ時間比較タスクを行った。

実験手順は次のようにした。被験者は、触覚刺激を与えるリストバンド型機器とアイウェア機器を装着し、座った状態で画面を見ながら実験を行った。1試行の流れは評価1と同様であった。1試行は時間比較タスク1回であり、2つの条件の刺激の体感経過時間を比べるタスク1回とした。1試行は、1つ目の条件の刺激を知覚する10秒間、何も提示されないインターバルの3秒間、2つ目の条件の刺激を知覚する10秒間、の3つで構成される。刺激提示の開始と終了の合図はPCからの音(0.3秒の単音)で提示した。被験者は2種の条件を体験してどちらが長く感じたかを、前者、後者、変わらない、の3種で回答した。この1試行を、3つの条件から2つをペアにした全3パターンに対して行った。各ペアの試行順序、条件の提示順序は、参加者ごとにランダム化した。その後、順序効果を相殺するため、各ペアは提示順序を逆にしたものも実施した。合計、

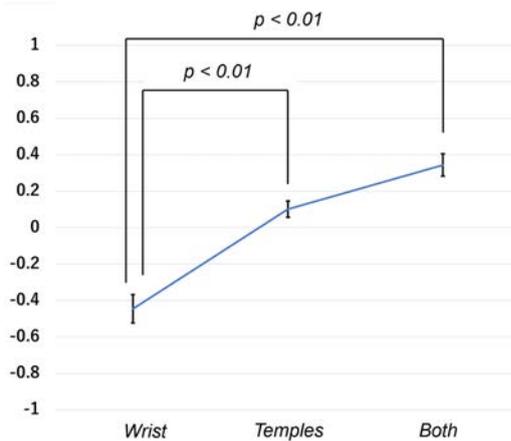


図 6 評価 2 の結果.

6 試行 (3 ペア × 2 順序) が行われた。

#### 4.4 結果

参加者ごとに各条件のスコアを評価 1 と同様に計算した。長いと感じた条件に 1 点, 短いと感じた条件に -1 点, 変わらない場合は両条件に 0 点を付けた。条件ごとのスコアの平均値を個人毎に計算した。スコアが高いほど, その条件が主観時間をより長く伸長させたことを示す。

全被験者の平均スコアを図 6 に示す。エラーバーは標準誤差を示す。まず, Shapiro-Wilk 検定の結果, リストバンド型の条件 ( $W = 0.901, p = .006$ ) と眼鏡型の条件 ( $W = 0.905, p = .008$ ) において正規性からの逸脱が認められた。そのため, 主分析にはノンパラメトリック検定である Friedman 検定を用い, その頑健性を確認するために反復測定一元配置分散分析 (RM-ANOVA) も併せて報告する。次に, Friedman 検定の結果, 条件の主効果は有意であった ( $\chi^2(2) = 25.81, p < .001$ )。RM-ANOVA も同様に, 有意な主効果を示した ( $F(2, 62) = 27.78, p < .001$ )。これは, Friedman 検定の結果を支持した。これらの結果は, 刺激の提示位置が主観時間に有意な影響を及ぼすことを示唆している。そして, 事後検定には, Bonferroni 法で多重比較補正を行った Wilcoxon 符号順位検定を用いた。結果は次の様になった。同時条件が, 側頭部単独条件よりも有意にスコアが高かった ( $p = .009, r = .45$ )。また, 同時条件は, 手首単独条件よりも有意にスコアが高かった ( $p < .001, r = .66$ )。また, 側頭部単独条件は, 手首単独条件よりも有意にスコアが高かった ( $p < .001, r = .58$ )。

#### 4.5 考察

結果は, 仮説 2 を支持した。結果は, 身体の 2 部位への同時刺激が, いずれか単独の刺激よりも, 強い体感経過時間の伸長効果を示した。この結果は, 体性感覚統合の原理が, 体感経過時間の知覚においても, 影響すると示した。

#### 4.5.1 2 部位の触覚刺激の統合による増幅効果

身体の 2 部位への同時刺激が, いずれか単独の刺激よりも, 体感経過時間の伸長効果を増強した。この効果の要因として次の 2 つが考えられる。(1) 脳は, 感覚入力背後にある原因を常に推論している (ベイズの因果推論)。自然界において, 物理的に離れた身体の 2 部位で完全に同期した刺激が発生することは稀である。したがって, 脳はこれを二つの独立した偶発のイベントではなく, 単一の重要で顕著な原因 (イベント) に起因するものと推論した。この推論によって, 二つの刺激は一つの顕著性が高い刺激へと統合され, 評価 1 と同様に, より高い顕著性が注意ゲートモデルのゲートとペースメーカーに作用し, 体感経過時間を伸長させたと解釈できる。(2) 触覚刺激の身体上の空間的密度が高まることで, FDI の生起に関わる知覚イベントの密度や量が脳内で増幅され, 体感経過時間が伸長したと考えられる。これは, 脳に内在する身体の空間的な地図上での「空間的充実」が, 時間知覚における「時間的充実」を増幅させるという時間知覚の新しい理論の存在を示唆する。

#### 4.5.2 身体部位ごとの効果の違い

本実験の目的の観点ではないが, 頭部の方が手首よりも体感経過時間が増強された結果は, 刺激を与える身体部位ごとに FDI の起こり方の非対称性が存在することも示唆した。この要因として次の 2 つが考えられる。(1) 体性感覚ホムンクルスにおける皮質表象の違いである。Penfield のホムンクルスに象徴されるように, 顔面領域は手首よりも広大な体性感覚皮質領域を占めており, 神経支配が密で感受性が高い [43], [44]。これは, 脳の大脳皮質において, ある特定の感覚情報を処理するために割り当てられている神経細胞の数が, 身体部位によって不均一だからであり, 脳が重要だと判断している部位ほど, より広い脳の領域 (より多くの脳細胞) を使って情報処理をするからである。そのため, 頭部への刺激は手首への刺激よりも強力な神経応答を引き起こし, これがより顕著な知覚イベントとして体験された結果, 注意ゲートモデルにおけるパルス生成やゲート開放のいずれかが促進され, 体感経過時間の伸長が増強されたと解釈できる。(2) 注意の空間的優先度と近傍身体空間の概念から要因を説明する。顔や頭部は, 生物学的に最も脆弱かつ重要な部位であり, その周辺空間 (近傍身体空間) は, 防御や相互作用の観点から, 他の身体部位周辺よりも高い注意の優先度が割り当てられている [45]。そのため, 顔近傍への刺激は, より自動的かつ強力に注意を誘発し得る [46]。この増強された注意が, 注意ゲートモデルにおけるゲートをより開放し, 体感経過時間の伸長効果を増大させたと考えられる。

### 5. 総合考察

本研究は, 情報インターフェースにおけるユーザの体感経過時間の操作の課題に対し, 感覚統合の原理を適用する

アプローチを提案した。評価1では、多感覚統合を応用し、視覚と触覚のバイモーダルな同時刺激を統合させる手法の有効性を示した。評価2は、体性感覚統合を応用し、触覚の2か所への同時刺激を統合させる手法の有効性を示した。これらは、感覚統合の応用が、体感経過時間の操作手法の効果を増幅させる有効な手法となる例を示した。これらの設計は、刺激の時間的密度が限界にある状況やシステムにおいても、異なる次元の観点の考慮によって、より強力な体感経過時間の伸長効果を実現するために役立つ。

## 5.1 設計への洞察、発展性

本研究は、体感経過時間の知覚(時間知覚)の操作の研究において、次の観点を新しく導入する有効性を示した。FDIに基づく体感経過時間の操作を行う従来手法の多くが、時間的な密度の次元の操作を行ってきた。一方、本研究では、多感覚統合の観点(感覚モダリティの次元での充実の観点)、体性感覚統合の観点(身体地図上の空間的充実の観点)、の新しい次元を導入した。この次元の導入は、次の着目の違いに基づく。従来手法の多くは、主に知覚イベントの「量」に焦点を当てている。例えば、知覚イベントの頻度を変えるとといった観点である。一方、本研究では、知覚イベントの「質」の操作に焦点を当てた。同じ知覚イベントの量だが質を変えられれば、現象を変えられると想定できる。従来手法の観点だけでは限界がある場合、本研究の観点は役立つ。

この観点の導入は、次の発展性に繋がると考えられる。この観点を展開させる広範な研究プログラムは、実践的応用と理論的拡張の両方に貢献すると想定できる。この第一歩を示した点で、本研究には意義がある。

(1) 本稿の評価1では多感覚統合の応用(感覚モダリティの次元の充実)の第一歩として、視覚と触覚の2つの感覚モダリティの統合の有効性を示した。この例は、それら2つだけではない多様な感覚モダリティ(視・聴・触・味・嗅)の統合を考慮することが有効な可能性も同時に示唆した。この観点に基づき、多感覚インターフェースにおける多様な感覚モダリティを統合した場合にどのような協調・競合した効果が起こるか(どの組み合わせと個数が効果を高める・低めるのか)の知見を解明することで、より効果的な技術に繋がる可能性があることがわかった。

(2) また、本稿の評価2では体性感覚統合の応用(身体地図上の空間的充実の観点)の第一歩として、2つの部位の刺激の統合の有効性を示した。この例は、それら2つだけではない多数の身体部位の統合が有効な可能性も同時に示唆した。この観点に基づき、多様な身体部位の刺激を統合した効果を解明することで、より効果的な技術に繋がる可能性があることがわかった。

本研究の感覚統合の目的とは異なるが、評価2では副産物として、身体の構造的な原理(体性感覚ホムンクルス)を

考慮した設計方針が有効な可能性も示した。本稿では既存のウェアラブル機器でアクセス可能な2つの部位(手首と側頭部)を対象とし、側頭部の方が手首よりも体感経過時間が増強された。これは、体感経過時間の操作手法を効果的に設計する方針において、体性感覚ホムンクルスや近傍身体空間といった身体の解剖学的構造に関する神経科学的・認知科学的な概念を考慮する設計が有効な可能性を示唆した。例えば、時間知覚と体性感覚ホムンクルスとの対応関係を示す身体地図の解明(身体部位ごとの体感経過時間の感受性マップの解明)や、刺激の空間的配置の効果(刺激を与える身体部位の数や距離や身体的繋がり等の効果)を解明すれば、より効果的な設計の知見が確立でき得る。この観点の考慮が効果的な可能性があることが本研究でわかった。

また、本研究の結果は、FDIを用いた体感経過時間の操作手法において、ユーザーの感覚モダリティや身体部位を、単なる刺激の受け手ではなく、体感経過時間の知覚を能動的に構築するためのインターフェースとして考慮する設計方針の重要性も示した。

上記のように、情報インターフェースの体感経過時間の操作の課題において新たな設計方針を提示した点に本研究の実践的貢献がある。加えて、時間知覚の理論に感覚統合の観点や身体の空間的・構造的な観点を考慮する必要性を示した点で、本研究の理論的貢献があり、これは、時間知覚の理論の拡張・精緻化に貢献する。

## 5.2 応用

提案手法は、触覚と視覚の両方の刺激を提示できるデバイスに適用可能である。これらの刺激を持つ単一のデバイスには、スマートフォン、AR/XR/VRグラス、スマートウォッチ等が含まれる。また、提案手法は、刺激が複数のデバイスに分散している場合でも適用可能である。例えば、スマートウォッチからの振動とARグラスからの視覚刺激の連携や、ゲームコントローラーからの振動と情報ディスプレイ上の視覚刺激の連携がある。

提案手法は、体感経過時間を延長するために用いることができるが、体感経過時間を短縮するためにも応用可能である。例えば、体感経過時間の短縮が望まれる時間幅の開始前に、体感経過時間を延長する刺激を提示することで、目標とする時間幅の体感経過時間を相対的に短縮することができる。このアイデアは先行研究で示されている[2]。体感経過時間の伸長はポジティブな体験の増強や作業時間の増加に応用でき、体感経過時間の短縮はネガティブな体験の軽減に応用できる。

## 5.3 限界、今後の課題

本研究の限界と今後の課題は以下である。(1) 実験の参加者は、主に若年のアジア人で構成されていたため、今後は知見の一般化を高めるにより多様な属性を対象にする。

一方、今回の実験は研究目的を達成する上では必要十分であったと考える。(2) 本論文では静止時のみでの検証であったが、様々な文脈(例:歩行中, 作業中)で手法の効果がどのように変化するかを検証することは、手法の限界と有効範囲を理解するために、今後行う必要がある。(3) 本研究を発展させた研究を行うことも今後の課題である。前述した多感覚統合の応用, 体性感覚統合の応用, 体性感覚ホームクルスを考慮した応用, 等が挙げられる。

## 6. まとめ

本研究では、これまで対処されてこなかった提示刺激の時間的密度を操作する従来手法が抱える限界を指摘した。この課題に対し、本研究では感覚統合という設計次元に着目し、FDIによる体感経過時間の伸長効果を強化する2つの手法を提案した。評価1では、多感覚統合を応用し、視覚と触覚のバイモーダルな同時刺激を提示する手法の有効性を示した。評価2では、体性感覚統合を応用し、リストバンド型とアイウェア型とウェアラブル機器を用いて2部位(手首と側頭部)への触覚の同時刺激を提示する手法の有効性を示した。両手法ともに、単一モダリティあるいは単一部位への刺激と比較して、主観時間を有意に長く伸長させる効果を持つことが明らかになった。この結果は、異なる感覚モダリティや身体部位からの情報を脳が統合する過程が、体感経過時間の知覚(時間知覚)のメカニズムに関与することを示した。特に、刺激の時間的密度を変更することなく、感覚統合の原理の応用によって時間伸長効果を増強できた点は、本研究の最も重要な発見である。本研究成果は、刺激の時間的密度が限界にある状況やシステムにおいても、より強力な体感経過時間の伸長効果を実現するために役立つ、また、多様な情報機器において体感経過時間を望ましく操作・設計するための新しい設計指針を提供する。

## 参考文献

- [1] Kyosuke Futami, Nanaka Hirayama, and Kazuya Muraio. Unconscious elapsed time perception controller considering unintentional change of illusion: Designing visual stimuli presentation method to control filled-duration illusion on visual interface and exploring unintentional factors that reverse trend of illusion. *IEEE Access*, Vol. 10, pp. 109253–109266, 2022.
- [2] Tomoyuki Shimizu, Kyosuke Futami, Tsutomu Terada, and Masahiko Tsukamoto. In-clock manipulator: information-presentation method for manipulating subjective time using wearable devices. In *Proceedings of the 16th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, pp. 223–230, 2017.
- [3] Masakazu Ohtsubo and Kaori Yoshida. How does shape of progress bar effect on time evaluation. In *2014 International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems*, pp. 316–319. IEEE, 2014.
- [4] Kiichi Shirai, Kyosuke Futami, and Kazuya Muraio. Exploring tactile stimuli from a wrist-worn device to manipulate subjective time based on the filled-duration illusion. *Sensors*, Vol. 22, No. 19, p. 7194, 2022.
- [5] Kiichi Shirai, Kyosuke Futami, and Kazuya Muraio. A method to manipulate subjective time by using tactile stimuli of wearable device. In *2021 International Symposium on Wearable Computers*, pp. 63–67, 2021.
- [6] Takanori Komatsu and Seiji Yamada. Exploring auditory information to change users' perception of time passing as shorter. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–12, 2020.
- [7] Barry E Stein and Terrence R Stanford. Multisensory integration: current issues from the perspective of the single neuron. *Nature reviews neuroscience*, Vol. 9, No. 4, pp. 255–266, 2008.
- [8] Barry E Stein and M Alex Meredith. *The merging of the senses*. MIT press, 1993.
- [9] Zhuanghua Shi and Hermann J Müller. Multisensory perception and action: development, decision-making, and neural mechanisms, 2013.
- [10] Bobby R Innes and Thomas U Otto. A comparative analysis of response times shows that multisensory benefits and interactions are not equivalent. *Scientific reports*, Vol. 9, No. 1, p. 2921, 2019.
- [11] Jeff Miller. Divided attention: Evidence for coactivation with redundant signals. *Cognitive psychology*, Vol. 14, No. 2, pp. 247–279, 1982.
- [12] David H Raab. Statistical facilitation of simple reaction times. *Transactions of the New York Academy of Sciences*, 1962.
- [13] Bettina Forster, Cristiana Cavina-Pratesi, Salvatore M Aglioti, and Giovanni Berlucchi. Redundant target effect and intersensory facilitation from visual-tactile interactions in simple reaction time. *Experimental brain research*, Vol. 143, No. 4, pp. 480–487, 2002.
- [14] Sylvie Girard, Maxime Pelland, Franco Lepore, and Olivier Collignon. Impact of the spatial congruence of redundant targets on within-modal and cross-modal integration. *Experimental brain research*, Vol. 224, No. 2, pp. 275–285, 2013.
- [15] Louis Buffardi. Factors affecting the filled-duration illusion in the auditory, tactual, and visual modalities. *Perception & Psychophysics*, Vol. 10, No. 4, pp. 292–294, 1971.
- [16] Tadayuki Tayama, Masato Nakamura, and Thomas S Aiba. Estimated duration for rotating-spot-pattern. *Japanese Psychological Research*, Vol. 29, No. 4, pp. 173–183, 1987.
- [17] Kyosuke Futami, Nanaka Hirayama, and Kazuya Muraio. Unconscious elapsed time perception controller considering unintentional change of illusion: Designing visual stimuli presentation method to control filled-duration illusion on visual interface and exploring unintentional factors that reverse trend of illusion. *IEEE Access*, Vol. 10, pp. 109253–109266, 2022.
- [18] Brad A Myers. The importance of percent-done progress indicators for computer-human interfaces. *ACM SIGCHI Bulletin*, Vol. 16, No. 4, pp. 11–17, 1985.
- [19] Kentaro Hamada, Kaori Yoshida, Kei Ohnishi, and Mario Koppen. Color effect on subjective perception of progress bar speed. In *2011 Third International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems*, pp. 863–866. IEEE, 2011.
- [20] Chris Harrison, Brian Amento, Stacey Kuznetsov, and

- Robert Bell. Rethinking the progress bar. In *Proceedings of the 20th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 115–118, 2007.
- [21] Chris Harrison, Zhiquan Yeo, and Scott E Hudson. Faster progress bars: manipulating perceived duration with visual augmentations. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pp. 1545–1548, 2010.
- [22] Woojoo Kim, Shuping Xiong, and Zhuoqian Liang. Effect of loading symbol of online video on perception of waiting time. *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol. 33, No. 12, pp. 1001–1009, 2017.
- [23] Jess Hohenstein, Hani Khan, Kramer Canfield, Samuel Tung, and Rocio Perez Cano. Shorter wait times: the effects of various loading screens on perceived performance. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 3084–3090, 2016.
- [24] Chien-Hsiung Chen and Shasha Li. The effect of visual feedback types on the wait indicator interface of a mobile application. *Displays*, Vol. 61, p. 101928, 2020.
- [25] Stephen A Brewster, Peter C Wright, and Alistair DN Edwards. An evaluation of earcons for use in auditory human-computer interfaces. In *Proceedings of the INTERACT'93 and CHI'93 conference on Human factors in computing systems*, pp. 222–227, 1993.
- [26] Michel Beaudouin-Lafon and Stéphane Conversy. Auditory illusions for audio feedback. In *Conference companion on Human factors in computing systems*, pp. 299–300, 1996.
- [27] Eve Hoggan, Roope Raisamo, and Stephen A Brewster. Mapping information to audio and tactile icons. In *Proceedings of the 2009 international conference on Multimodal interfaces*, pp. 327–334, 2009.
- [28] Richard A Block and Simon Grondin. Timing and time perception: A selective review and commentary on recent reviews. *Frontiers in psychology*, Vol. 5, p. 648, 2014.
- [29] Dan Zakay, Richard A Block, et al. An attentional-gate model of prospective time estimation. *Time and the dynamic control of behavior*, Vol. 5, pp. 167–178, 1995.
- [30] Jia Ma, Jiamei Lu, and Xu Li. The influence of emotional awareness on time perception: Evidence from event-related potentials. *Frontiers in Psychology*, Vol. 12, p. 704510, 2021.
- [31] Patricia Cornelio, Carlos Velasco, and Marianna Obrist. Multisensory integration as per technological advances: A review. *Frontiers in neuroscience*, Vol. 15, p. 652611, 2021.
- [32] Adele Diederich and Hans Colonius. The time window of multisensory integration: relating reaction times and judgments of temporal order. *Psychological review*, Vol. 122, No. 2, p. 232, 2015.
- [33] Nicholas P Holmes and Charles Spence. Multisensory integration: space, time and superadditivity. *Current Biology*, Vol. 15, No. 18, pp. R762–R764, 2005.
- [34] Alexander T Adams, Jean Costa, Malte F Jung, and Tanzeem Choudhury. Mindless computing: designing technologies to subtly influence behavior. In *Proceedings of the 2015 ACM international joint conference on pervasive and ubiquitous computing*, pp. 719–730, 2015.
- [35] Jean Costa, François Guimbretière, Malte F Jung, and Tanzeem Choudhury. Boostmeup: Improving cognitive performance in the moment by unobtrusively regulating emotions with a smartwatch. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, Vol. 3, No. 2, pp. 1–23, 2019.
- [36] Kyosuke Futami, Tomoya Seki, and Kazuya Murao. Unconscious load changer: Designing method to subtly influence load perception by simply presenting modified myoelectricity sensor information. *Frontiers in Computer Science*, Vol. 4, p. 914525, 2022.
- [37] Kyosuke Futami, Tsutomu Terada, and Masahiko Tsukamoto. Success imprinter: A method for controlling mental preparedness using psychological conditioned information. In *Proceedings of the 7th Augmented Human International Conference 2016*, pp. 1–8, 2016.
- [38] Shoichi Tagami, Shigeo Yoshida, Nami Ogawa, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Routine++ implementing pre-performance routine in a short time with an artificial success simulator. In *Proceedings of the 8th Augmented Human International Conference*, pp. 1–9, 2017.
- [39] Kyosuke Futami, Daisuke Kawahigashi, and Kazuya Murao. Mindless memorization booster: A method to influence memorization power using attention induction phenomena caused by visual interface modulation and its application to memorization support for english vocabulary learning. *Electronics*, Vol. 11, No. 14, p. 2276, 2022.
- [40] Riku Arakawa and Hiromu Yakura. Mindless attractor: A false-positive resistant intervention for drawing attention using auditory perturbation. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–15, 2021.
- [41] Gideon B Keren and Jeroen GW Raaijmakers. On between-subjects versus within-subjects comparisons in testing utility theory. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, Vol. 41, No. 2, pp. 233–247, 1988.
- [42] Pang Suwanaposee, Carl Gutwin, and Andy Cockburn. The influence of audio effects and attention on the perceived duration of interaction. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 159, p. 102756, 2022.
- [43] Wilder Penfield and Edwin Boldrey. Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. *Brain*, Vol. 60, No. 4, pp. 389–443, 1937.
- [44] Patrick Haggard, Marisa Taylor-Clarke, and Steffan Kennett. Tactile perception, cortical representation and the bodily self. *Current Biology*, Vol. 13, No. 5, pp. R170–R173, 2003.
- [45] Yann Coello and Alice Cartaud. The interrelation between peripersonal action space and interpersonal social space: psychophysiological evidence and clinical implications. *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. 15, p. 636124, 2021.
- [46] Andrea Serino, Elisa Canzoneri, Marilena Marzolla, Giuseppe Di Pellegrino, and Elisa Magosso. Extending peripersonal space representation without tool-use: evidence from a combined behavioral-computational approach. *Frontiers in behavioral neuroscience*, Vol. 9, p. 4, 2015.