

知覚刺激を提示するウェアラブルデバイスが ユーザの主観時間に与える影響

清水 友順^{1,a)} 双見 京介^{2,b)} 寺田 努^{1,c)} 塚本 昌彦^{1,d)}

受付日 2020年5月14日, 採録日 2020年11月5日

概要: 人が主観的に判断する時間経過である主観時間の制御を実現できれば, 楽しい時間を長く感じることや退屈な時間を短く感じることができる. そのため, 先行研究では PC 上での知覚刺激量の操作によって主観時間を制御するシステムの提案が行われてきた. しかしながら, 主観時間の制御は PC 上での作業だけではなく, 日常生活の様々なタスクにおいても必要となる. そこで本研究では, 知覚刺激提示に基づく主観時間制御の利用シーンを拡大するため, ウェアラブルデバイスのつねに知覚刺激を提示可能な特徴に着目したシステムの提案を行った. 実験では, 頭部装着型ディスプレイによる視覚刺激, イヤホンによる聴覚刺激, スマートウォッチによる触覚刺激の3つのプロトタイプを実装し, 3種類の刺激パターンを比較した. また, デバイス装着や知覚刺激が実験課題や主観的な認知に与える影響についても議論した.

キーワード: ウェアラブルコンピューティング, 情報提示, 充実時程錯覚, 時間評価, 知覚刺激

Information Presentation System for Manipulating User's Subjective Time Using Wearable Devices

TOMOYUKI SHIMIZU^{1,a)} KYOSUKE FUTAMI^{2,b)} TSUTOMU TERADA^{1,c)} MASAHIKO TSUKAMOTO^{1,d)}

Received: May 14, 2020, Accepted: November 5, 2020

Abstract: Controlling a user's passage of subjective time can improve their experiences such that a fun time becomes longer and a boring time becomes shorter. Thus, previous studies have proposed systems that control a user's subjective time based on presenting sensory stimuli in a PC. However, there are scenes that need to control subjective time during not only using PC but also daily-life. This paper focusses on wearable devices that enable to always present sensory stimuli and proposed the system controlling the user's subjective time for expanding use-case. The experiment evaluated the system that presents stimuli using a head-mounted display, earphones, and a smart-watch. Then, we conducted the within-subjects experiment that assigns 12 subjects to conditions of three prototypes and three stimulus-control patterns and asked to estimate the passage of time. Also, we discussed the influence on the experimental task and the subjective cognition from the devices or the stimuli.

Keywords: wearable computing, information presentation, filled-duration illusion, time estimation, sensory stimulus

1. はじめに

人が主観によって見積もる時間経過（主観時間）は様々な要因によって変化し, 時間的経験への満足感に影響を与えている. たとえば, 朝の起床後であれば代謝の低さと脳の覚醒レベルの低さが原因となり, 客観的な時間の速さを過小評価してしまうため [1], 外出前の朝支度の時間を慌ただしく過ごしたように感じてしまう可能性がある [2]. ほ

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University, Kobe,
Hyogo 657-8501, Japan

² 立命館大学情報理工学部
College of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

a) shimizu-tomoyuki@stu.kobe-u.ac.jp

b) futami@fc.ritsumeikan.ac.jp

c) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

d) tuka@eedept.kobe-u.ac.jp

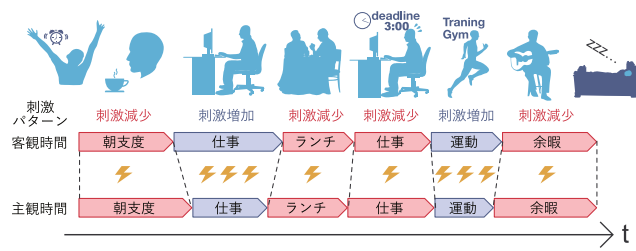


図 1 主観時間制御システムの利用イメージ

Fig. 1 Usage scene of system controlling subjective time.

かにも時間感覚に関する研究では時間に注意が向くほどその時間を長く感じてしまうとされている [3]。よって、楽しい時間などに没頭して何かを行っているときは時間への意識が薄まるので時間を短く感じ、ただ待っているだけの退屈なときは時間に意識が向きやすいので時間を長く感じてしまう [2]。このように時間感覚には身体の代謝や脳の覚醒レベル、認知や心理といった要因が深く関わっており、これらを自力で制御するのは容易ではない。

一方で、視覚や聴覚、触覚における知覚刺激が主観時間に影響を与えることが確かめられている。たとえば、知覚刺激の量や回数によって主観時間が変化する充実時程錯覚 (FDI: filled-duration illusion) [4], [5] という現象が知られている。この現象は、より速い映像、テンポのより速いメトロノーム音というようなより多くの刺激で満たされた時間である充実時程と、それより少ない刺激しかない時間である空虚時程を比較したときに、充実時程がより長い時間に感じられるという現象である。ユーザが受ける刺激の増減はコンピュータによって容易に制御できるため、図 1 のような主観時間制御を単純な刺激制御で実現できる可能性がある。このような現象をふまえて、デスクトップコンピュータの視覚情報を用いてユーザの主観時間を意図的に制御する手法が提案されており、PC 画面の周辺視野にあたる領域に提示した視覚刺激の速度変化によって主観時間が変化することが報告されている [6]。

しかしながら、これまでの先行研究ではデスクトップ型 PC を用いて刺激提示を行っており、利用シーンは限られている。たとえば、従来のコンピュータディスプレイを用いて視覚刺激を提示する場合では、ユーザがディスプレイを閲覧し続ける作業でしか主観時間制御を実現することができない。そのため、主観的な時間を制御するシステムを日常生活のより多くのシーンで活用するためには、ディスプレイやマウス、キーボードを持つようなデバイスのみで検証されるべきではない。

このように、コンピュータ内の作業だけではないシーンを想定すると、ウェアラブルデバイスは主観時間制御システムの利用シーン拡大に適した特徴を持つ。ウェアラブルデバイスはハンズフリーであり、なおかつ様々な知覚モダリティを通して情報を提示できるため、ユーザは日常生活のタスクをこなしながらつねに知覚刺激提示を受けること

が可能である。たとえば、頭部装着型ディスプレイ (HMD: head-mounted display) 上のアニメーション速度を制御することや、イヤホンから流れる BGM のテンポを制御すること、スマートウォッチのようなつねに肌に接しているデバイスを使って振動を提示することが考えられる。しかしながら、このようなウェアラブルデバイスを用いた主観時間制御手法の実現可能性は検証されていない。たとえば、次の観点の検証が必要と考えられる。情報機器の観点においては、HMD やスマートウォッチやイヤホンといったウェアラブルデバイスから提示される視覚や聴覚や触覚の刺激によって、主観時間を変化させる手法を検討する必要がある。この点について、先行研究ではデスクトップコンピュータ画面の視覚刺激を用いた手法のみが検討されている。また、ユーザ状況の観点においては、ユーザの注意が実世界で何らかの活動を行っている状況を対象に、手法の有効性を検証する必要がある。先行研究はデスクトップコンピュータ画面の前で画面を注視するユーザ状況を対象に検証している。また、手法が起こす悪影響の観点においては、主観時間制御のための刺激の提示がユーザの実世界で行う作業を邪魔することやユーザを不快にするかなどを検証する必要がある。先行研究はユーザが実世界で活動しながら、刺激を知覚チャンネルに重畳する状況は検証していないため、この観点での検証が行われていない。

これらの問題から、本研究では知覚刺激提示に基づく主観時間制御の利用シーンを拡大するため、ウェアラブルデバイスによる知覚刺激提示システムの提案と評価を行った。ウェアラブルデバイスとして、視覚刺激を提示する頭部装着型ディスプレイ (HMD: head-mounted display)、聴覚刺激を提示するイヤホン、触覚刺激を提示するスマートウォッチの 3 種類を評価した。また、これらのウェアラブルデバイスに実装した知覚刺激は、主観時間制御を行う開始時刻の前後で知覚刺激の増減を起こすことで充実時程錯覚を再現することを狙った。そして、評価実験は 12 名を対象に行い、実世界でタスクを行っている被験者を対象に提案手法の有効性を評価した。

以下、本稿では 2 章で関連研究について述べ、3 章で提案手法について説明する。4 章で実装、5 章で実験と結果について考察し、6 章でまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

2.1 知覚刺激と主観時間に着目したコンピュータシステム

本研究と同様に知覚刺激によって主観時間が変わることに着目したシステムがある。伴ら [7] は単純作業の効率を向上させる目的で実際よりも速く進む時計やゆっくり進む時計を画面に表示する実験を行い、その中で時間経過の感じ方を調査している。この研究の中では、明滅する視覚刺激を提示した場合にゆっくり明滅させた条件で時間を長く感じたことを報告している。この結果は、刺激量が多いほ

ど時間を長く評価するという一般的な充実時程錯覚とは逆の結果である。一方で、Yamane ら [8] も単純作業の効率を向上させる目的で時計のチクタク音のスピードの制御を行い、その実験の中で作業完了時間の主観評価を得ているが、こちらの研究では有意な差は得られていない。これらの研究は、実験心理学の時間知覚研究とはやや矛盾する結果を含んでいるが、そもそもユーザの作業効率の向上を目的としているため、むしろ時間経過の感じ方が行った作業量による影響を受けている可能性を示唆している。また、伴ら [7] と Yamane ら [8] の主観時間に関する矛盾した結果については、視覚と聴覚という違いがあるため、知覚チャネルによる影響の違いも検討の余地がある。

一方で、本研究と同様に松井ら [6] は PC 操作の待ち時間を短く感じさせる利用シーンを想定して、PC 上で周辺視野を運動する視覚刺激を加速・減速させるように提示し、主観時間への影響を調査している。しかし、この研究では PC 上での作業と視覚刺激に着目しており、利用シーンは限られている。FDI は視覚、聴覚および触覚のいずれでも起きることが確認されている [4] ため、ウェアラブルデバイスによってマルチモーダルな主観時間制御システムを構築できれば、利用シーンを広げることができる。たとえば、視覚刺激提示が難しい車の運転中や映画など視聴しているときは触覚刺激で主観時間を制御するといったケースが考えられる。視覚障害者向けに振動刺激による時計 [9] も販売されており、そのようなデバイスに主観時間制御を応用することも考えられる。また、知覚刺激による主観時間制御システムの利用シーンが広がると制御可能な主観時間もより長いものを想定する必要がある。松井らの研究では、実験で設定した時間が最大の場合で 160 秒程度であり、退屈な会議など大きくまとまった時間の時間的経験をより良いものに改善する利用においても、松井らの提案システムがそのまま利用が可能であるかは検討の余地がある。たとえば、長い時間で知覚刺激を提示するのであれば、ユーザが刺激に順応し影響が出にくくなる可能性は問題となる。よって、本研究ではウェアラブルデバイスで FDI を応用した刺激を提示することを念頭に、先行研究よりも長い時間の主観時間制御における刺激の影響について検討する。

2.2 FDI と提示時程の長さの関係

本研究は知覚刺激を満たした充実時程と、それより少ない量の知覚刺激あるいは刺激を提示しない空虚時程を比較したときに、主観時間が変わってしまう現象である FDI に基づいた知覚刺激をウェアラブルデバイスの情報提示環境に応用する。FDI は知覚刺激が人の時間評価に影響を及ぼす現象として、多くの研究が行われてきた。たとえば、発光ダイオードなどを用いた回転や点滅のような視覚刺激 [10], [11]、規則的あるいは不規則的に繰り返される短音 [4], [12], [13] や振動 [4]、皮膚との摩擦 [14] などによって

主観的な時間が変化することが報告されており、数十 msec から数秒の提示時間では刺激量の多さが主観時間を長くする方向に作用するという一貫した結果が得られている。

一方で、それらの先行研究より比較的長い 10 秒から数十分といった刺激の提示時間では、知覚刺激と主観時間についての基礎的な研究例はあまり多くない。時間感覚に関する研究では、主観時間について人間が直接把握できる数秒程度の短い時間までを「時間知覚」、記憶などによって間接的に判断される長い時間を「時間評価」と呼び、その区切り方は明確に定まっていなかったが区別している [15]。これまでの時間感覚に関する実験心理学の研究では、FDI を時間知覚における現象として扱っていると考えられる場合が多く、その提示時間が長いときの錯覚効果には従来研究の結果と異なる場合が考えられる。たとえば、Droit-Volet [5] は、比較する時程の長さが長くなると 4 から 6 秒を比較するところで FDI の効果が従来と逆転する、すなわち刺激量が多いほど時間を短く見積もるという従来と逆の結果を報告している。

事例は少ないが、長い時間における知覚刺激と主観時間に関する研究では、Droit-Volet の研究 [5] と同じように、従来の FDI と異なる結果が得られることを示唆する応用研究がある。前述の松井らの研究 [6] では、20 秒から 160 秒の刺激提示時間で実験を行い、周辺視野に提示した視覚刺激の強度を上げると時間を短く見積もる傾向があることを報告している。このように、3 分弱程度の時間であれば、純粋に刺激量を増加させることで時間を短く見積もるという結果が得られている。また、純粋な知覚刺激のみの影響ではないと考えられるが、さらに長い時間において主観時間が変化することを確認した研究として、Wearden [16] は 9 分間の映画を見るグループと、部屋で何もせずに 9 分間待ち続けるグループに分け、映画を見るグループが時間を短く見積もったことを確認した。これらのことから、長い時間においては知覚刺激の増加によって時間を短く見積もるようになる可能性がある。

2.3 FDI 研究における実験タスク

従来の FDI 研究では、本研究のように実空間に情報を重量する形での刺激提示によっても、主観時間が変化するのは明らかにされていない。たとえば、刺激を提示した後に時間の長さを答えさせる実験 [13], [14]、2 種類の刺激を提示して主観的に長いあるいは短いと感じた刺激を答えさせる実験 [4], [5], [17], [18] や、文章の読み上げ課題における文章の難易度 [19] や複雑性 [20]、見慣れたものであるかどうか [21] を変化させる実験などが行われてきたが、刺激に無関係なタスクを被験者に課することなく、ほぼすべての注意が刺激に向くような環境で実験を行っている。しかし、実際に知覚刺激による主観時間制御が行われるシーンを想定すると、ユーザはずっと刺激に注意を向けるので

はなく、実空間に注意が向いている状態であると考えられる。よって、本研究ではより実環境での利用を想定し、被験者に対してデスクワークを課して、そこに刺激情報を重量させて主観時間の変化を測定する。

2.4 錯覚を利用した情報インタフェース

近年、本研究と同様に、コンピュータ上で起きる錯覚や心理現象の調査や応用システムが多く研究されてきており、それらは刺激や情報に対してユーザの心身が意図せず反応することを示唆している。たとえば、Costaらは触覚刺激で心拍情報を常時提示するシステムにおいて、心拍値の知覚がユーザの不安程度や認知機能を無意識に変化させる現象を示し、虚偽の心拍情報を実際よりも低くなるように提示することでユーザの精神状態や認知機能を向上させる手法を提案している [22], [23], [24]。そのほかにも古典的条件付けによるメンタル制御 [25] やフレーミング効果による行動改善 [26]、プライミング効果による実世界情報への引き込み [27]、成功の迫体験によるタスク成功率の向上 [28]、積極的な情報改変によるユーザ体験の改善 [29], [30], [31], [32], [33] や行動変容 [34], [35], [36] などの心理的影響を狙ったシステムの研究例がある。これらの研究から、配色や数値、提示オブジェクトの形など様々な情報がユーザの意図にかかわらず心身に影響を与える可能性が示されている。

特に、ウェアラブルデバイスのような常時情報を提示する環境では従来以上の影響を与える可能性が考えられる。ウェアラブルデバイスが提示する知覚刺激も同様に、主観時間に対してネガティブ・ポジティブ双方の影響を与える可能性が考えられるため、ウェアラブルデバイスを想定した主観時間制御システムを確立する必要があると考えられる。

3. 提案手法

提案手法は、ウェアラブルデバイスが提示する刺激を利用して、ユーザの主観時間を制御するものである。利用するウェアラブルデバイスとしては、HMDやイヤホンやスマートウォッチといった機器を想定する。ウェアラブルデバイスはユーザが実世界における作業や活動を行っている間にユーザへ刺激を提示できるため、実世界で活動をしているユーザを対象にして主観時間を制御できる。

刺激パターンはユーザに知覚される刺激量を変化させることで、主観時間を制御するものである。本手法における刺激量の変化パターンの流れを図2に示す。主観時間の制御が必要な時間をターゲット時間とし、その直前の時間をプリターゲット時間とする。プリターゲット時間における刺激量を基準として、その基準からの刺激量の増減の変化をターゲット時間に起こす。

刺激量の変化パターンは刺激減少パターンと刺激増加パ

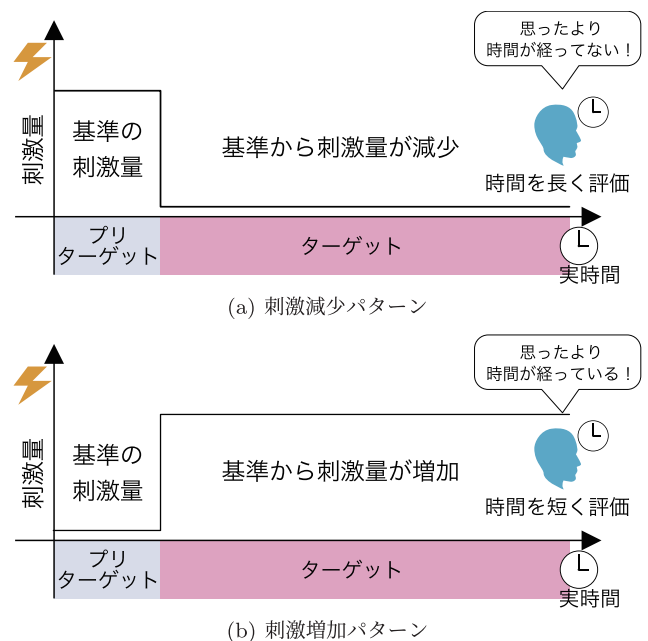


図2 刺激パターンと時間の感じ方の仮説

Fig. 2 Hypothesis in subjective time with stimulus pattern.

ターンの2つである。

図2(a)の刺激減少パターンはターゲット時間における時間評価を長くすることを狙っている。刺激量の操作手順としてはプリターゲット時間で基準となる刺激を提示し、ターゲット時間で刺激量を減少させる。この操作では、刺激が少なくなったターゲット時間は長く評価されることを想定している。その理由は、Droit-Volet [5]の研究から、比較する時間が長くなるにつれて、刺激が多いことによって時間評価が短くなるという通常とは逆のFDIの結果が得られているためである。その点に関して、松井ら [6]も数分程度の刺激提示実験において、加速的な視覚刺激提示によって体感時間は短く評価され、通常と異なる結果を得たことを報告している。そのため、本研究は数分以上の長い時間を対象にしたFDIでは、刺激量が多い場合に時間は短く評価されるという仮説に基づいている。このように、プリターゲット時間からの相対的な刺激量の減少によって、ターゲット時間はより長く評価されると考えられる。

図2(b)の刺激増加パターンはターゲット時間における時間評価を短くすることを狙っている。刺激量の操作手順としては、刺激減少パターンの逆操作を行えばよく、プリターゲット時間で基準となる刺激を提示し、ターゲット時間で刺激量を増加させる。この操作では、刺激が多くなったターゲット時間は短く評価されることを想定している。その理由は、刺激減少パターンと同じく、数分以上の長い時間を対象にしたFDIでは、刺激量が多い場合に時間は短く評価されるという仮説に基づいているためである。このように、プリターゲット時間からの相対的な刺激量の増加によって、ターゲット時間はより短く評価されると考えられる。

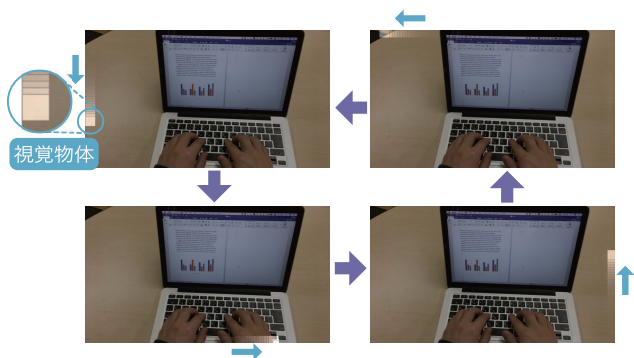


図 3 視覚刺激提示システム利用時の視界

Fig. 3 View during use of system presenting visual stimulus.

4. 実装

提案手法のプロトタイプシステムを、次の3種のウェアラブルデバイスを用いて実装した。

● HMD を用いた視覚刺激提示システム

光学シースルー型 HMD を用いて、Tayama ら [11] を参考にした視覚刺激を提示する。視覚刺激は周辺視野を反時計回りに動く視覚物体であり、図 3 に示すように、光学シースルー型 HMD の表示領域の端に反時計回りに視覚刺激が動く。システムは、光学シースルー型 HMD (EPSON MOVERIO BT-200, 960×540 pixel) のみで構成される。この HMD の画面サイズは仮想的な 320 インチのスクリーンを 20m 離れた距離で見るのに相当する。視覚物体の 1 辺のサイズは 40 pixel であり、動く速度は Tayama ら [11] と同程度の時間間隔で 1 周するように約 2,000 pixel/s に設定した。開発には Android SDK を用いた。

● イヤホンを用いた聴覚刺激提示システム

イヤホンを用いて、先行研究 [4], [12] を参考にした一定周期で繰り返されるピープ音を提示する。ピープ音が鳴る時間幅は約 200 ミリ秒であり、1 秒周期で繰り返し鳴るように設定した。システムは、イヤホン (Apple EarPods), PC (Thinkpad X240, Core i7 4600U, 8 GB) から構成される。ピープ音は音楽ソフトウェアである SonicPi を用いて作成した。

● スマートウォッチを用いた触覚刺激提示システム

先行研究 [4] を参考にして、一定周期で繰り返される短い触覚振動刺激をスマートウォッチによって提示する。短い振動刺激はスマートウォッチ (ASUS ZenWatch) を用いて提示した。開発には Android SDK を用いた。触覚振動刺激の振動 1 回分の時間幅はスマートウォッチの振動時間が短すぎると動作が不安定であったため 500 ミリ秒とし、2 秒周期で繰り返すように設定した。また、実験中は時刻が見えないようにするために、スマートウォッチの時計表示画面はカバーによって隠した。

5. 評価実験

本実験ではユーザが実世界における作業・活動をしている際に、提案手法がユーザの主観時間を制御できるかを検証した。被験者は 12 名 (男性 9 名, 女性 3 名), 平均年齢は 22.3 歳 (21~24 歳) の日本人であった。

検証項目

本実験では、提案手法の有効性を次の観点で検証する。

- **主観時間制御の観点：** 提案手法がユーザの主観時間を操作できるかを検証する。本実験では、実世界でのタスクをしている状況のユーザを対象にする。この状況では、ユーザの注意は実世界で行っている対象 (作業) に向くため、ウェアラブルデバイスからの刺激は特に意識せずに知覚されると想定する。このような状況で提案手法の効果があるかを検証する。
- **ユーザの活動や精神に起こす悪影響の観点：** 提案手法の利用によって、ユーザおよびユーザの行う活動が悪い影響を受けるかを検証する。たとえば、提案手法の刺激提示がユーザの実世界で行う作業の妨げになることや、ユーザの精神的不快感を増加させることになると、ユーザにとって都合が悪い。そこで、本実験では、提案手法の利用によって、タスクの作業効率や精神的不快感がどの程度変わるかを検証する。

タスク

被験者が行うタスクは、実世界での活動として一般的なものとして、デスク上での手を動かしながらの認知作業とした。具体的に被験者が行うタスクは、紙面の上で点をつないで 1 つの絵を完成させる単純なパズルである「点つなぎ」である。用紙にはあらかじめ点と番号が書いてあり、被験者は番号が 1 の点を始点として、番号を昇順に点をペンでつなぐ。点つなぎ用紙は、すべての試行で B3 サイズの 1,000 点に統一された絵であり、難易度の差はない。また、事前に練習期間を与えるため、実験中の被験者間の習熟度の変化はないものと見なした。すべての実験を終了した後、表 1 の項目 4 によって、タスクに対するモチベーションの回答を得た。タスクの時間は被験者には伝えず、時間評価の測定時間は 20 分に設定した。加えて、毎試行同じ時間に終了すると時間を推測する手がかりを被験者に与えてしまうため、20 分経過後はランダムな時間が経過するまで同じタスクを継続させてから終了を指示した。先行研究は数十秒や数分程度の時間幅に対する主観時間制御の効果を検証しているが、提案手法は事務作業中などの、先行研究で検証された時間幅よりも長い活動時間を主観時間の制御対象とできれば望ましいと考え、この時間に設定した。

提案手法による悪影響の測定指標

指標は 2 つである。1 つ目は、タスクの作業効率である。これは点つなぎの数を指標とする。2 つ目は、表 1 に示す

表 1 実験後アンケートによる測定指標

Table 1 Questionnaire items after experiment.

質問項目		選択肢
1-a	HMD をつけていて違和感を感じましたか?	1：違和感はなかった，5：違和感があった
1-b	イヤホンをつけていて違和感を感じましたか?	
1-c	スマートウォッチをつけていて違和感を感じましたか?	
2-a	視覚刺激を意識しましたか?	1：ほとんど意識しなかった，5：かなり意識した
2-b	聴覚刺激を意識しましたか?	
2-c	触覚刺激を意識しましたか?	
3-a	視覚刺激がタスクの邪魔をしたと思いますか?	1：邪魔をしなかった，5：邪魔をした
3-b	聴覚刺激がタスクの邪魔をしたと思いますか?	
3-c	触覚刺激がタスクの邪魔をしたと思いますか?	
4	タスクのモチベーションはどの程度ありましたか?	1：まったくなかった，5：かなりあった



図 4 実験デザイン

Fig. 4 Experimental design.

アンケート項目のうち 1 から 3 である。これは，ウェアラブルデバイス装着に対する違和感，刺激への意識度合い，刺激の邪魔度合いを問う内容である。

刺激の提示条件

刺激の提示条件は 9 種類である。まず，刺激を提示する知覚チャネルの条件が 3 種類で，視覚刺激を提示する HMD を用いた条件，聴覚刺激を提示するイヤホンを用いた条件，触覚刺激を提示するスマートウォッチを用いた条件である。次に，刺激パターンは 3 種類で，刺激減少パターン，刺激増加パターン，無刺激パターンである。無刺激パターンは，提案手法の有効性の比較のための統制条件であり，プリターゲットおよびターゲット時間のいずれにおいてもいっさい刺激を提示しない。評価実験で利用する刺激の増減パターンは，刺激の ON と OFF によって行った。つまり，視覚刺激の刺激減少パターンはプリターゲット時間で 2,000 pixel/s の視覚物体を表示し，ターゲット時間で刺激を提示しないパターンである。これらの知覚チャネル 3 条件と刺激パターン 3 条件による 3×3 の 9 条件で実験を行った。これらの実験全体の流れを図 4 に示す。

場所および，機材確保の問題から同じ刺激は同日中に行ったため，被験者が実験に要する時間は 3 日間であった。実験条件の試行順序は知覚チャネルおよび刺激パターンごとに無作為な順序で実施し，試行順序が条件間の比較に影響を与えないように配慮した。

実験全体の手順

被験者が行う 1 試行は，プリターゲット時間が 2 分，ターゲット時間が 20 分の時間からなる。

まず，プリターゲット時間においては，次の 2 点を行う。1 つ目は刺激の量の基準を被験者に作ることである。このために，被験者はタスクを行いながら，前述した刺激の提示条件に応じて，ウェアラブルデバイスから刺激を提示される。2 つ目は後のターゲット時間で経過時間を推定させるための時間的な基準を被験者に作ることである。このために，2 分のプリターゲット時間の終了時点で，被験者にはプリターゲット時間が 2 分の長さであったことを提示する。

そして，ターゲット時間において，被験者はタスクを行いながら次の 2 点を行う。1 つ目は，主観的な経過時間を報告することである。このために，側に置かれた指示音声用 PC からチャイム音が再生されたタイミングで，主観的な経過時間を別紙にメモとして報告するようにあらかじめ指示した。このチャイム音は，分析用のデータとしてターゲット時間開始から 20 分経過時点は必ず再生するようにした。これに加えて，Lavie ら [37] の実験を参考に，1 から 9 分の無作為な間隔でダミーのチャイム音を再生し，毎試行 20 分時点でチャイム音が再生されることを推測されないように配慮した。ターゲット時間は，被験者に実際の時間を知る手がかりを与えず行われた。2 つ目は，被験者に主観的に感じた提案手法への害を報告させることである。

このために，ターゲット時間終了後に前述のアンケートを行わせる。

その他の点は次のようにした。1 人の被験者が 1 試行を，知覚チャネルの種類と刺激のパターンが異なる実験条件で 9 回行う。タスクである点つなぎ完成時の絵柄は 20 種類の



図 5 実験環境

Fig. 5 Experimental environment around participant.

中から、試行ごとで重複なしに無作為に選ばれた。毎試行のプリターゲットと時間からターゲット時間に移るタイミングで新しい用紙に取り替えた。実験時間として1試行に30分以上を要するため、実験は刺激ごとにそれぞれ異なる日に区切って行った。被験者に時間を見積もるときに秒数えしないように指示し、被験者に対して時計などの客観的な時間を示すものがいっさい存在しない環境で行った。実験環境について、その様子を図5に示す。外部の音が聞こえないスタジオで、近くに実験内容の指示音声再生するPCを置き、椅子に座った状態で行われた。

5.1 結果

20分経過時点の時間評価を標本として、知覚チャネルおよび刺激パターンの9条件における平均時間評価を図6に示す。エラーバーは標準誤差を表す。この結果に対して、知覚チャネルの種類と刺激パターンの2要因によるANOVAを行った結果、知覚チャネルの主効果は有意($F(2, 22) = 5.17, p < 0.05$)、刺激パターンによる主効果は有意傾向($F(2, 22) = 2.66, p < 0.10$)であり、この2つの要因に交互作用は見られなかった。図7に、知覚チャネルごとの平均時間評価を示す。*は $p < 0.05$ を表す。知覚チャネルごとの平均時間評価について、LSD法による多重比較を行った結果、HMDによる視覚刺激は聴覚や触覚に比べて有意に時間を短く評価していた($p < 0.05$)。また、刺激パターンごとの時間評価平均においてもLSD法による多重比較を行った結果、刺激減少パターンは無刺激パターンよりも有意に時間を長く評価していた($p < 0.05$)。ただし、これは図6を見る限りでは、聴覚および触覚における刺激パターン間に大きな差は見られないため、視覚条件における刺激減少パターンとその他のパターンの差によって生じた有意差だと考えられる。

作業効率として、各条件において20分間でつないだ点数を図8に示す。20分経過時点でつながれた点の総数を標本として、知覚チャネルの種類と刺激パターンの2要因によるANOVAを行った結果、知覚チャネルに有意差が見られた($p < 0.05$)。知覚チャネルごとのつないだ点数

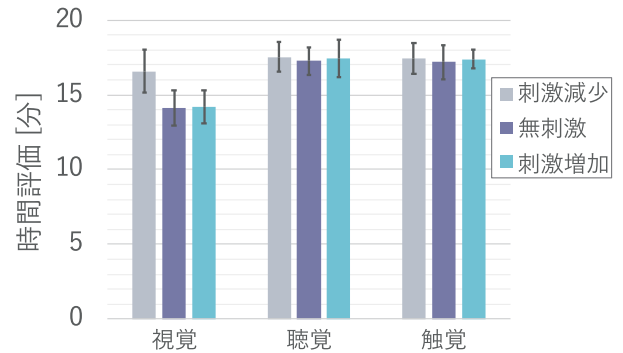


図 6 全条件における20分に対する平均時間評価

Fig. 6 Mean time-estimation for 20 minutes in all conditions.

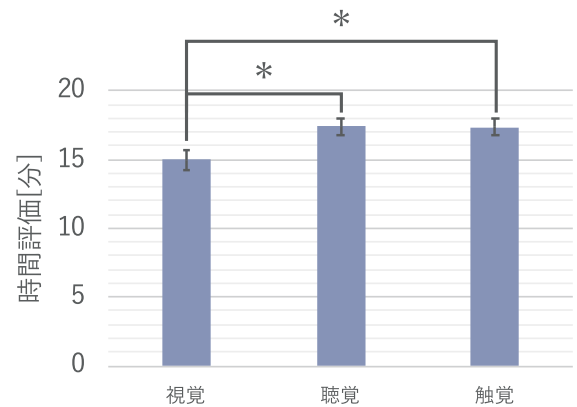


図 7 知覚チャネル条件ごとの20分に対する平均時間評価

Fig. 7 Mean time-estimation for 20 minutes in perceptual conditions.

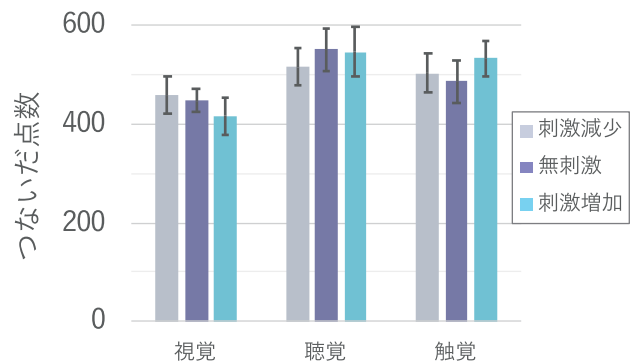


図 8 20分間でつないだ点数の平均値

Fig. 8 Mean number of connected dots in 20 minutes.

について、LSD法による多重比較を行った結果、HMDによる視覚刺激は聴覚に比べて有意に点つなぎ量が減少した($p < 0.05$)。

アンケートについて、違和感、意識度、邪魔度のそれぞれの結果の箱ひげ図を図9に示す。ひげは最小値と最大値、箱は第1四分位と第3四分位を表し、箱中央の太い横線が中央値を表す。これらの結果に対して、フリードマン検定を行ったところ、ウェアラブルデバイスの装着に関する違和感についての回答結果についてのみ有意な差が見られた($p < 0.001$)。下位検定として、Holm法による補正を用い

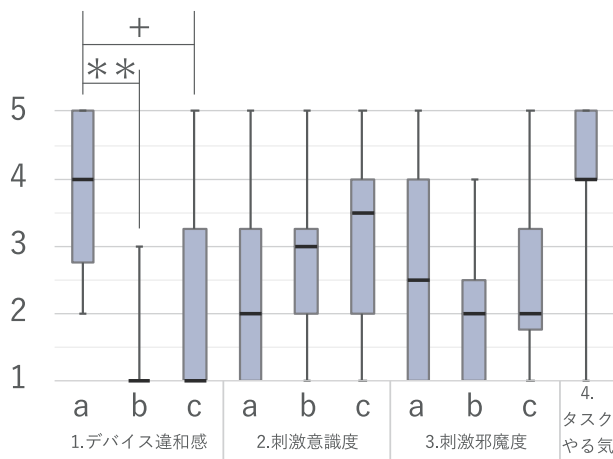


図 9 質問項目の回答結果

Fig. 9 Questionnaire results.

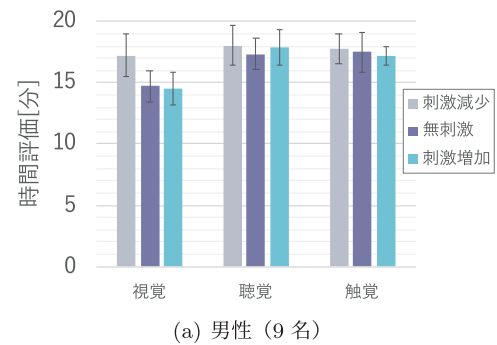
表 2 被験者ごとの時間評価と点つなぎ量

Table 2 Individual results of time estimation and connected dots.

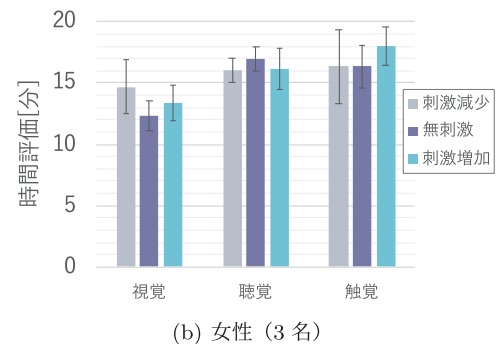
被験者	性別	時間評価			点つなぎ量		
		平均	S.D.	C.V.	平均	S.D.	C.V.
A	男性	21.11	2.47	0.117	521.6	124.4	0.238
B	男性	20.22	3.42	0.169	543.0	90.5	0.167
C	男性	17.44	2.40	0.138	572.0	79.2	0.138
D	男性	19.11	3.91	0.205	401.6	86.0	0.214
E	男性	19.67	2.65	0.135	651.9	132.3	0.203
F	男性	13.83	3.61	0.261	366.2	95.6	0.261
G	男性	14.13	2.87	0.203	476.0	81.3	0.171
H	男性	13.89	2.59	0.186	566.8	101.0	0.178
I	男性	12.81	1.80	0.140	628.6	170.3	0.271
J	女性	16.44	4.10	0.249	436.1	70.6	0.162
K	女性	16.06	2.38	0.148	349.3	60.5	0.173
L	女性	14.22	2.17	0.152	432.7	95.7	0.221
平均	男性	16.91	4.15	0.245	525.3	138.9	0.264
	女性	15.57	3.05	0.196	406.0	84.5	0.208
	全体	16.58	3.93	0.237	495.5	137.3	0.277

た Wilcoxon の符号付き順位と検定を行った結果, HMD 装着による違和感はイヤホン装着よりも有意 ($p < 0.01$), スマートウォッチ装着よりも有意傾向 ($p < 0.10$) な差が見られた.

最後に, 本実験参加者の特性について補足するため, 個人差について分析した. まず, 表 2 に各被験者の時間評価と点つなぎ量に関して, 平均値と標準偏差 (S.D.), 変動係数 (C.V.) を示す. 変動係数による比較を行うと, 本実験で得られた全標本から求めた変動係数は被験者 F と J の時間評価を除いて各被験者の変動係数を上回っており, 個人内の変動に比べると個人間の変動のほうが大きいケースが多いことが分かった. 次に, 性別で分類した各条件における時間評価を図 10 に示す. 知覚チャンネル条件, 刺激パターン条件に性別の条件を加えた 3 要因被験者混合計画と見なして再度 ANOVA を行ったところ, 前述の分析同様に知覚



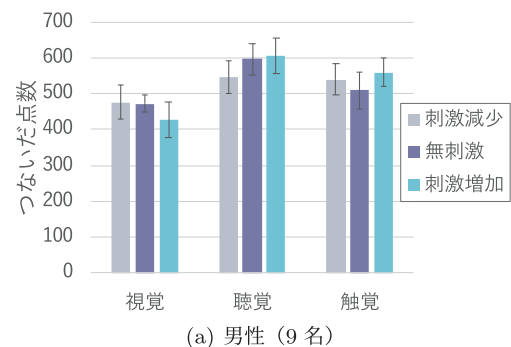
(a) 男性 (9 名)



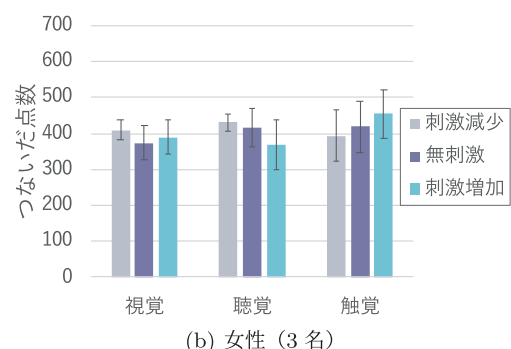
(b) 女性 (3 名)

図 10 性別ごとの平均時間評価

Fig. 10 Mean time-estimation by sex conditions.



(a) 男性 (9 名)



(b) 女性 (3 名)

図 11 性別ごとのつないだ点数

Fig. 11 Mean number of connected dots by sex conditions.

チャンネル条件において有意差が示された ($F(2, 20) = 4.44$, $p < 0.05$). しかしながら, 性別と刺激パターンの要因については有意な差は確認できなかった. また, 図 11 の点つなぎ数についても, 時間評価と同様の 3 要因で ANOVA を行ったところ, 性別に有意傾向の差が見られ, 男性のほうが 20 分時点で多くの点数を結んでいた ($F(1, 10) = 4.06$, $p < 0.10$).

5.2 考察

主観時間への影響について

提案手法が主観時間に影響したかについて、刺激パターン、知覚チャネル、タスクの3つの観点から考察する。

まず、刺激パターンの条件の間で主観時間に差があったことから、今回提案した刺激パターンによって主観時間が変わることが分かった。具体的には、視覚刺激条件の刺激減少パターンによって刺激無しよりも被験者の主観時間が増加した。これについては、仮説どおりの結果だったため、視覚刺激条件において提案手法が有効に働いたと考えられる。一方、刺激増加パターンは無刺激パターンとの比較から、被験者の主観時間に影響しなかったと考えられる。この点に関しては、さらなる調査が必要であるが以下のような可能性が考えられる。まず1つは、刺激増加パターンは、20分間つねに刺激提示を受ける条件であるが、ユーザが同じ刺激に慣れて差が出にくくなるという可能性である。この点に関してはターゲット時間を20分時点のみではなく、より短い時間に設定した調査が必要である。次に、ターゲット時間が長くなるほど知覚以外から時間を判断する必要があるため、20分という長さでは刺激よりも記憶による影響が支配的となる可能性もある。Ornstein [38] は「蓄積容量説」というモデルにおいて、心理的な時間は記憶を手がかりに形成されるという説明を行っている。この考え方に基くと、刺激減少パターンでは知覚刺激によって歪められたプリターゲット時間の時間感覚を記憶することで、相対的にターゲット時間が長く評価されたという説明ができる。この点に関しては、複数のターゲット時間を設定することや、プリターゲット時間とターゲット時間の比率を変えて実験を実施することが必要であると考えられる。以上のことから、今回実装した視覚刺激の刺激減少パターンによって、ユーザの主観時間を増加させることは可能であることが確認できた。

次に、知覚チャネルの条件の間で主観時間に差があったことから、知覚チャネルの種類によって主観時間が変わることが分かった。具体的には、視覚刺激を提示するシステムを使ったときのほうが、聴覚および触覚刺激を提示するシステムを使ったときよりも主観時間が低下し、その他のチャネルの間で有意差は見られなかった。この結果は、視覚刺激を提示すること自体もしくはHMDを装着すること自体によって、主観時間が短くなることを示している。この原因としては、2点考えられる。まず、刺激の知覚器官の観点としては、知覚チャネルによって主観時間に与える影響度合いが異なる可能性が考えられる。Goldstone [39], [40]によると、同じ刺激提示時間であっても、聴覚刺激の場合のほうが視覚刺激の場合よりも過大評価されることを報告している。Goldstoneらの研究と本研究を単純に比較はできないが、同様に知覚チャネルによって影響度合いが異なるということは今後検討する余地があると考え

られる。次に、利用機器の観点としては、アンケート結果からウェアラブルデバイスの装着に対する違和感はHMDが最も高いことから、装着時のウェアラブルデバイスの存在感の違いも原因として考えられる。したがって、提案手法を利用するうえでは、HMDを用いたシステムを利用すると、他の情報機器を利用した際よりも主観時間が短くなると考えられる。

最後に、時間評価の平均値の全体的な傾向として、今回の実験において経過時間は実際の時間よりも過小評価されている傾向があった。図6から、時間評価が増加したと考えられる視覚刺激条件の刺激減少パターンにおいても、実際の20分の経過時間に比べると過小評価されている。つまり、本手法は経過時間を過小評価する傾向を緩和するための主観時間制御であれば可能であるが、時間を過大・過小評価する傾向そのものを変えるほどの効果は確認できなかった。このような全体的な過小評価傾向はタスクによる影響が考えられる。Lavieら[37]は何も時間を知る手がかりがない環境で人がどのように時間を見積もるのか長期的な実験を行い、定期的な運動を課した群では運動を課していない群よりも経過時間を過小評価することを報告している。本実験の結果においても、被験者には実際の時間を直接知ることができないよう統制しているため、Lavieら[37]の結果と一致した結果が得られたと考えることができる。また、図9のタスクに対するモチベーションに関する回答から、各被験者は中央値4と過半数以上が高いモチベーションを有しており、心理的な要因によって時間を過小評価した可能性もある。本実験のようにほかに時間を判断する手がかりがないような状況では、タスク自体が時間を判断する手がかりとなり、実際の時間よりも時間は短く評価された可能性がある。これらの点に関しては、より退屈なタスクを課した実験や、あるいは被験者は何もしないという実験を通して確認される必要がある。これらの調査によって、主観時間制御システムをタスクによる影響を織り込んで設計できるようになると考えられる。

ユーザおよびタスクへの悪影響について

提案手法が、ユーザやユーザの作業を害したかについて、作業効率、アンケートの結果の2つの観点から考察する。

まず、点つなぎタスクの作業効率については、視覚刺激を提示した条件が聴覚刺激を提示した条件よりも有意に低下していることから、視覚刺激条件にタスクの妨げになる要因があったことが示唆された。この原因としては、HMD装着によって視野が狭まり、タスクの効率が低下した可能性がある。視覚刺激条件のどの刺激パターンにおいてもHMDは装着して行われたため、視覚刺激条件で全体的に点つなぎ量が減少したと考えられる。一方で、刺激の存在がタスクの妨げになったのだとすると、刺激減少パターンや無刺激パターンはターゲット時間中に視覚刺激を提示しない条件であるにもかかわらず、他の知覚チャネル条件

よりもタスク効率が低下したことを説明できない。そのため、視覚刺激条件における点つなぎ量の減少は、デバイス装着による影響であると考えられる。

次に、アンケート結果については、視覚刺激を意識した程度や、視覚刺激を邪魔と感じた程度は、中央値が5段階中の3以下であったことから、半数以上の被験者は提案した視覚刺激が主観的にはタスクの邪魔をしたと感じていないことが分かる。一方、ウェアラブルデバイスの装着に対する違和感に対して、HMDについては違和感があると回答された。

以上のことをふまえ、デバイスの装着自体の影響は知覚刺激の影響に比べても決して無視できるものではないことが分かった。

主観時間制御手法の利用場面の拡大

実験結果は、従来の主観時間制御手法の利用場면을提案手法が拡大できることを示している。ユーザ状況については、先行研究ではデスクトップPC前の何もしていない待機状況のユーザを対象にした検証しか行われていないが、提案手法を使うことで実世界の多くの場面でユーザの主観時間制御が行えると考えられる。ただし、提案手法の効果がない場面もあると想定しており、たとえば、刺激を受け取れないほど身体や精神の活動が激しい場面などがあげられる。また、主観時間制御の時間幅についても、先行研究では数十秒や数分を対象にした検証しか行われていないが、提案手法を使うことで数十分程度のより長い時間幅の活動を対象にして、主観時間制御ができると考えられる。

主観時間への影響を考慮したインタフェース設計

実験結果は、ウェアラブルデバイスを装着し、それらから刺激を得るだけで、ユーザの主観時間を意図せず歪めてしまう可能性があることも示唆した。この結果から、提案手法のように主観時間制御を目的としないシステムであっても、ウェアラブルデバイスやそれを利用したアプリケーションは、ユーザの主観時間を増減させることを考慮した設計を行う必要があると考えられ、その考慮がよりユーザの体験満足度を向上させることにつながると考えられる。

リミテーションと今後の課題

本稿では、提案手法の有効性を示し、ウェアラブルデバイスを用いた主観時間制御手法の実現可能性を示した。一方、提案手法をブラッシュアップするために、次の点を今後の検討していく。

まず、今回の実験では被験者が経過したと思った時間を言葉として評価する言語評価法を用いたが、時間知覚研究ではスイッチの押下時間などで感じた時間と同じ時間を再現する産出法などほかにも評価方法が存在し、それぞれ時間の過小評価や過大評価傾向が報告されている。そのため、本研究の時間評価の値は他の研究と直接比較できるものではないことには留意しておく必要がある。また、他の評価方法によって提案手法の再評価を行うことも必要である。

また、今回の実験において、聴覚刺激および触覚刺激を提示した場合の刺激パターン間では大きな差が見られなかったが、今回の実装では聴覚刺激と触覚刺激が繰り返される周期が異なるため、これらを揃えたうえで様々な刺激強度で試す必要があると考えられる。Goldstoneら[39], [40]によると、同じ刺激提示時間であっても知覚チャンネルが異なると結果が変わることも考えられるため、どの知覚チャンネルにはどの程度の刺激強度が必要なのかを明らかにする必要がある。

また、今後は時間評価の個人差を生む要因を明らかにすることが必要である。表2の結果では、個人間における結果の変動は個人内の変動よりも同等かそれ以上であると考えられる。今回のように被験者内計画実験の分散分析では個人差の影響は取り除かれるが、被験者間計画の実験を行わざるをえないときにはこのような変動は無視できないと考えられる。また、本実験の被験者には点つなぎ量に性差が見られたが、女性被験者数は少なく、一部の条件では相対的にばらつきが大きいことから、ばらつきが十分に収束するよう男女比は改善する必要がある。

様々な実世界のタスクも今後検討する必要がある。本研究のタスクである「点つなぎ」は視覚に依存したタスクであるため、今回HMDによる視覚刺激を提示した条件で影響を受けやすかった可能性がある。この点は、聞こえてきた文章を読み上げるなどの聴覚を用いたタスクなどを含めて検討する必要がある。

また、視覚刺激を提示するHMDを用いた条件では、装着の違和感や作業効率を下げるのがネックとなる可能性が示された。この点に関しては、LEDのような単純な情報提示機構しか持たない代わりに、通常のメガネと遜色ない装着性を持つメガネ型デバイス[41]も市販されているため、そのような環境を想定した検証を行う。今後、どの程度の強度で視界に変化を起こせば、主観時間制御として十分であるのかを明らかにしていくことで、汎用的なHMDを用いない方向性も考えられる。

今回の実験では、被験者に実際の時間を知る手がかりを与えずに実験を行ったが、実際の利用シーンではユーザが本当の時間を知っている状況も考えられるため、そのような状況でも知覚刺激によってユーザが意図したとおり制御が可能なのかを明らかにする必要がある。

6. まとめ

本研究では、知覚刺激量の操作によって主観時間を制御するシステムの利用場면을コンピュータ外の作業に拡張することを目的として、HMD、イヤホン、スマートウォッチで知覚刺激を提示するプロトタイプシステムを実装した。また、ユーザに知覚させる刺激量の変化を、主観時間制御を行う開始時刻の前後で起こす手法を提案し、実用を考慮して実時間20分に対する時間評価に与える影響を評価した。

結果としては、視覚刺激提示条件における刺激減少パターンの結果から、時間評価を有意に長くできる可能性を示した。被験者に対して課した作業に与える影響についても評価を行い、主観評価ではデバイスの装着によって作業効率の低下を招く可能性が見られた。今後は様々なタスクや知覚刺激の組合せを検討し、被験者の生活に支障をきたさないまま主観時間制御を実現することを目指す。これらの結果から、ウェアラブルデバイスを利用して実世界に刺激を重ねるような環境において、主観時間を制御システムの実現可能性を確認し、その有用性を示した。また、本稿の結果はシステム設計者が意図してユーザの主観時間を制御できることを示した一方で、ウェアラブルデバイスが提示する情報、あるいはウェアラブルデバイスを装着する行為そのものが、無意識にユーザの主観時間を歪めてしまう可能性があることも示した。以上のことから、筆者らはウェアラブルコンピューティング環境のユーザインタフェース設計に本研究結果が応用され、主観時間に着目した様々なアプリケーションへと発展することを期待する。

謝辞 本研究の一部は、JST CREST (JPMJCR16E1, JPMJCR18A3) の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Wearden, J.H. and Penton-Voak, I.S.: Feeling the Heat: Body Temperature and the Rate of Subjective Time, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section B*, Vol.48, No.2, pp.129–141 (1995).
- [2] 一川 誠: 時計の時間, 心の時間, p.84, 教育評論社 (2009).
- [3] Zakay, D. and Block, R.A.: The role of attention in time estimation processes, *Advances in Psychology*, Vol.115, pp.143–164 (1996).
- [4] Buffardi, L.: Factors affecting the filled-duration illusion in the auditory, tactual, and visual modalities, *Perception & Psychophysics*, Vol.10, No.4, pp.292–294 (1971).
- [5] Droit-Volet, S.: A further investigation of the filled-duration illusion with a comparison between children and adults, *Journal of Experimental Psychology, Animal Behavior Processes*, Vol.34, No.3, pp.400–414 (2008).
- [6] 松井啓司, 中村聡史: 周辺視野への視覚刺激提示が時間評価に及ぼす影響, 情報処理学会論文誌, Vol.59, No.3, pp.970–978 (2018).
- [7] 伴 祐樹, 櫻井 翔, 鳴海拓志, 谷川智洋, 廣瀬通孝: 時計の表示時間速度制御による単純作業の処理速度向上手法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.21, No.1, pp.109–120 (2016).
- [8] Yamane, S. and Matsumura, N.: The effect of a ticking clock on task performance, *AI & SOCIETY*, Vol.30, pp.443–449 (2015).
- [9] 愛すまっぷ合同会社: タックタッチ, 入手先 (<http://www.ismap.co.jp/>) (参照 2020-09-01).
- [10] 神宮英夫: 視覚的刺激テンポの充実時程錯覚におよぼす効果, 心理学研究, Vol.53, No.5, pp.296–299 (1982).
- [11] Tayama, T., Nakamura, M. and Aiba, T.: Estimation of Duration for rotating-spot-pattern, *Japanese Psychological Research*, Vol.29, No.4, pp.173–183 (1987).
- [12] Wearden, J.H., Norton, R., Martin, S. and Montford-Bebb, O.: Internal Clock Processes and the Filled-Duration Illusion, *Journal of Experimental Psychology*, Vol.33, No.3, pp.716–729 (2007).
- [13] Thomas, E.A.C. and Brown, I.: Time perception and the filled-duration illusion, *Perception & Psychophysics*, Vol.16, No.3, pp.449–458 (1974).
- [14] Tomassini, A., Gori, M., Burr, D., Sandini, G. and Morrone, M.C.: Perceived duration of Visual and Tactile Stimuli Depends on Perceived Speed, *Frontiers in Integrative Neuroscience*, Vol.5, pp.51:1–51:8 (2011).
- [15] 田山忠行: 近年の時間知覚研究の諸問題とモデル, 北大文学研究科紀要, Vol.155, pp.107–142 (2018).
- [16] Wearden, J.H.: The wrong tree: Time perception and time experience in the elderly, *Measuring the Mind: Speed, Control, and Age*, pp.134–156 (2005).
- [17] Droit-Volet, S., Brunot, S. and Niedenthal, P.: Perception of the duration of emotional events, *Cognition and Emotion*, Vol.18, No.6, pp.849–858 (2004).
- [18] Droit-Volet, S., Ramos, D., Bueno, J. and Bigand, E.: Music, emotion, and time perception: The influence of subjective emotional valence and arousal?, *Frontiers in Psychology*, Vol.4, pp.1–12 (2013).
- [19] Hicks, R.E., Miller, G.W. and Kinsbourne, M.: Prospective and retrospective judgments of time as a function of amount of information processed, *The American Journal of Psychology*, Vol.89, No.4, pp.719–730 (1976).
- [20] Thomas, E.A.C. and Weaver, W.B.: Cognitive processing and time perception, *Perception & Psychophysics*, Vol.17, pp.363–367 (1975).
- [21] Avant, L.L., Lyman, P.J. and Antes, J.R.: Effects of stimulus familiarity upon judged visual duration, *Perception & Psychophysics*, Vol.17, No.3, pp.253–262 (1975).
- [22] Costa, J., Adams, A.T., Jung, M.F., Guimbretière, F. and Choudhury, T.: EmotionCheck: Leveraging bodily signals and false feedback to regulate our emotions, *Proc. 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, pp.758–769, ACM (2016).
- [23] Costa, J., Adams, A.T., Jung, M.F., Guimbretière, F. and Choudhury, T.: EmotionCheck: A Wearable Device to Regulate Anxiety through False Heart Rate Feedback, *GetMobile: Mobile Computing and Communications*, Vol.21, No.2, pp.22–25 (2017).
- [24] Costa, J., Guimbretière, F., Jung, M.F. and Choudhury, T.: BoostMeUp: Improving Cognitive Performance in the Moment by Unobtrusively Regulating Emotions with a Smartwatch, *Proc. ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, p.40 (2019).
- [25] 双見京介, 寺田 努, 塚本昌彦: 条件づけ刺激を用いたメンタル機能制御支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol.58, No.5, pp.1025–1036 (2017).
- [26] Kim, Y., Jeon, J.H., Choe, E.K., Lee, B., Kim, K. and Seo, J.: TimeAware: Leveraging framing effects to enhance personal productivity, *Proc. 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.272–283 (2016).
- [27] Isoyama, N., Terada, T. and Tsukamoto, M.: Primer Streamer: A System to Attract Users to Interests via Images on HMD, *Proc. International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia*, pp.93–94 (2013).
- [28] Tagami, S., Yoshida, S., Ogawa, N., Narumi, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Routine++: Implementing pre-performance routine in a short time with an ar-

- tificial success simulator, *Proc. 8th Augmented Human International Conference*, p.18 (2017).
- [29] Shen, R., Terada, T. and Tsukamoto, M.: A method for controlling crowd flow by changing recommender information on navigation application, *International Journal of Pervasive Computing and Communications*, Vol.12, No.1, pp.87–106 (2016).
 - [30] Narumi, T., Ban, Y., Kajinami, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Augmented perception of satiety: Controlling food consumption by changing apparent size of food with augmented reality, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.109–118 (2012).
 - [31] Maeda, M., Tominaga, T., Hijikata, Y. and Sakata, N.: Controlling virtual body size to reduce discomfort caused by inappropriate interpersonal distance, *Proc. 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers*, pp.192–195 (2016).
 - [32] Yoshida, S., Tanikawa, T., Sakurai, S., Hirose, M. and Narumi, T.: Manipulation of an emotional experience by real-time deformed facial feedback, *Proc. 4th Augmented Human International Conference*, pp.35–42 (2013).
 - [33] Ban, Y., Narumi, T., Fujii, T., Sakurai, S., Imura, J., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Augmented endurance: Controlling fatigue while handling objects by affecting weight perception using augmented reality, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.69–78 (2013).
 - [34] Futami, K., Terada, T. and Tsukamoto, M.: A Method for Controlling Arrival Time to Prevent Late Arrival by Manipulating Vehicle Timetable Information, *Journal of Data Intelligence*, Vol.1, No.1, pp.001–017 (2019).
 - [35] Takeuchi, T., Fujii, T., Ogawa, K., Narumi, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Using social media to change eating habits without conscious effort, *Proc. 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication* pp.527–535 (2014).
 - [36] Adams, A.T., Costa, J., Jung, M.F. and Choudhury, T.: Mindless computing: Designing technologies to subtly influence behavior, *Proc. 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, pp.719–730 (2015).
 - [37] Lavie, P. and Webb, W.B.: Time Estimates in a Long-Term Time-Free Environment, *The American Journal of Psychology*, Vol.88, No.2, pp.177–186 (1975).
 - [38] Ornstein, R.E.: On the Experience of Time, Harmondsworth: *Penguin Books* (1969).
 - [39] Goldstone, S., Boardman, W.K. and Lhamon, W.T.: Intersensory Comparisons of Temporal Judgments, *Journal of Experimental Psychology*, Vol.57, No.4, pp.243–248 (1959).
 - [40] Goldstone, S., Boardman, W.K. and Lhamon, W.T.: Studies of Auditory-visual Differences in Human Time Judgment: 1. Sounds are judged longer than lights, *Perceptual and Motor Skills*, Vol.39, No.1, pp.63–82 (1974).
 - [41] 株式会社なまえがね：雰囲気メガネ，入手先 (<http://fun-iki.com/>) (参照 2020-09-01).



清水 友順

1993 年生。2016 年神戸大学工学部電気電子工学科卒業。2017 年同大学院工学研究科電気電子工学専攻博士前期課程を修了。現在，同大学院工学研究科電気電子工学博士後期課程に在籍。ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの情報提示技術の研究に従事。



双見 京介 (正会員)

1989 年生。2013 年神戸大学工学部電気電子工学科卒業。2015 年京都大学大学院工学部電気電子工学専攻博士前期課程修了。神戸大学大学院工学研究科電気電子工学専攻博士課程後期課程修了。2018 年立命館大学情報理工学部情報理工学科助教，現在に至る。工学博士。ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの情報提示技術の研究に従事。



寺田 努 (正会員)

1974 年生。1997 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。2000 年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手。2005 年より同講師。2007 年神戸大学大学院工学研究科准教授。2018 年より同教授，現在に至る。2004 年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事，2005 年には同機構事務局長を兼務。工学博士。アクティブデータベース，ウェアラブルコンピューティング，ユビキタスコンピューティングの研究に従事。IEEE，電子情報通信学会，日本データベース学会，ヒューマンインタフェース学会の各会員。



塚本 昌彦 (正会員)

1964年生。1987年京都大学工学部数理工学科卒業。1989年同大学院工学研究科修士課程修了。同年シャープ(株)入社。1995年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師。

1996年同専攻助教授。2002年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授。2004年神戸大学電気電子工学科教授。現在に至る。2004年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事長を兼務。工学博士。ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM, IEEE等, 8学会の各会員。