

VR 向け仮想キーボードの位置および角度が 入力性能および作業負荷に与える影響の調査

富永 浩暉 ^{†1}藤田 俊 ^{†2}志築 文太郎 ^{†3}筑波大学 情報理工学位プログラム ^{†1}筑波大学 コンピュータサイエンス専攻 ^{†2}筑波大学 システム情報系 ^{†3}

1 はじめに

VR 空間における仮想キーボードには、ユーザがキーボードを空中の任意の位置および角度にて配置できるという特徴がある。ただし、位置および角度は、仮想キーボードの入力性能およびユーザの作業負荷に影響を与えると考えられる。これらの影響を調査するために、我々は、今回、指によるタップ（空中タップ）により操作される仮想キーボードを対象とし、仮想キーボードの位置（偏角 θ ）および角度（姿勢角 ϕ ）（図 1）の比較実験を行った。

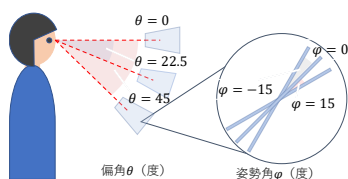


図 1: 仮想キーボードの偏角 θ および姿勢角 ϕ

2 関連研究

空中タップを用いた仮想キーボードによる文字入力の実験はこれまでも行われている [1,2]。Speicher ら [1] は、6つの文字入力手法の入力性能および作業負荷を比較した。Dudley ら [2] は、物理平面上のタップおよび空中タップの入力性能および作業負荷を比較した。これらの研究から、空中タップを用いた文字入力手法の作業負荷は大きくかつ入力性能は低いことが明らかになった。しかし、これらの研究では、仮想キーボードを一定の位置および角度にて表示している。一方、本研究では仮想キーボードの偏角 θ および姿勢角 ϕ を変化した上で調査する。

生体工学の観点からユーザインタフェース設計を行うために、最適な入力位置および角度が調査されている [3,4]。Simoneau ら [3] は、物理キーボードの設置角度の変化に伴う入力性能および作業負荷の違いを調査した。Bachynskyi ら [4] は、ユーザが腕の届く範囲に

設置されたマーカに触れるタスクを行った際の、筋肉の活性化部位ごとにマーカの位置をクラスタリングし、性能の違いを調査した。本研究では、空中タップを用いた仮想キーボードによる文字入力における最適な入力位置および角度を調査した。

3 実験

VR 向け仮想キーボードの偏角 θ および姿勢角 ϕ が入力性能および作業負荷に与える影響を調査するための実験を行った。

3.1 実験参加者

18名（18歳–26歳、うち女性4名）の大学生または大学院生を実験参加者とした。実験参加者は6名が裸眼、7名が眼鏡、5名がコンタクトレンズにて実験に参加した。実験参加者のうち、1名が日常的に VR 向け Head Mounted Display（以下、HMD）を使用しており、10名がHMDを使用した経験があり、7名がHMDを使用した経験がなかった。実験の所要時間は2時間であり、参加者は実験後に謝礼として1720円を受け取った。

3.2 実験内容と使用機器

実験参加者は、仮想キーボードの偏角 θ および姿勢角 ϕ （図 1）が異なる条件において、空中タップによる英文入力を行った。実験開始前に、我々は、実験参加者の腕の長さを計測することにより、実験参加者が腕を伸ばした位置に仮想キーボードを表示した。また、偏角 θ を 0 度、22.5 度、および 45 度の 3 条件、姿勢角 ϕ を 0 度および ± 15 度の 3 条件とした。実験参加者は、これらを組み合わせた 9 条件にて、各条件ごとに 10 フレーズの英文を入力した。入力される英文には、MacKenzie らの英文セット [5] を用いた。9 条件の順番はラテン方格にて決定された。我々は、疲労、主観的作業負荷、およびユーザビリティの評価のために、各条件の終了時に疲労評価アンケート（入力時に限った疲労を 10 段階評価）、NASA-TLX、および SUS を実施した。実験には、HMD として HTC VIVE を、空中タップの検出には Leap Motion を用いた。

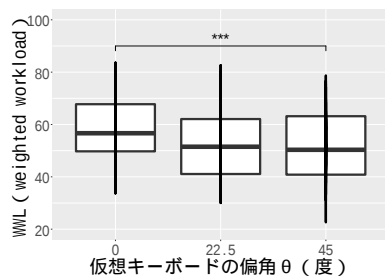
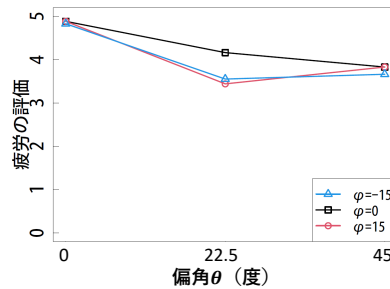
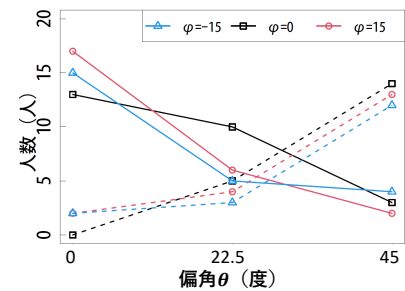
Investigating the Effects of Virtual Keyboard Position and Angle on Text Entry Performance and Workload

^{†1} Koki Tominaga, ^{†2} Shun Fujita, ^{†3} Buntarou Shizuki

^{†1} Master's Program in Computer Science, University of Tsukuba

^{†2} Department of Computer Science, University of Tsukuba

^{†3} Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

図 2: 各偏角 θ の NASA-TLX図 3: 偏角 θ と疲労の評価図 4: 偏角 θ と疲労部位
(実線: 上腕, 点線: 首)

4 結果と考察

入力性能の評価指標に Word Per Minutes [6] (WPM), Minimum String Distance Error Rate [7] (MSD エラー率), および KeyStrokes Per Character [7] (KSPC) を用いた。以降に, 実験より得られた, NASA-TLX, SUS, WPM, MSD エラー率, および KSPC を統計解析した結果, ならびに疲労評価および主な疲労部位を示す。統計解析では, 偏角 θ および姿勢角 ϕ を因子とした二元配置分散分析を行った。事後検定には Tukey の多重比較法を用いた。また, 有意水準は 0.05 とした。

4.1 入力性能

検定の結果, MSD エラー率 ($M=0.77$, $SD=0.73$) および KSPC ($M=1.17$, $SD=0.09$) に対する偏角 θ および姿勢角 ϕ の主効果および交互作用は検出されなかった。WPM ($M=19.3$, $SD=3.72$) に対して偏角 θ の主効果が検出されたが交互作用は検出されなかった ($F_{2,136} = 6.41$, $p = 2.17 \times 10^{-3}$)。ただし, 事後検定では, 有意差は検出されなかった。したがって, 偏角 θ および姿勢角 ϕ は入力性能に大きな影響を与えないと考えられる。

4.2 作業負荷

NASA-TLX ($M=54.2$, $SD=13.3$) の結果を図 2 に示す。検定の結果, 偏角 θ の主効果が検出されたが交互作用は検出されなかった ($F_{2,136} = 12.1$, $p = 1.45 \times 10^{-5}$)。事後検定の結果, 偏角 θ が 0 度と 45 度との間に有意差が検出された ($p = 3.70 \times 10^{-2}$)。よって, 偏角 θ が 0 度における腕の疲労が, 偏角 θ が 45 度における首の疲労より大きいと考えられる。また, 検定の結果, SUS ($M=73.7$, $SD=12.2$) に対する偏角 θ および姿勢角 ϕ において主効果および交互作用は検出されなかった。したがって, 偏角 θ および姿勢角 ϕ はユーザビリティに影響を与えないことが分かる。疲労評価アンケートの結果 ($M=4.11$, $SD=1.95$) を図 3 に示す。図 3 より, 偏角 θ が大きい時の疲労は, 偏角 θ が小さい時に比べて大きいことが分かる。

疲労評価アンケートにて疲労を感じた部位も記入し

てもらった結果, 上腕および首の疲労が多く報告された。各偏角 θ に対する腕および首の疲労を訴えた人数を図 4 に示す。図 4 より, 偏角 θ が大きい時には上腕の疲労が大きく, 偏角 θ が小さい時には首の疲労が大きいことが分かる。また, NASA-TLX および疲労評価アンケートより, 上腕の疲労は首の疲労に比べて大きいことが考えられる。

5 まとめと今後の課題

本研究では, VR 向け仮想キーボードの位置および角度が入力性能および作業負荷に与える影響を調査した。空中タップを用いた仮想キーボードを対象として, 偏角 θ および姿勢角 ϕ の比較実験を行った結果, 偏角 θ が 0 度の時には 45 度の時よりも作業負荷が大きいことが分かった。また, 偏角 θ と疲労部位との関係から, 偏角 θ が大きい時には上腕の疲労が大きく, 偏角 θ が小さい時には首の疲労が大きいことが分かった。今後の研究では, 腕を下げた状態でトラッキングした手の表示位置を目線の高さに変更して入力性能および作業負荷を調査する。

参考文献

- [1] M. Speicher, A. M. Feit, P. Ziegler, and A. Krüger. Selection-based Text Entry in Virtual Reality. CHI '18, pp. 647:1–647:13. ACM, April 2018.
- [2] J. Dudley, H. Benko, D. Wigdor, and P. O. Kristensson. Performance Envelopes of Virtual Keyboard Text Input Strategies in Virtual Reality. ISMAR 2019, pp. 289–300. IEEE, October 2019.
- [3] G. G. Simoneau and R. W. Marklin. Effect of Computer Keyboard Slope on Wrist Position and Forearm Electromyography of Typists Without Musculoskeletal Disorders. *Physical Therapy*, Vol. 83, No. 9, pp. 816–830, September 2003.
- [4] M. Bachynskyi, G. Palmas, A. Oulasvirta, and T. Weinkauff. Informing the Design of Novel Input Methods with Muscle Coactivation Clustering. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, Vol. 21, No. 6, pp. 30:1–30:25, January 2015.
- [5] I. S. MacKenzie and R. W. Soukoreff. Phrase Sets for Evaluating Text Entry Techniques. CHI EA '03, pp. 754–755. ACM, April 2003.
- [6] A. S. Arif and W. Stuerzlinger. Analysis of Text Entry Performance Metrics. TIC-STH '09, pp. 100–105. IEEE, September 2009.
- [7] R. W. Soukoreff and I. S. MacKenzie. Metrics for Text Entry Research: An Evaluation of MSD and KSPC, and a New Unified Error Metric. CHI '03, pp. 113–120. ACM, April 2003.