

HMK: VR/AR テキスト入力用ヘッドマウントキーボード

Wahyu Hutama^{1,a)} 原島 輝¹ 石川 博規² 真鍋 宏幸^{1,b)}

概要: 仮想現実や拡張現実 (VR/AR) の様々な用途で、文字入力は欠かせない。我々は、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) の左右に分割キーボードを搭載した効率的な文字入力方法、HMK を提案する。キーボードが見えない状況での使用を考慮し、ホームポジションに素早く手を配置できるよう、カスタムキートップを使用する。具体的には、ホームポジションに相当するキートップを凹ませ、さらにキー配置の修正を行う。本稿では HMK の評価およびキートップ改良による効果について報告する。

キーワード: HMD, VR/AR, 文字入力, 分割キーボード, キートップ

HMK: Head-Mounted Keyboard For Text Entry in VR/AR

Abstract: Text input is essential in a variety of uses in virtual and augmented reality (VR and AR). We present HMK: an effective text input method that mounts split keyboards on the left and right side of the head mounted display (HMD). We developed custom keycaps to make it easier to find the home position without seeing the keyboard. The custom keycaps are shaped to curve into the home position keys. We also revised the layout of the keyboard. This paper shows the evaluation results of the usability of HMK and the effectiveness of the custom keycaps.

Keywords: HMD, VR/AR, text input, split keyboard, keycap

1. はじめに

VR と AR 技術の発展に伴い、使用率が増え続けている。2021 年 6 月時点における日本での VR の認知率は全体で 90% であり、利用経験率が全体の 16% である [7]。Facebook 社は 2021 年 10 月に Meta に改名し、「Metaverse」の実現を目指して、VR/AR の発展に力を入れている。これによって、多くのビジネスが VR/AR に目を向けはじめている。今までの VR/AR コンテンツは主にゲームであったが、近い将来ミーティングや他の作業アプリが開発され、我々の日常生活の中に VR/AR が取り込まれることが予想される。

現在、VR/AR では文字入力が効率的にできないことが問題になっている。メモ、チャットやメールのやり取り、作業アプリの多くは文字入力が必要である。文字入力の効率

が低ければ、そのような作業アプリを円滑に使うことはできない。逆に、文字入力の効率を向上できれば、VR/AR は今のスマホのように、万能のデバイスあるいはコンピューティング環境になりえる。

本研究では、この VR における文字入力効率の問題の解決を目的に、HMD に固定した物理キーボードを用いた文字入力手法であるヘッドマウントキーボード (HMK) を提案する。また、提案手法とその他の文字入力手法を用いて文字入力性能を比較し評価することで、その有効性を検証する。評価実験の結果に基づき、キーボードが見えない状態での使用を考慮し、カスタムキートップを開発した。ホームポジションに相当するキートップを凹む形にし、さらにキー配置の修正を行った。このキートップ改良の効果を検証する。

なお、本稿の一部はすでに UIST2021 において発表済みである [5]。

2. 関連研究

現在の VR/AR では仮想キーボードを用いる文字入力手

¹ 芝浦工業大学
Shibaura Institute of Technology

² NTT ドコモ
NTT DOCOMO

a) whutama97@gmail.com

b) manabehirokyu@acm.org

法が主に使われている。Xu らは AR で使用される主要な文字入力手法の比較を行った [11]。比較したのは、(a) コントローラポインティング、(b) ヘッドポインティング、(c) ハンドジェスチャ、(d) ヘッドポインティングとハンドジェスチャを組み合わせた手法の 4 つである。結果として、入力速度は 5.62 WPM (ヘッドポインティング) から 14.6 WPM (コントローラポインティング) 程度であり、通常のキーボード入力による入力速度 51.56 WPM [1] と比較して速いとは言えない。Speicher らは VR 上で仮想キーボードを使用する手法を比較している [10]。(a) ヘッドポインティング、(b) コントローラポインティング、(c) コントローラタッチング、(d) フリーハンド、(e) 個別カーソル、(f) 連続カーソルの 6 つである。その結果、ヘッドポインティングは 10.20 WPM、コントローラポインティングは 15.44 WPM、コントローラタッチングは 12.69 WPM、フリーハンドは 9.77 WPM、カーソルは 5.31 WPM (個別カーソル) と 8.35 WPM (連続カーソル) であった。現在 VR で主に使われる仮想キーボードを使用した手法の中では、コントローラポインティングが最も入力効率が良い。

ジェスチャーを使用する入力手法も研究されている。例えば、Fashimpaur らは PinchType と呼ばれる指のジェスチャーを使用した VR 向け文字入力手法を提案している [2]。親指と他の指をピンチすることで、QWERTY キーボードでその指にグループ化されるキーを出力する。入力した指の組み合わせから、予測変換で生成される単語候補を右に表示し、ユーザはその中から入力したい単語を選ぶ。特殊な手法なため、ユーザが慣れるまでに時間がかかる。さらに、この手法は予測変換に依存する手法なため、自由に入力することができない。PinchType の平均 WPM は 12.54 であり、修正を含まない WPM は 20.07 である。他にはタッチスクリーン操作で、Gugenheimer らの FaceTouch は HMD の正面部分にタッチスクリーンを搭載し、文字入力を含め、様々な操作を可能にする [4]。簡単な評価実験の結果、文字入力速度は 10 WPM まで達している。Kim らはスマートフォンのホバリング機能を利用した VR 用の文字入力手法 HoVR-Type を提案した [6]。HoVR-Type はホバリングされたキーを VR 内に表示し、タッチスクリーンを触れる、または触れて離す時に文字が入力される。評価実験では 7.8 WPM と 9.0 WPM が得られている。

机上の物理キーボード (以降、通常キーボードと呼ぶ) の文字入力速度について Dhakal らが調査している [1]。英文 15 文をタイピングする実験で、168,000 の被験者が参加した。タイピングが速いグループと遅いグループに分類できるが、全体の平均 WPM は 51.56 であった。Grubert らは、現実の通常キーボードやタッチスクリーンキーボードを HMD ベースの VR アプリケーションの文字入力デバイスとして利用することを検討した [3]。この研究では、タイピングを行うユーザの手の表現を VR アプリケーション

上にレンダリングすることの効果进行调查している。その結果、ユーザの指先を簡単にレンダリングするだけで、ユーザの学習を必要とせずとも、通常キーボードでのタイピング性能の約 5 割を VR に移行させることができ、タッチスクリーンキーボードでも同等の性能が維持されることを示した。また、通常キーボードで手をレンダリングした場合には、26.3WPM を達成することを明らかにした。そのような物理キーボードはすでに販売されている。Logitech K830 を使えば、Quest 2 内にキーボードと手を表示させることができる。しかし、現時点では Oculus のブラウザと Oculus の他の基礎アプリにしか対応しておらず、対応していないアプリ内ではキーボードを見ることはできない。対応するアプリが多ければ、座りながらの文字入力に最適な手法になりうる。欠点として、起立した状態では利用が困難で、使える場面が限られることが挙げられる。

モバイルな物理キーボードの研究では Torso Keyboard [9] がある。Torso Keyboard は、AR 用文字入力手法として開発された、ベストやジャケットの上に身に付けるウェアラブルな分離キーボードである。キーボードを身につけることで、いつでもどこでも文字を入力することが可能となる。Torso Keyboard の平均タイピング速度は 30.14 WPM である。通常キーボードのタイピング速度が平均で 56 WPM のユーザで実験を行っており、ユーザは Torso Keyboard で通常の 53.8% のタイピング速度を達していると報告されている。

3. ヘッドマウントキーボード (HMK) [5]

HMK (Head Mounted Keyboard) は、タッチタイピング可能なユーザを対象としたモバイルな VR/AR 環境向け文字入力手法である。HMD の左右に分離型の物理キーボードを装着し、ユーザは両手を上げ、物理キーボードで



図 1 HMK 使用時の様子



図 2 HMK のキーボード (片側) 左: ver1, 中: ver1.5, 右: ver2

文字入力を行う。物理キーボードを使用するため、仮想キーボードより高い入力性能が期待できる。HMD にキーボードを固定するため、入力する際にコントローラなどの周辺機器を利用する必要がない。そのため、コントローラを持ち歩く必要がなく、特に AR に適用した場合には、実世界のインタラクションを支障なく行える。分割キーボードを装着する Torso Keyboard とは、キーボードの配置が異なる。HMK は HMD と一体型デバイスとなるため、装着の手間が少なく、デバイス一つで完結できる点で優れている。キーボードが見えないことは課題の一つであるが、キーボードと頭部の相対位置が固定されているため、キーボードの位置をすぐに把握し、使い始めることができる。また、HMK は短時間の文字入力を想定しており、両手を上げ続けることによるゴリラアーム問題はあまり生じないと考えている。

4. 実装

HMK のプロトタイプでは、市販の軽量 (285g) な Corne Cherry 分離型 QWERTY キーボードを使用する。Corne Cherry は遊舎工房が販売を行う横 6 x 縦 3 キーの column staggered 配列 (列方向にずらした配列) + 親指 3 キーの左右分離型キーボードである。この分割キーボードの左右を、Oculus Quest 2 の左右にそれぞれ装着している。

キーボードが見えないため、キーボードの範囲を把握しやすくするようにキートップの外側に壁を付けた。さらに、F と J キーに小さな突起をつけ、より識別しやすくなる。このプロトタイプを HMK ver1 と呼ぶ (図 2 左)。

5. 予備実験

プロトタイプの HMK ver1 の性能を確かめるために、予備実験を行った。タッチタイピング可能と自認する 5 名の参加者によるタイピングタスク実験を通して、HMK、コントローラポインティング、とヘッドポインティング手法を比較した。予備実験は MacKenzie の英語文 [8] を使用する。参加者は VR 空間上で、20 フレーズの練習の後、10 個のフレーズ入力を行った。タイピングタスクの後にアンケートを行った。タイピング速度を比較した結果、HMK

の平均タイピング速度は 20.82 WPM であり、コントローラポインティングの 9.63 WPM とヘッドポインティングの 7.96 WPM を上回っている。アンケートの結果から、以下の情報が得られた。SUS スコアは、HMK で 70.5、Pointer で 65、HeadRotation で 48.5 であり、ユーザビリティの面で、HMK は他手法に比べて優れている。一部の参加者からは、キートップに壁を追加する改良を加えた手法においても、キーボードのホームポジションや下部のキーを探すための有効な触覚的なヒントが少ないため、下部のキーを認識しづらいこと、それらのキーで打ち間違いやすいなどの回答があった。

6. 提案手法 1

タッチタイピングにはホームポジションの位置を把握することが特に重要である。ホームポジションに常に指を置いておけば、キーごとに定まる一定の移動量で指を動かせば全てのキーを押すことができる。先述のとおり、HMK ではキーボードが見えないため、ホームポジション探索時間が必要である。HMK の使用想定は主に短時間で素早く文字を入力することである。そのため、コントローラを離してからタイピングし始めるまでの時間は、単純に入力効率を低下させる。入力速度向上のためには、この探索時間の削減が重要となる。HMK ver1 はキーボードの外側に壁を作って、キーボードの範囲は見なくてもわかるようになったが、ホームポジションの位置はまだわかりにくい。そのため、さらなるキートップの改善を行う。HMK のキーボードのホームポジションは中央に位置しているため、指をキーボードの中央に誘導すればいい。より具体的には、ホームポジションのキーに向けて凹んだ構造とすることで、指を誘導する。

6.1 提案手法 1 の実装

ホームポジションの表面は平面に、周りのキートップは中心側に凹ませている。さらに、F と J キー (人差し指を置くキー) の中心に突起をつけた。このデザインによって、指が自然に中心のホームポジションに流れ、触れるだけでホームポジションの位置がすぐに分かるようになる。タイ

ピング中に指の位置がずれた場合であっても、触覚だけを頼りにすぐにホームポジションに戻すことができる。これにより、キートップ探索時間の削減が期待できる。

キートップは CAD でモデリングし、光造形 3D プリンター (Form 3) で印刷した。図 2 中に改善したキーボードを示す (以降この HMK を ver1.5 と呼ぶ)。

6.2 評価実験 1

HMK ver1.5 の性能を確かめるために評価実験を行った。実験目的は HMK の WPM とエラー率を、他の VR での文字入力手法と比較することである。仮想キーボード手法の中で最も速いコントローラポインティング手法を比較対象として選択した。

実験アプリを Unity で作成し、Oculus Quest 2 で実施した。VR 内で、表示された文に沿って文字を入力する。使用した文は Mackenzie の文字入力評価用の文からランダムにサンプリングした [8]。1 文は 16-43 文字からなり、平均文字数は 28.61 である。文が正しく入力された時に、次の文が表示される。間違えた入力はバックスペースで削除しなければいけない。180 秒経つと画面が黒くなり、実験が終わる。被験者に HMK の使い方を説明した後、5 分間の HMK の練習時間を与えた。この練習の後、本実験を開始した。

最初は机の上に置いた通常キーボード (Logitech K830) を使用し、HMD を被った状態でキーボードでの文字入力速度を測る。実験中、被験者からはキーボードを見ることはできない。次に、HMK での入力速度を測る。最後に、Oculus Quest 2 のデフォルトの文字入力手法であるコントローラポインティングの文字入力速度を測る (Unity の Oculus Integration Package の仮想キーボード*1を使用する)。被験者にはできるだけ素早く正確に入力するよう指示し、実験が終わった時に感想を求めた。本実験に参加した被験者は 3 名であり、全員タッチタイピングができる。学習効果を考慮し、各被験者は 3 日間実験を行った。各日で実験内容は同じである。

6.3 実験 1 の結果

結果は図 3 に示すように、3 日間の実験の後の HMK の平均 WPM は 34.7 であり、見えない状態での通常キーボードタイピング速度 (43.6 WPM) の 81% を達成した。通常キーボードの平均エラー率が 7.6%、HMK が 11.7%、コントローラポインティングが 7.4% である。コントローラポインティングに比較して、HMK のエラー率は高い。なお、エラー率は全体の入力に対するバックスペースの数 (Corrected Error) を採用している。

被験者の感想では、長時間使うと手が疲れるという指摘

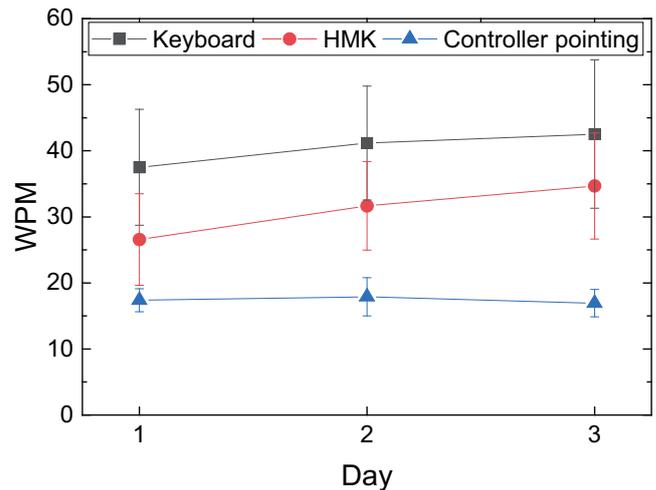


図 3 3 日間の各日の平均タイピング速度

があった。しかし、HMK はそもそも長時間使用を想定していない。また、慣れないキーボードのレイアウトによって、M と N、V と B、T と R など上と下の行の隣り合う文字が打ち間違いやすいことが分かった。

7. 提案手法 2

HMK ver1.5 での打ち間違いの原因として、HMK のキーボードレイアウトは通常利用しているキーボードレイアウト (row-staggered) とは異なり、特殊なレイアウト (column-staggered) であることが考えられた。この問題を解決する 1 つの方法は、キーボードレイアウトを普段利用している row-staggered レイアウトに作りなおすことである。しかし、キーボードを最初から作りなおすのは難しい。そこで、提案手法 1 のように、キートップのみを変更することで row-staggered レイアウトを実現する (図 2 右参照。以降、本研究で改良した HMK を ver2 と呼ぶ)。

7.1 提案手法 2 の実装

HMK ver1.5 のキートップをさらに改良した。F と J キーを基準にし、他のキートップを数 mm 程度シフトさせた。上の行のキーを左に、下の行のキーを右に 4mm シフトさせた。外側の列のキーを上、中央の列の「E」「D」「C」と「I」「K」「J」のキーを下にシフトさせた (図 2 右)。なお、マイクロコントローラに近いキーはシフトした時に干渉するため、マイクロコントローラのカバーを外している。

8. 評価実験 2

8.1 実験目的

改良した HMK を全体的に評価するために、HMK ver2 と予備実験の HMK ver1 の比較実験を行う。キーボードレイアウトによる差は、特に初心者に顕著に現れると考えられる。そこで、2 種類のキーボードレイアウトを用いて、HMK 初心者の学習カーブがどのように変化するか調査

*1 <https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/oculus-integration-82022>

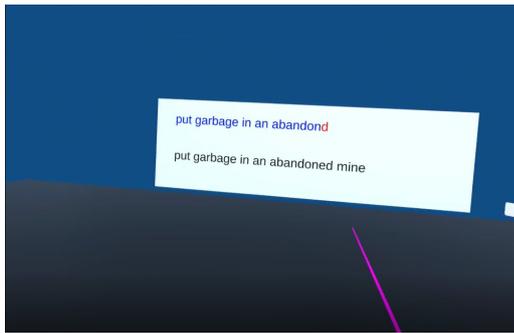


図 4 HMK 実験の様子, VR 内



図 5 実験の様子, 左: Base, 中: HMK, 右: HMDBase

する。さらに、HMK の入力効率に大きな影響を与える、タイピングし始める時間「第 1 文字入力までの時間」の比較も行う。

9. 実験内容

被験者を HMK ver1 と ver2 (図 2) で 2 つのグループにそれぞれ 9 人割り当て、合計 18 人で実験を行った。初心者の学習カーブを観察するため、タッチタイピングできる、かつ HMK を使ったことがない被験者を集めた。

実験は 3 つのパートに分かれている。(図 5)

- (1) Base: PC ディスプレイを使用し、通常キーボードでタイピングタスクを行う。基準のタイピング速度を測る (5 セッション)。
- (2) HMK: HMK を備えた HMD を被り、タイピングタスクを行う (15 セッション)。
- (3) HMDBase: HMD を被った状態で机の上のキーボードでタイピングタスクを行い、キーボードが見えない状態での基準のタイピング速度を測る (5 セッション)。

実験は以下の手順で行う。被験者は VR コントローラを両手に持っており、コントローラで画面上に表示されているスタートボタンを押すと (Base の場合は HMD を装着しておらずコントローラも把持していない。この場合、キーボードの Enter キーを押す)、セッションのタイマーが始まり、文字入力できるようになる。セッションが始まると、被験者はコントローラから手を離し、HMK あるいは机のキーボードで文字入力を行う。画面には MacKenzie の英語文 [8] がランダムな順番で表示され、文を正しく打ち終わった時に次の文が表示される (図 4)。打ち間違いが生じた場合、修正すべき部分を判別しやすくするために異な

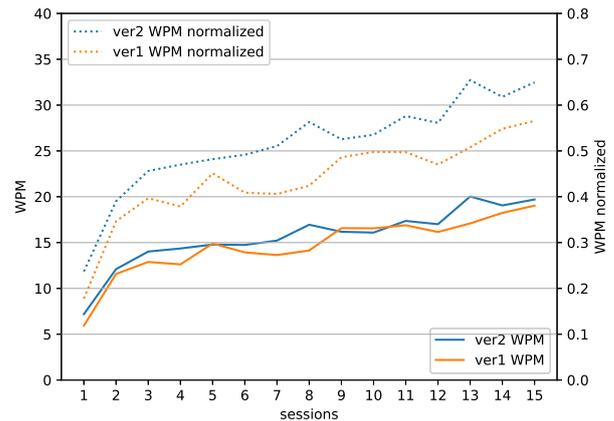


図 6 実線: HMK のタイピング速度, 点線: 通常キーボードで正規化した HMK のタイピング速度

る色の文字で表示される。1 文は 16-43 文字で、平均文字数は 28.61 である。3 つの文を 1 つのセッションとして設定し、セッション毎に以下の実験データを記録する。(1) セッション開始から一つ目の文字が正しく入力されるまでの時間、(2) セッション完了までに要した時間、(3) セッション中に入力された文字数、(4) セッション中に入力されたスペースの数、(5) 入力された全ての文字のログとタイムスタンプ。

なお、最初の文字までの時間を計測することに関して、被験者には何も説明しない。

10. 実験結果

10.1 タイピング速度 (WPM)

実験データからセッションごとの WPM を求めた。WPM 計算は図 6 の実線に示すように、HMK ver1 と ver2 の WPM の違いが見られるものの、大きな差はない。しかし、Base の WPM を基準に正規化した場合、差が見られる (図 6 の点線。Base の平均タイピング速度は ver2 グループ: 32.26 WPM, ver1 グループ: 34.52 WPM)。HMK ver2 の方が早くタイピング速度が上がり、平均的に 7 セッションで通常キーボードの 50% の WPM まで達している。一方、ver1 では 50% に到達するまでに 10 セッションの練習が必要である。最終の 15 セッション目に HMK ver2 は通常キーボードの 65% の WPM を達していることに対し、ver1 は 57% の通常キーボード速度である。

HMK を HMDBase で正規化した時の結果を見ると、ver2 の平均は 1.0 にまで達している。この意味は、見えない状態でのタイピングでは通常キーボードと同じ速度で HMK を使用できるということである。予想を超えた結果のため、個別のデータの確認を行ったところ、図 7 に示すように、1.0 を大きく超える被験者 (被験者 4) がいた。その被験者のログを確認したところ、HMDBase で隣り合うキーにミスタイプが多くあった。以下はその被験者の

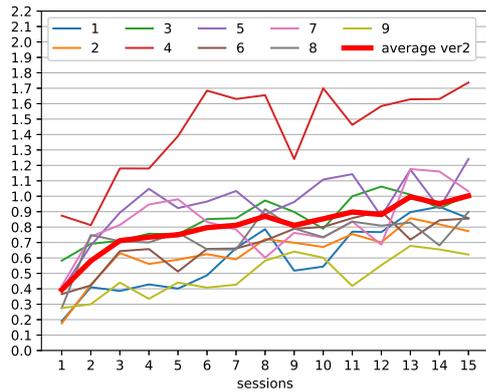


図 7 HMDBase で正規化した HMK ver2 の各被験者の WPM の推移

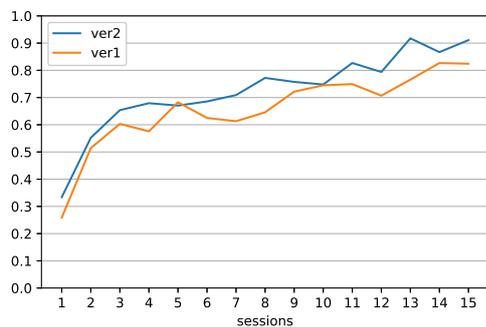


図 8 HMDBase で正規化した HMK ver2 の WPM の推移 (被験者 4 を除く)

HMDBase ログデータの一部を示す (大文字 B はバックスペースを表す)。

正解 : tell a lie and your nose will grow
入 力 : teooBBll alB loBoiBBBoBirBe
anf sBBfBBfBs dBdBdBB Bd uBypBoutBr npBose
woBoBuBi;:BBll rBdBfBgtBrpBiBouBeBw

この被験者は HMDBase で特に苦勞していた。実験の入力ログデータだけでは理由が解明できないが、ホームポジションの位置がズレて、打ちたいキーの隣のキーを打ってしまうエラーが非常に多い。本実験では、エラーを全て修正しなければいけないため、エラーが多くなれば WPM が低くなる。この被験者のデータでは、HMDBase の速度を基準にできるとは言えない。そこで、この被験者のデータを除いた、ver2 の 8 人と ver1 の 9 人の HMK の WPM グラフが図 8 になる。差が小さくなるが、HMK ver2 の方が速いことは変わらない。

10.2 エラー率

バックスペースの比率として算出したエラー率を、図 9 に示す。図からわかるように、HMK ver1 と ver2 の間に大きな差が見られない。しかし、WPM と同様、エラー率を Base と HMDBase で正規化した結果、図 10 に示すように HMK ver2 のほうがエラー率が低いことが分かった。

HMDBase で正規化したエラー率 (図 10) から、15 セッション目には HMK ver2 とキーボードが見えない状態の平均エラー率が同に近い値まで達している (被験者 4 のデータを除いて算出した)。

図 9 を考慮した場合、最初の領域で WPM が低い理由はエラーが高いためと考えられる。被験者には「通常キーボードのように使える」という説明しかしておらず、事前の練習時間を与えないで実験を始めたため、初めの第 1 セッションでは WPM が低い。被験者は 15 セッション目にすでにある程度 HMK に使い慣れており、エラー率が安定している。

10.3 第 1 文字入力までの時間

初めての入力までの時間は、タイマーが開始してから最初の文字が正しく入力されるまでの時間である。Base の場合、Enter キーが押してからタイマーが始まり、入力可能

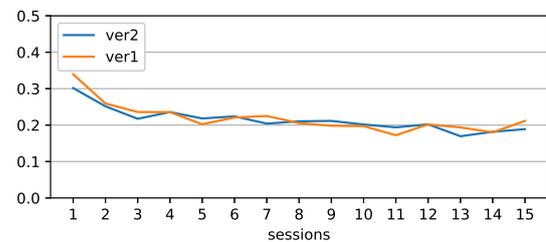


図 9 HMK のエラー率の比較

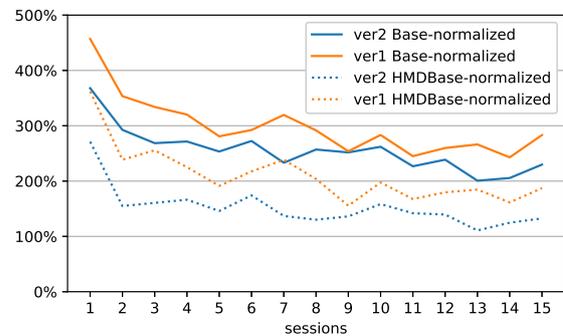


図 10 実線: Base で正規化した HMK のエラー率, 点線: HMDBase で正規化した HMK のエラー率 (被験者 4 を除く)

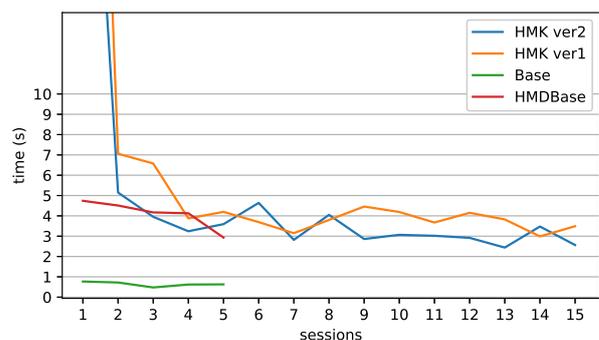


図 11 第 1 文字入力までの時間

になる。HMK と HMDBase の場合、Enter キーではなく、画面に表示された Start ボタンをポインタで選択して、タイマーが始まる。初めての入力までの時間に関して、注目したいのは HMK ver2, ver1, と HMDBase である。VR でコントローラを持っている状態（文字入力以外の操作）から、コントローラを手から離し、タイピングし始めるまでの時間となっている。

図 11 で示したように、第 1 セッションは最初の文字入力までの時間が非常に高い。HMK の使い方を試し、初めての時にバックスペースの位置を探すことで苦労した被験者が多いと実験中の観察からわかった。セッションが進むにつれて、第 1 文字入力までの時間が早くなり、15 セッション目には ver2 が 2.56 秒であり、ver1 が 3.49 秒である。しかし、それだけで ver2 の方が速いとは言えない。HMDBase で正規化した結果（図 12 参照）、ver1 と ver2 の間の第 1 文字入力までの時間の差が見られない。実験設計では、被験者がコントローラのストラップを付けて、スタートボタンを押してからすぐにコントローラを手放し、手を上げて、タイピングし始めると期待した。しかし、テーブルの前に座っている状態で実験を行った結果、ほとんどの被験者はゆっくりテーブルにコントローラを置いてからタイピングし始める。その理由でコントローラを置く時間が大きく、もし ver2 と ver1 の間に差があったとしてもこの実験では言えない。

入力開始までに時間がかかる理由は 4 つあると考えている。(1) 最初の文字が正しく入力されるまでの時間を記録したため、最初の文字を間違っていると時間が大幅に増える。(2) 第 1 文字入力までの時間を評価することを被験者に説明しなかったため、被験者は速く 1 文字目を打とうとしなかった。(3) コントローラを置くための時間が必要。(4) キーボードを探す練習回数が少なく（合計 15 回）、かつ集中的に練習されていない。

11. 議論

11.1 実験の制限

本研究の実験は無償で実施したため、被験者の層が限ら

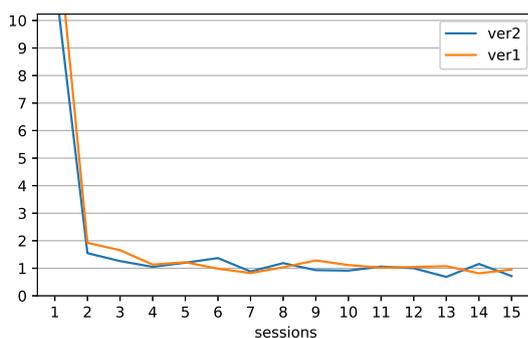


図 12 HMDBase で正規化した HMK の第 1 文字入力までの時間

れ、全体的のタイピング速度が低めである。よって、通常キーボードの 65% の速度（図 6）は通常タイピング速度が平均 33WPM のユーザの結果であり、タイピング速度が高いユーザの結果は異なる可能性がある。

英語の文の入力に慣れない被験者で実験を行ったため、タイピングした文が正しいか正しくないかすぐにわからない人が多いと考えられた。よって、間違った文字が入力された時に赤い色で表示し、修正を簡単にした。しかし、使用された言語に不慣れなことは WPM に影響すると考えられ、1 名を除く全ての被験者の母国語である日本語（1 名はインドネシア語）で文字入力を行った場合は結果が異なる可能性がある。日本語にしなかった理由として、日本語では同じ文字でも打ち方が色々あり、タイピング速度とエラーの計算が複雑になることが挙げられる。さらに、日本語のカタカナに長い音「ー」が使われ、キーの数が少ない HMK のキーボードでは記号と数を入力するのに特別キーを使わなければいけない。キーの数が少ないキーボードでは、記号と数字の入力に向いてない。これらの理由から、英語でアルファベットの小文字のみで実験を行った。

本実験では、もともとタッチタイピングができると自認する 20 人で行う予定であった。しかし、実験を完了したのは 18 名であり、2 名は実験途中で辞退している。辞退した 2 名ともタッチタイピングができるが、ホームポジションを活用しない独自のタイピング方法を用いた。そのため、HMK の実験中に、タイピングするキーの位置がわからず、途中で辞退を求めた。このように、本実験の被験者は全員タッチタイピングできる、かつホームポジションをある程度活用するタイピングの仕方を使用している者に制限されている。

11.2 さらに改良に向けて

被験者の感想データからわかるのが、タッチタイピングできる人であっても、標準的なタイピング方法を使用するとは限らないことである。著者は、この事実に実験の途中の段階で気づいた。そのため、初めの方に実験を行った被験者については、タイピング方法の観察を行っていない。独自のタイピングの仕方の中で多く目についたのは、中央のキー（T,G,B,Y,H,N）を左右両方の手で打つである。左手で打つべき B キーを通常キーボードでは右手で打つケースも 3 人以上にみられた。

この問題に対し、左右の分割キーボードの両方に冗長なキーを置いていく改良が効果的であるかもしれない。具体的には、分割キーボードの左キーボードに Y,H,N のキーを、右キーボードに T,G,B キーを追加する。この改良により、独自手法でタイピングする一部のユーザは素早く文字入力できる可能性がある。もちろん、この変化によって、通常のユーザが困惑したり、キーボードの位置が前に移されて、使用中の揺れが増えたり、などの問題が出ることも

考えられ、さらなる調査が必要である。

他の改良の可能性として、一部の被験者がタイピングの音を気にして、キーボードの位置を上・下にずらす可能性を検討する必要がある。解決方法としては、静音なキースイッチを使用することが考えられるが、それらのキースイッチは押しやすくなり、誤入力が起こりやすくなる可能性もある。

12. まとめ

HMDに装着した分離型キーボードを用いたVR/AR利用のための文字入力手法、HMKを提案した。予備実験で、HMKは既存の手法に比べて優れている一方、HMKにはホームポジションの位置が分かりにくいことと、通常とは異なるキーボードのレイアウトのために打ち間違いが起こりやすいという課題があることが示された。それらの課題を解決するために、キートップの改良を行った。キートップの形をキーボードの中央に向けて凹ませることで、指が自然にホームポジションの位置に止まる。評価実験を行い、HMKのタイピング速度は34.7 WPMであり、見えない状態での通常キーボードタイピング速度(43.6 WPM)の81%まで達した。さらに、キーボードのレイアウトを通常キーボードに変更し、初めて使う人にとって慣れたレイアウトにした。結果として、HMK ver2のタイピング速度と練習速度は上がり、エラー率も低くなった。

参考文献

- [1] Dhakal, V., Feit, A. M., Kristensson, P. O. and Oulasvirta, A.: Observations on Typing from 136 Million Keystrokes, *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1–12 (online), available from <https://doi.org/10.1145/3173574.3174220> (2018).
- [2] Fashimpaur, J., Kin, K. and Longest, M.: PinchType: Text Entry for Virtual and Augmented Reality Using Comfortable Thumb to Fingertip Pinches, *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '20, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1–7 (online), DOI: 10.1145/3334480.3382888 (2020).
- [3] Grubert, J., Witzani, L., Ofek, E., Pahud, M., Kranz, M. and Kristensson, P. O.: Effects of Hand Representations for Typing in Virtual Reality, *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 151–158 (online), DOI: 10.1109/VR.2018.8446250 (2018).
- [4] Gugenheimer, J., Dobbstein, D., Winkler, C., Haas, G. and Rukzio, E.: FaceTouch: Enabling Touch Interaction in Display Fixed UIs for Mobile Virtual Reality, *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '16, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 49–60 (online), DOI: 10.1145/2984511.2984576 (2016).
- [5] Hutama, W., Harashima, H., Ishikawa, H. and Manabe, H.: HMK: Head-Mounted-Keyboard for Text Input in Virtual or Augmented Reality (2021).
- [6] Kim, Y. R. and Kim, G. J.: HoVR-Type: Smartphone as a Typing Interface in VR Using Hovering, *Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '16, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 333–334 (online), DOI: 10.1145/2993369.2996330 (2016).
- [7] LINE株式会社: 流行体感から読み解くサービス未来予測流行予想シリーズ ~VR(バーチャルリアリティ)編~, , 入手先 (<https://research-platform.line.me/archives/38203466.html>) (参照2022年1月27日).
- [8] MacKenzie, I. S. and Soukoreff, R. W.: Phrase Sets for Evaluating Text Entry Techniques, *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 754–755 (online), available from <https://doi.org/10.1145/765891.765971> (2003).
- [9] Orlosky, J., Katzakis, N., Kiyokawa, K. and Take-mura, H.: Torso Keyboard: A Wearable Text Entry Device That Can Be Used While Sitting, Standing or Walking, *Proc. APCHI '12*, (online), DOI: 10.13140/2.1.1546.5925 (2012).
- [10] Speicher, M., Feit, A. M., Ziegler, P. and Krüger, A.: Selection-Based Text Entry in Virtual Reality, *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1–13 (online), available from <https://doi.org/10.1145/3173574.3174221> (2018).
- [11] Xu, W., Liang, H.-N., He, A. and Wang, Z.: Pointing and Selection Methods for Text Entry in Augmented Reality Head Mounted Displays, *2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pp. 279–288 (online), DOI: 10.1109/ISMAR.2019.00026 (2019).