仮想現実空間でのピンチ動作を用いた覚えやすい文字入力手法
An Easy-to-Remember Japanese Text Input Method Using Pinch Action in Virtual Reality Space

山内　慶悟
Keigo Yamauchi
法政大学情報科学部ディジタルメディア学科
E-mail: keigo.yamauchi.7i@cis.k.hosei.ac.jp

Abstract

In recent years, head-mounted displays have become widespread around the world, and virtual reality is becoming increasingly popular. Currently, dedicated controllers are commonly used to operate in virtual reality space. Text is entered using a virtual keyboard operated with such a controller. However, this method has the problem that it is difficult to perform precise operations. This paper proposes an easy-to-remember Japanese text input method using a Leap Motion Controller to trace and display the user's hand in virtual reality space. It allows the user to input 50 Japanese kana characters by making five different pinch actions. In addition, the pinch action of all the fingers is used to select deletion, scrambling, semi-scrambling, and lowercase letters. Two experiments were conducted to evaluate the proposed method: first, a preliminary experiment was performed to compare hand movements; second, a comparative experiment was conducted to compare the proposed method with a dedicated HMD controller-based method and a hand tracking-based method using a common grid of 50 kana characters. The results showed that the proposed method tended to cause many input errors. However, the advantage is that once the user gets accustomed to it, he/she can type without looking at his/her hand. Also, the result of the questionnaire based on the System Usability Scale about the proposed method was lower than the average.

1. はじめに

近年，ヘッドマウントディスプレイ(HMD)が世界に広まり，仮想現実(VR)が普及の傾向にある．中でも，VR ゲームの需要が高まっており，ユーザーインターフェースの向上が求められている．現在，VR 空間内での操作には専用コントローラを用いるのが主流である．そのため文字入力を行う場合，コントローラ操作による仮想キーボードを使用するか，もしくは VR 空間内に設置された仮想キーボードで入力する必要がある．コントローラによる操作は細かい動作が難しく，VR 空間内のキーボードは触覚がないために空間把握も難しく入力しにくい．

本論文では，これらの問題点を解決するために，専用コントローラを使用しない，ピンチ動作を用いた覚えやすい文字入力手法を提案する．Leap Motion Controller (LMC)を用いて VR 空間に自分自身の手をトレースして表示し，5 種類のピンチ動作でひらがな 50 音の入力を行う．また，すべての指をつけるピンチ動作で文字の削除，濁音，半濁音，小文字の選択を行う．さらに，指先に入力可能な文字の表示と入力中にも選択中の文字の表示を行うことで入力効率の向上を狙う．評価のため，予備実験と評価実験の 2 つを実施する．予備実験では，2 種類のピンチ動作の手の向きと 3 種類のピンチ動作認識手法を比較し，評価実験では，50 音かな配列を用いた Meta Quest 2 の専用コントローラによる入力と 50 音かな配列を用いたハンドトラッキングでの入力との比較，SUS を用いたアンケートで提案手法の評価を行う．

2. 関連研究

広く普及している Meta 社製等の HMD の既存の文字入力は，VR 空間内に仮想キーボードが表示され，専用コントローラのレーザーポインタで入力を行うものであるが，操作性が悪くユーザの評価はあまり良くなかった．そこで，効率的な文字入力を実現するために，立体キーボードやスマートフォン上で用いられるフリックでの文字入力手法など様々な研究が進められている．専用コントローラを用いた操作性の良い新しい文字入力手法として Carter ら [1]は VR 空間内の立体的なキーによって構成されたキーボードを提案している．

LMC を用いた文字入力手法の研究が進められている．細野ら [2]は子音と母音が表示された 2 つの円状のキーボードを両手で操作し，動かす角度によりひらがなを入力する手法を提案した．福仲ら [3]はスマートフォン上で用いられるフリック入力を VR 空間に適用した手法を提案し，既存手法と比較し同等以上の速度での入力を可能にした．喜多ら [4]はキーボード入力とフリック入力を VR 環境で実装し，どちらが VR 環境に適しているかを調べた．フリック入力はキーボード入力と比べて VR 環境での文字入力に適していないとされているが，アンケート調査によると，被験者の多くが VR 環境の文字入力の際にフリック入力を利用したいと回答しており，一定の需要があるとされている．二本松ら [5]はピンチ動作を用いた視覚によらない文字入力手法を提案した．ピンチ動作とフリック操作を組み合わせて文字を入力するアイズフ

Supervisor: Prof. Hiroshi Hosobe

リーな文字入力方法の検討がされているが，誤入力が多かった．

3. 提案手法

本研究では，VR 空間でジェスチャでの覚えやすい文字入力を可能にすることを目的として，両手の親指を基準としたピンチ動作を用いた新たな文字入力手法を提案する．専用コントローラを用いる手法と異なり，物を持たずに VR 上で操作することができるため直感的な操作が可能になる利点がある．ジェスチャ認識に LMC を用い，HMD は Quest 2 を用いる．HMD に LMC を取り付け(図 1 (a))，VR 空間で両手の親指と他の指をつけるピンチ動作をすることでひらがな文字入力を行う(図 1 (b))．5 種類のピンチ動作(①親指＋人差し指＋中指，②親指＋人差し指，③親指＋中指，④親指＋薬指，⑤親指＋小指)でひらがな 50 音の入力を行う(図 2①〜⑤)．

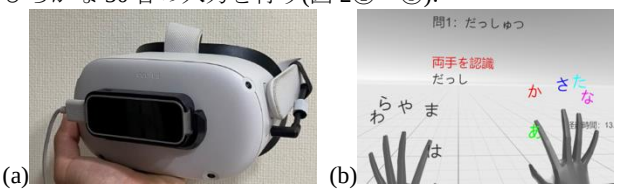

図 1　(a)LMC を取り付けた HMD，(b)入力画面

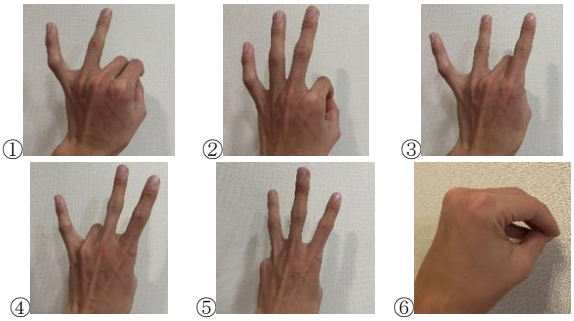

図 2　ピンチ動作

文字の入力は以下の通り子音と母音の選択で行う．

1. まず子音を選択する．両手の親指側から順に右手を「あかさたな」行，左手を「はまやらわ」行の入力に対応させる．例えば「あ行」を選択するには右手で①のピンチ動作で行い，「ま行」を選択するには左手で②のピンチ動作を行う．
2. 次に母音を選択する．これは行を選択した側の手でピンチ動作を行う．子音と同様に親指側から順にそれぞれ「あいうえお」段に対応している．例えば「け」の入力は，右手で②のピンチ動作を行い，「か行」を選択する．続いて右手で④のピンチ動作を行うことで「け」が入力される．

すべての指をつけるピンチ動作(図 2⑥)で文字の削除，濁音，半濁音，小文字の入力を行う．具体的には，右手でこのピンチ動作で 1 文字削除を行い，左手で行うと濁音，半濁音，小文字変換を行う．これは連続で行うことができ，ピンチ動作を続けることで 1 秒ごとに文字削除，濁音から半濁音，さらに小文字と変換を行う．また，画面に入力可能な子音，母音を指先に表示させて視覚的な補助や選択中の子音，母音を表示することで入力速度の向上を狙っている．

4. 実装

開発は，ゲーム統合開発エンジンの Unity (2021.3.8f1) を用い，VR 開発モードで作成した．また，Oculus Integration SDK アセットを用い，Meta の Oculus Link を用いて，Quest 2 のアプリケーションとしてではなく PC のアプリケーションとして実装を行った．開発言語は C# を用いた．

5. 予備実験

予備実験として，ピンチ動作の手の向きと 3 種類のピンチ動作認識手法を比較した．ピンチ動作の手の向きは、手の平を中央に向けるか、手の平を前に向けて指先を前に出すかの 2 通りある(図 3)．ピンチ動作認識手法は以下の 3 種類である．

(a) LMC から 3 次元の指先の座標を取得し，親指とピンチしている指の座標が一定距離以下の場合にピンチ動作と判断する．具体的には指先間の距離が 1.5cm 以下の場合にピンチしていると判断する．

(b) 指の曲がり具合からピンチ動作と判断する．ピンチしているかどうかの信頼値(0〜1)を返す LMC の関数 GetFingerStrength を用い，0.5 以上の場合にピンチしていると判断する．

(c) (a)と(b)のハイブリッド型である．2 つの手法はそれぞれ認識率が高くなる手の向きがあるため，組み合わせることで認識率の向上を狙う．

使用デバイスは，Quest 2，LMC を用いる．被験者は 6 名で，どのピンチ動作認識手法，手の平の向きが優れているのかを確認する．

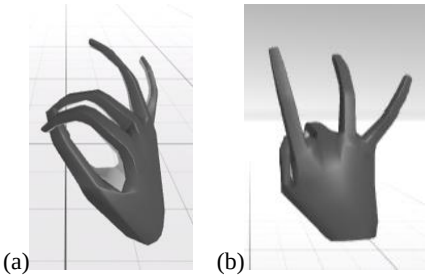

図 3　手の平が(a)横向き，(b)前向きの場合

5.1. 手順

被験者に 5 種類のピンチ動作と手の平の向きを教え，その後．5 種類のピンチ動作と手の平の向きを変えて，それぞれ 10 回ずつ入力してもらう．そして 10 回のうち何回正しく認識されたかを計測する．

5.2. 結果

実験結果を表 1 に示す．ハイブリッド型の(c)で手の平を前向きとした場合が最も認識率が高かった．また，指の曲がり具合で認識する(b)の手法も同様に認識率は高かった．

表 1　平均認識率(%)

ピンチ動作	①	②	③	④	⑤	平均値
(a)横	73.3	100.0	50.0	80.0	78.3	76.3
(a)前	80.0	100.0	65.0	36.7	95.0	75.3
(b)横	78.3	100.0	48.3	60.0	93.3	76.0
(b)前	95.0	100.0	95.0	36.7	96.7	84.7
(c)横	66.7	100.0	66.7	81.7	96.7	82.3
(c)前	93.3	100.0	95.0	43.3	98.3	86.0

6. 評価実験

提案手法の性能を調査するために，被験者 12 名を対象として評価実験とアンケート調査，ユーザビリティ調査を行った．本実験では比較対象として，50 音かな配列を用いた Quest 2 の専用コントローラによる入力(以下，専用コントローラ入力)と，50 音かな配列を用いたハンドトラッキングでの入力(以下，ハンドトラッキング入力)を用いた．提案手法は Meta の Oculus Link を用いて Unity 上で行ったが，既存手法の 2 つは同じ環境で実装することができなかったため，Quest 2 のみを用いて実験を行った．

被験者は，男子大学生 12 名(21〜22 歳，平均年齢 21.8 歳，全員右利き)である．また，被験者は VR を日常的に使用している 1 名，VR を使ったことがある 6 名，初めて使う 5 名である．実験する手法の順番で結果に偏りが出ないよう，表 2 のように被験者 12 名を 6 グループに分けて実験を行った．

表 2　実験グループ分け

グループ	1 つ目	2 つ目	3 つ目
1	専用コン	提案手法	ハンド
2	専用コン	ハンド	提案手法
3	提案手法	専用コン	ハンド
4	提案手法	ハンド	専用コン
5	ハンド	専用コン	提案手法
6	ハンド	提案手法	専用コン

6.1. 手順

本実験ではひらがな入力に関してのみ行い，ひらがな文字入力手法としての有用性を調べるため，変換操作や確定操作は行っていない．課題の単語は全部で 12 個あり，タイピング速度の測定で実際に用いられている 8 個(たんさん，おりょうり，こたつ，すぺしゃる，でんき，だっしゅつ，えいかいわ，ろうどう)と，喜多ら [4]の 4 個(ほうれんそう，とうもろこし，あすぱらがす，ぱいなっぷる)の合計 12 個を用いる．

被験者には各手法の操作方法および実験システムを説明し，5 分間の練習を行ってもらったのち実験を行った．実験終了後，被験者は System Usability Scale (SUS)のアンケートと自由記述のアンケート記入を行った．アンケート記入後 5 分間の休憩を設け，次の実験を行った．

6.2. 評価尺度

入力速度と正確性を評価するために，1 単語当たりの入力時間と削除回数を集計し，入力速度として character per minute (CPM)，精度として正誤率を算出する．CPM と正誤率の算出式を以下に示す．

$$\mathrm{CPM} = \frac{\text{入力した文字}}{\text{入力時間}(s)} \times 60$$

$$\text{正誤率} = \frac{(\text{入力した文字数}) - (\text{削除回数})}{\text{入力した文字数}}$$

ユーザビリティの評価をするために，SUS を用いた．これは，肯定的な質問と否定的な質問を合わせた 10 個に対して 1 (全くそう思わない)から 5 (とてもそう思う)の 5 段階評価でスコアを計算し評価する手法である．SUS の評価方法は John らの論文 [6]を参考にした．

$$\mathrm{SUS} = 2.5 \times \left\{ \sum_{k=1}^{5} (\alpha_{2k-1} - 1) + \sum_{k=1}^{5} (5 - \alpha_{2k}) \right\}$$

SUS スコアの標準は 68 であり，80.3 を超えると優れていることを示し，51 未満の場合はユーザビリティの修正を優先するべきことを示す(表 3).

設問は肯定的な質問と否定的な質問が交互になっており，集計では以下の方法で 0 から 4 の値に変換する．肯定的な質問(α_{2k-1})には被験者のスコアから 1 引き，否定的な質問(α_{2k})には 5 から被験者のスコアを引く．スコア変換後，すべての値を加算し合計値を 2.5 倍することで 0 から 100 のスケールへ変換した値で評価する．

表 3　SUS スコアによる判定の基準 [6]

SUS スコア	グレード	付加される評価
80.3 超	A	Excellent
68〜80.3	B	Good
68	C	Okey
51〜68	D	Poor
51 未満	E	Awful

6.3. 結果

6.3.1. 比較対象との結果

入力速度と正誤率の結果をそれぞれ図 4 に示す．順に提案手法，専用コントローラに入力，ハンドトラッキング入力である．入力速度(CPM)に関しては，提案手法が 15.2，専用コントローラ入力が 26.1，ハンドトラッキング入力が 21.6 となり，専用コントローラ入力が明確に速かった．正誤率に関しては，提案手法が 0.70，専用コントローラ入力が 0.94，ハンドトラッキング入力が 0.91 となり，専用コントローラ入力が入力速度と同様に最も正確であった．提案手法の正誤率に関しては，信頼区間が広く，被験者間でばらつきがあったことが分かる．

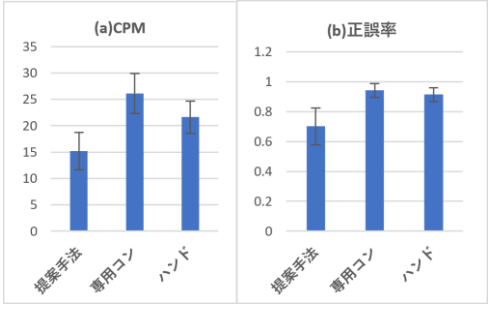

図 4　評価実験における(a)CPM と(b)正誤率の結果

6.3.2. アンケート評価

SUS の結果，全体のスコアの平均は 59.8 となった．SUS の各設問に対する 5 段階評価の数値の平均を図 5 に示す．結果から，特に一貫性の評価が高く，低いのは理解度，操作性であることが分かった．一貫性以外の評価に関しては，信頼区間が広く，被験者間でばらつきがあったことが分かる．自由記述欄で多かった意見は 3 つある．1 つ目は文字削除，濁音，半濁音，小文字変換が連続して行えるのが良いという意見，2 つ目は削除の誤入力が多く，思うように削除できないという意見，3 つ目は慣れるまで時間がかかりそうだが，慣れたら手元を見ずに入力できるようになりそうという意見であった．

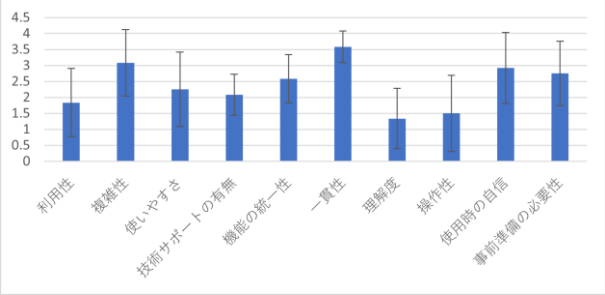

図 5　SUS の各設問におけるスコアの結果

7. 議論

7.1. 専用コントローラ入力とハンドトラッキング入力との比較

Meta の既存手法の 2 つと比較して，提案手法は入力速度，正誤率ともに伸び悩んだ．入力速度に関しては特に習熟度が関係していると考えられる．既存手法と比較してジェスチャでの文字入力を行ったことがある被験者がおらず，普段から目にしたことがある 50 音かな配列の方が慣れているためと考える．

正誤率に関しては削除時の誤入力が関係していると考える．実験中の様子を観察すると，提案手法の文字入力時にジェスチャ認識の誤りが多く発生していた．LMC は通常，机などに置いて内蔵する赤外線センサーとカメラから手の形状を推定する．提案手法は通常と異なり，HMD に LMC を取り付けるため，認識の精度が悪くなったと考えられる．予備実験でジェスチャ認識手法の比較を行い最も精度が高い手法を使用し，評価実験で精度の向上を狙った．しかし，十分に精度を上げることができず，誤入力が多い結果になった．

7.2. ユーザビリティ

SUS のスコア平均は 59.8 であった．SUS の標準平均は 68 であるので，提案手法は平均より低い結果が得られた．各設問のスコアの結果から，複雑性の無さ，一貫性，使用時の自信，事前準備の必要性の無さで評価が高かった．逆にスコアが 1 より低い結果はなかったものの，理解度と操作性の評価が低く，頻繁に使用したいと考える被験者は少なかった．このことから提案手法の機能は整合していて事前準備の不要な手法であることが分かったが，既存手法より直感的に機能を理解することが難しいと考える．すぐに使えるようにならない理由として，普段文字入力にフリック入力や 50 音かな配列を使用しており，ジェスチャでの入力をしたことのある被験者がいなかったためと考える．

自由記述による提案手法の評価で最も多かったのは，誤入力が多いという意見である．評価実験で最も誤入力が多かったのは削除であった．誤入力を削除する際にジェスチャが削除と認識されず，文字の入力になってしまい，さらに誤入力を繰り返してしまうことが起こった．これは，削除のジェスチャに他の 5 つのジェスチャと共通点があり，他のどれかに認識されてしまう可能性が高かったことが原因であると考える．

8. おわりに

本研究では，VR 空間でジェスチャでの覚えやすい文字入力を可能にすることを目的として，両手の親指を基準としたピンチ動作を用いた新たな文字入力手法を提案した．予備実験では，2 種類のピンチ動作の手の向きと 3 種類のピンチ動作認識手法を比較した結果，ハイブリッド型で手を前向きすることが最適であると判明した．また，ピンチ動作によって認識率にかなりの差が生じることも分かった．評価実験では，提案手法は入力速度，精度ともに既存手法よりも評価が低いという結果となった．SUS を用いた提案手法の評価では，スコアが標準平均より低い結果が得られた．

今度の課題として，入力速度の向上とジェスチャ認識精度の安定があげられる．解決策としてジェスチャ入力の習熟度を上げる他，削除のジェスチャを他のジェスチャと重複しないジェスチャに再検討すること，LMC ではないジェスチャ認識手法を再検討することが考えられる．

文　献

[1] C. Lewis and P. E. Leigh, "Spatial Virtual Keyboard for Wand Based Virtual Reality," *Proc. ACM SUI*, p. 161, 2017.

[2] 細野敬太，笹倉万里子，田辺浩亭，川上武志，"Leap Motion を用いたジェスチャ操作による文字入力方法の提案," 人工知能学会全国大会論文集, no. 2E1-4in, pp. 1-4, 2014.

[3] 福仲伊織，謝浩然，宮田一乗，"VR 環境におけるフリック入力形式インタフェースの開発," 情報処理学会研究報告：HCI, vol. 182, no. 3, pp. 1-8, 2019.

[4] 喜多修太朗，小倉加奈代，B. B. Bahadur，高田豊雄，"Leap Motion を用いた VR 上での文字入力手法の検討," 情報処理学会研究報告：HCI, vol. 182, no. 21, pp. 1-7, 2019.

[5] 二本松拓哉，中村喜宏，"VR 環境におけるピンチ動作を用いた視覚に頼らない文字入力方法の検討," 情報処理学会全国大会講演論文集, pp. 309-310, 2017.

[6] J. Brooke, "SUS: A Quick and Dirty Usability Scale," *Usability Evaluation in Industry*, pp. 189-194, 1996.