



タンジブル手書き文字入力システムを用いた コピー&ペースト機能の考案と検討

Study and Design of a Copy and Paste Function using a Tangible Handwriting Input System

佐藤秀翔¹⁾, 藤原克哉¹⁾, 中島佐和子¹⁾, 水戸部一孝¹⁾

Shuto SATO, Katsuya FUJIWARA, Sawako NAKAJIMA, and Kazutaka MITOBE

1) 秋田大学大学院理工学研究科 (〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1, m8022507@s.akita-u.ac.jp)

概要: 我々は、実際に指で触れている感覚を得ながら文字を描画できるタンジブル手書き入力システムを開発している。描画した図や文字を VR 空間上で再度使用するコピー&ペースト機能は、他者とデータ共有する機会が多いメタバースにおいても重要である。そこで本研究では、文字のコピー手法として「ボタン接触方式」と「時間経過方式」を考案し比較実験した。それらの主観的有用性を比較した結果、ボタン接触方式の方が有意に使いやすいことを明らかにした。次に、既存ペイントアプリ Open Brush と比較実験した結果、ボタン接触方式が有意に使いやすいことを明らかにした。

キーワード: 仮想現実, 手指用モーションキャプチャ, 文字入力, ユーザインタフェース

1. はじめに

没入型 VR 技術を使用した教育は、教育現場の課題である、子供の学習意欲の低下、学習効率の低さの打開策として期待されている。実際に、VR を使用した授業を受けた受講者の方が通常の授業を受けた受講者よりもテストの点数が高い結果を得ている[1]。しかし、従来の教育現場への応用では、提示された音声や映像が教育者と受講者の主なコミュニケーション手段となっているため、受講者は受動的にならざるを得ない。VR 空間上で自由な文字入力が可能になれば、個人の署名やインタラクティブ教材への回答がスムーズになり、利便性が高まる。既存の文字入力方式として、キーボードと音声認識がある。しかし、没入型 VR 体験中は自身の手元を確認できないため、キーボードによる文字入力は困難である。また、音声認識は騒音の影響を受けやすく、大人数になりやすい教育現場では使用できる場面が限られる。そのため、没入型 VR に適した新たな文字入力手法が必要である。

そこで我々は、磁気式モーションキャプチャをアクリル板と指先に装着し、指先がアクリル板に触れる感覚を得ながら VR 空間上に手書き入力できるタンジブル手書き文字入力システムを開発している[2]。これまでに、タブレット端末よりもタンジブル手書き文字入力システムの方が漢字のなぞり書きタスクにおいてずれが少ないことを明らかにした[3]。しかし、これまでの研究は書きやすさの最適化や改良が中心で、描いた後の文字を VR 空間上で編集、蓄積、再使用する機能が十分に検討されていない。蓄積し

たデータを普及が進むメタバースで、共有しやすくする機能も必要である。

課題解決のため、まず描いた文字を複製するコピー&ペースト機能に注目し。新手法として「ボタン接触方式」と「時間経過方式」を考案した。そして、2方式の有用性比較のために実験した。また、考案手法と一般的な手法の使いやすさを比較するために、VR 向けペイントアプリである Open Brush を比較対象に用いて実験した。本稿では、これらの比較実験と、実験の主観的有用性のアンケート評価の結果を明らかにする。

2. システム構成

2.1 タンジブル手書き文字入力システムの構成

図 1 にタンジブル手書き文字入力システムの実験環境を示す。本システムは、Liberty 磁気式デジタルペン本体 (Polhemus 社製)、Liberty トランスミッタ、3つの Liberty レシーバ、アクリル板 (長さ: 300mm, 幅: 200mm, 厚さ: 3mm, 質量 248g)、Stylus、没入型ヘッドマウントディスプレイ (以下、HMD) である Meta Quest 2 (Facebook Technologies, LLC 社製)、Meta Quest 2 コントローラ (左手用) で構成される。なおコントローラは、手に持たずに机に置いて、Liberty トランスミッタとの位置合わせのために使用する。アプリケーション開発環境は Unity (Unity Technologies) である。本システム使用者は、HMD を装着し、右手人差し指の爪上にレシーバを装着する。VR 空間上にはアクリル板とリンクする直方体のオブジェクト(仮

想操作盤), レシーバとリンクする 1 辺 10mm の青色の立方体オブジェクト, 指とリンクするインク射出点を示す直径 3mm の緑色の球オブジェクトが表示される. 図 2 に仮想操作盤およびインク射出点の外観を示す. 実空間上で指腹部がアクリル板表面に触れると, VR 空間上のインク射出点が仮想操作盤内に沈み, アクリル板と指が接触したことを検知する. 接触時の座標を毎フレーム取得し, その座標を線で結ぶことで文字を描画する.

2.2 Open Brush の概要と実験システム構成

Open Brush は Google によって提供されていた VR3D ペインティングアプリケーション Tilt Brush のオープンソースコードから作成された派生アプリである. VR コントローラを使用して線を自由に描画でき, グリッド線を用いた直線の描画, 線の選択および移動, 線のコピー&ペーストなど様々な機能が実装されている. Open Brush の実験で使用するシステムは, Meta Quest 2 と Meta Quest 2 コントローラ 2 台 (左手用および右手用) で構成される. 右手コントローラの人差し指のトリガーを押すことで, VR 空間上のコントローラ先端からインクが射出され, 文字を描画できる.

3. 考案したコピー&ペースト機能

3.1 ボタン接触方式

ボタン接触方式では, 仮想操作盤上の一部にコピー&ペースト機能用のボタンを配置し, ボタン以外の領域を描画領域とする. 図 2 がボタンを配置した仮想操作盤の外観である. コピーボタンに触れると, コピー対象の文字がその場にコピーされる. コピーした文字は, 自由に移動させることができる. ペーストボタンに触れると, コピーした文字がその場に固定される. リセットボタンに触れると, 現在のコピー対象を解除する. これらの動作は, インク射出点とボタンオブジェクトの接触を検知した時に実行される.

3.2 時間経過方式

ボタン接触方式では, コピーを実行するためにボタンオブジェクトに指を接触させる動作が必要である. 動作を必要としないコピー方法により, 利便性が向上すると考え, 新たなコピー方法として時間経過方式を考案した. 時間経過方式では, インク射出点が仮想操作盤から離れた 3 秒後に自動でコピーを実行する. コピーされる文字の確認や, 複数の文字を書く場合の時間間隔, 文字の追加入力判断などを考慮して, コピー実行時間は 3 秒に設定した.

3.3 コピー範囲の決定方法

文字を構成する座標を記録するだけでは, 描画した全ての文字がコピー範囲になってしまう. 任意の文字をコピーするために, コピー範囲を解除する機能が必要である. そこで, 記録した座標を消去してコピー範囲を変更する, リセット機能を考案した. リセットボタンに触れることでコピー範囲のリセットを実行する. この操作は, ボタン接触方式と時間経過方式で共通である.

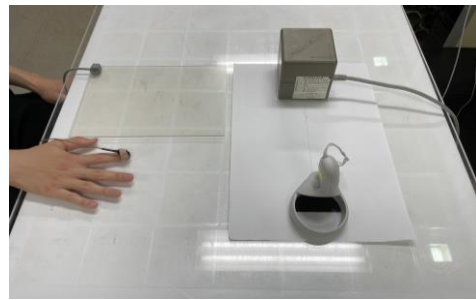


図 1: タンジブル手書き文字入力システムの実験環境



図 2: 仮想操作盤およびインク射出点の外観

3.4 ペースト方法

コピーした文字を VR 空間上で活用するには, コピーした文字を自由に移動させる機能が必要である. Unity では, オブジェクトに親と子の関係を設定でき, 子オブジェクトは親オブジェクトの動きに追従する特性を持つ. そこで, 仮想操作盤を親, コピーした文字を子に設定し, 仮想操作盤を動かすことでコピーした文字を自由に移動させるペースト機能を考案した. 移動させた後に親子関係を解除することで, コピーした文字をその位置に固定する. ペーストボタンに触れることで文字のペーストを実行する. この操作は, ボタン接触方式と時間経過方式で共通である.

4. Open Brush のコピー&ペースト機能

4.1 コピー範囲の決定方法

3 章で説明したタンジブル手書き文字入力システムのコピー&ペースト機能は, 描いた文字をすぐにコピーする機能に限定していたが, Open Brush では描画とコピーは切り離されており, 描画後にコピー範囲を選択する必要がある. 左手コントローラには様々なアイコンが配置されたパネルが表示される. パネル上のカーソルアイコンを右手コントローラの人差し指のトリガーで押すと, 右手コントローラで文字を選択できるようになる. 再度, カーソルアイコンを押すと文字の選択を解除できる.

4.2 コピー方法

文字を選択した状態で, 右手コントローラの A ボタンを押すと, 選択した文字をコピーできる.

4.3 ペースト方法

コピーした文字に右手コントローラを近づけた状態で、右手コントローラの中指のトリガーを押すと文字を持って移動させることができる。移動させた後にコピーした文字の選択を解除すると文字はその位置に固定される。

5. 比較実験

5.1 比較実験の概要

まず初めに、タンジブル手書き文字入力システムを使用した新たな考案方式の、ボタン接触方式と時間経過方式を比較するために2方式を用いて実験した。次に、考案方式の比較結果の優れていた方式と一般的なシステムを比較するために Open Brush 方式を用いて実験した。

実験の内容は、1字を書いてその1字をコピー&ペーストする課題と、4字を書いて4字をコピー&ペーストする課題と、4字を書いてそのうち2字をコピー&ペーストする課題の3種類の課題からなる。3つの課題をこの順に実施する。これを1試行とする、3課題で書く文字は指定した。文字の描画やコピー&ペーストの課題を統一するために、VR空間上に赤と青の2種類のマスを設置し、赤マスは文字を描画するマスで、青マスはコピーした文字をペーストするマスとした。

5.2 VR空間上のマスの配置

5.2.1 タンジブル手書き文字入力システムのマスの配置

図3にタンジブル手書き文字入力システムの実験に使用するマスの外観を示す。マスの内寸は100mmでマスの枠の太さは4mmである。実験参加者がマスを見た時にマスが視線と対向するように、x軸まわりに45度回転した角度で配置した。

5.2.2 Opne Brush のマスの配置

図4にOpen Brushの実験に使用するマスの外観を示す。Open Brushでは、マスの位置、マスの枠の太さなどを数値で指定して調整することができない。タンジブル手書き文字入力システムで使用したマスの配置を参考にしてOpen Brushのマスを配置したが、マスとマスの間の距離およびマスの枠の太さを完全に再現することはできなかった。

5.3 実験参加者および実験手順

実験参加者は右利きの男性8名で、平均年齢22.5(S.D.=0.94)歳である。実験参加者は、計測前に操作方法の確認および練習として、簡単な図形を描画しコピー&ペーストした。また、下記の条件を教示した。

- A) コピーしてからペーストするまではできるだけ早く実行する。
- B) マス内のできる限り大きく文字を書く。

計測時には、下記のIからVまでの動作を1試行とし、1名あたり各方式について5試行ずつ計測した。本実験では、順序効果を軽減するために、実験参加者を無作為に半数に分け、一方はボタン接触方式、他方は時間経過方式から先に計測した。5試行計測後に、次の方式の計測を開始した。Open Brush方式は別の日に改めて計測した。

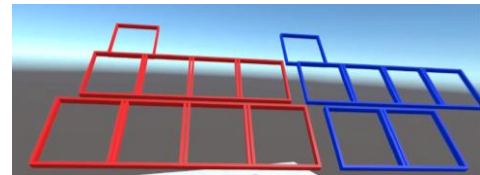


図3: タンジブル手書き文字入力システムの実験に使用するマスの外観

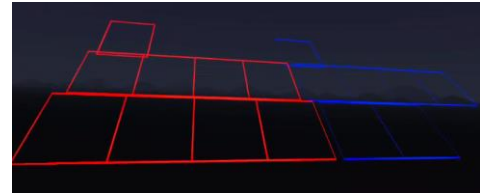


図4: Open Brushの実験に使用するマスの外観

- I. 上段の赤マスに「あ」を描画し、上段の青マスにコピー&ペーストする。
- II. コピー範囲をリセットする。
- III. 中段の赤マスに「秋田大学」を描画し、中段の青マスにコピー&ペーストする。
- IV. コピー範囲をリセットする。
- V. 下段の赤マスに「秋田大学」を描画し、「大学」のみを下段の青マスにコピー&ペーストする。

本実験は、秋田大学手形地区における人を対象とした研究に関する倫理規定に基づいた倫理審査のうえ、秋田大学の倫理審査委員会の承認を得て実施された。

5.4 主観的アンケート

実験終了後、各方式のコピー&ペースト機能の使いやすさを評価するために被験者にアンケートに回答してもらった。アンケートでは、システムを使用した際の主観的有用性を評価する指標として System Usability Scale (以下、SUS) を使用した[4]。また、SUSの他に自由記述のアンケートも実施した。

6. 実験結果

6.1 主観的アンケートの結果

被験者8名の考案システムのSUSスコアの平均値は、ボタン接触方式が87、時間経過方式が69であった。図5に各方式間のSUSスコアの分布を示す。学生t検定を使用して検定したところ、ボタン接触方式の方が時間経過方式よりもSUSスコアが有意に高かった($p < 0.05$)。次に、有用性が高かったボタン接触方式とOpen Brush方式のSUSスコアを比較した。Open Brush方式のSUSスコアの平均値は68であった。ウィルコクソンの符号付順位和検定を使用して検定したところ、ボタン接触方式の方がOpen Brush方式よりもSUSスコアが有意に高かった($p < 0.05$)。

6.2 コピー&ペーストの所要時間

図6に、各方式間の1試行にかかったコピー&ペースト

の平均時間を示す。スチューデントの t 検定を使用して有意水準 5% で検定したが、2 方式間に有意差は見られなかった。次に、ボタン接触方式と Open Brush 方式で比較した。スチューデントの t 検定を使用して有意水準 5% で検定したが、2 方式間に有意差は見られなかった。

7. 考察

7.1 主観的アンケートの結果の考察

主観的有用性のアンケート結果より、ボタン接触方式の方が時間経過方式よりも有用性があると判断できる。アンケートに設けた自由記述では、複数の被験者が時間経過方式においてコピーするまでの時間が長いと回答した。ボタン接触方式は、ユーザがコピーのタイミングを決定できるのに対し、時間経過方式はシステム側がコピーのタイミングを決定する。そのため、時間経過方式ではコピーが実行されるまで待ち時間が発生し、一連の作業の流れが途切れてしまうため、有用性に差が出たと考える。また、ボタン接触方式の方が Open Brush 方式よりも有用性があると判断できる。アンケートの自由記述では、複数の被験者が Open Brush 方式において、システムに慣れるまで時間がかかったと回答した。Open Brush 方式は、コピー&ペーストを実行するために、コントローラの様々なボタンを押す必要がある。コントローラは握って使用するため、操作中に各ボタンが何の役割を果たすかを視覚的に判断することは難しい。そのため、各ボタンの役割を事前に覚える必要があり、各ボタンと機能の対応付けに時間がかかったため、ボタン接触方式よりも有用性が下がったと考える。

7.2 コピー&ペーストの所要時間の考察

1 試行にかかった時間について、コピーした文字を赤マスから青マスに移動させる距離と動作は同じなため、有意差は見られなかったと考える。タンジブル手書き文字入力システムは指とアクリル板を接触させて文字を描画するのに対し、Open Brush はコントローラのトリガーを押して文字を描画する。この文字入力手法の違いが、文字描画時間に影響を及ぼすか検討する必要があると考える。

7.3 ボタン接触方式の改良についての考察

現在の方法では直前に描画した文字しかコピーできない。VR 空間上過去に描画した文字をユーザが後から範囲指定して任意のタイミングでコピーできる機能が必要である。そこで範囲指定法として、仮想操作盤で接触した部分をコピー対象に設定する機能を考案し、実験によりその有用性を評価する予定である。

8. おわりに

指先がアクリル板に触れる感覚を得ながら手書きできるタンジブル手書き文字入力システムの新機能として、描画した文字をコピー&ペーストする機能を考案した。「ボタン接触方式」と「時間経過方式」の2方式を構築し、実

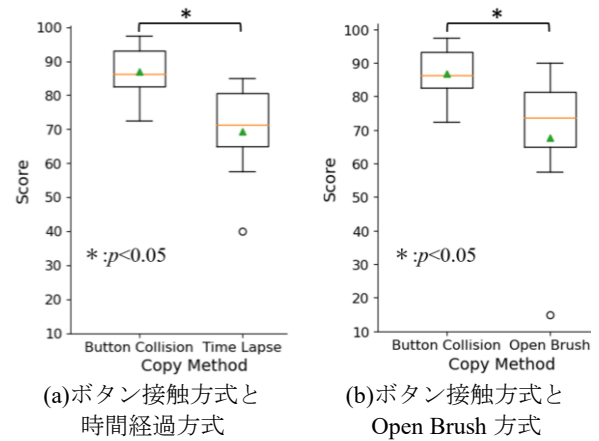


図 5: 各方式間の SUS スコアの分布

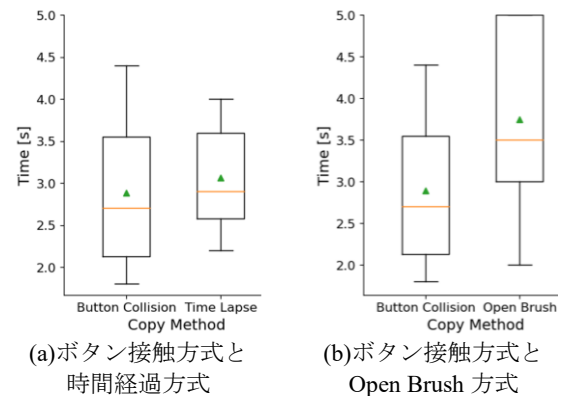


図 6: 各方式間の 1 試行にかかった
コピー&ペーストの平均時間

験により比較評価した結果、ユーザビリティ評価においてボタン接触方式が有意に優れていることを示した。また、考案したボタン接触方式と一般的な VR 向けペイントアプリである Open Brush を実験により比較評価した結果、ユーザビリティ評価においてボタン接触方式によるコピー方法が有意に優れていることを示した。

参考文献

- [1] Beijing Bluefocus E-Commerce Co, Ltd: A Case Study -The Impact of VR on Academic Performance (2016).
- [2] 丹野遼平, 藤原克哉, 水戸部一孝: 磁気式 MoCap を用いた没入型 VR 向け手書き文字入力用インタフェースの構築; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2017 論文集, pp.49-56 (2017).
- [3] 藤原克哉, 安藤遼馬, 水戸部一孝: 磁気式モーションキャプチャ装置を用いた没入型 VR 向けタンジブル手書きシステムの開発と評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.26, No.2, pp.263-272 (2024).
- [4] John Brooke : SUS-A quick and dirty usability scale, Usability Evaluation in Industry (1996).