



AR コンテンツにおける各種入力手法の精度評価

羽賀夢馬¹⁾, 橋口哲志¹⁾

Yuma HAGA, and Satoshi HASHIGUCHI

1) 龍谷大学大学院 理工学研究科 (〒520-2194 瀬田大江町横谷 1 番 5)

概要: AR コンテンツにおける操作には主にコントローラやジェスチャが用いられている。これらの手法により手軽で簡易な操作が可能である。しかし、動作の簡略化、異なる動作への置換、仮想物体とのインタラクションにはフィードバックが存在しないといった問題点があり、実体験と大きく乖離する要因となっている。そこで、本研究では実際の触感を提示できる入力手法を提案し、他の手法との精度評価を行う。

キーワード: ユーザインタフェース, 拡張・複合現実, 触覚

1. はじめに

AR コンテンツでは、コントローラやジェスチャなどの入力手法で仮想物体を選択、拡張、移動など操作することができる[1]。しかし、これらの手法は実体験と比較すると動作の簡略化や他の動作に置換されている傾向がある。これら現実との乖離は体験を阻害する可能性があり、直感的に操作できることが重要とある。また、現実との乖離する要因として、操作による触感がないことにある。振動や音によるフィードバックは研究されているが[2]、現実と齟齬のない触感の付与が必要である。そこで、これらの問題を解決するために既存の道具を用いることが提案されている[3]。既存の道具は良いアフォーダンスをもっており、その特徴をそのまま利用できることで直観的な操作が可能となる。それに加えて、道具を用いることで現実空間の触感を仮想空間に持ち込むことができる。

それ故、本研究では触感が特徴的なスタンプ型デバイスを提案した[4] (図 1)。スタンプの押し触感は、ボールペンのノックや緩衝材のプチプチなどと同様に快感を得られる要素がある。この感覚は現実世界でも特徴的な触感であるため、実体験との乖離を少なくさせる効果も期待できる。このようなスタンプのメタファを AR コンテンツの取り込むことで、触感と心地よさも付与した入力デバイスとして活用できると考えた。このスタンプ型デバイスの触感が AR コンテンツにどのような影響を与えるのか検証実験を行ったところ、スタンプの押し込み動作に特徴があることがわかった。この押し込み動作は、小型デバイスであるにもかかわらず、身体的な負荷として効果的に利用できる。また、押し込み時の触感にも特徴があり、負荷があるにもかかわらず心地よさを提示できることがわかった[5]。

また、スタンプ型デバイスの特徴には触感の他にもう 1 つ存在する可能性がある。スタンプはある種、昔ながらの



図 1: スタンプ型デバイス

ポインティングデバイスのようなもので、どこかに押して使用するものと理解できる。それに加えて、ある特定の位置に捺印を押さなければならないため、潜在的に正確性も求められている。よって、その正確に押さなければならないポインティング機能がもう 1 つの特徴として AR コンテンツに影響を与える可能性がある。

そこで、本稿では先行研究[4]で比較した 3 つの手法 (Touch, Pointer, Stamp) を用いて精度・正確性の検証を行う。AR コンテンツにおいて入力手法及び精度は重要であり、精度・正確性を比較することでどの手法がどのような特徴があるかを分析することができる。また、素早く入力できるかどうかや操作性についての質問も併せて、分析することで各手法において精度を求めた場合の特徴を確認していく。

2. 実験目的とシステム構成

2.1 目的

AR コンテンツにおける入力手法である 3 つの手法 (Touch, Pointer, Stamp) の精度・正確性の検証を行う。操作に所要した時間や操作性についての質問も併せて、分析することで各手法において精度を求めた場合の特徴を確認していく。

2.2 システム構成

システム構成図を図 2 に示す。システム構成は先行研究と同様に光学シースルー型頭部装着型ディスプレイの HoloLens2 (Microsoft) にスタンプ型デバイスをワイヤレスで接続する。実験用アプリケーションは Mixed Reality Tool Kit (MRTK) を用いて開発プラットフォーム Unity で作成した。

2.2.1 スタンプ型デバイス

先行研究で製作したスタンプ型デバイスを使用する。スタンプ型デバイスはスタンプホルダー (シャチハタ, CPHN-A3) にマイクロコンピュータの一種である M5StickC (スイッチサイエンス) を取りつける。デバイス内には M5StickC に接続されたスイッチが内蔵しており、入力信号を HoloLens2 に送信する。デバイスの位置はハンドトラッキング技術で手の位置を取得し、計算して求めている。スタンプ型デバイスのスイッチが入力された場合、衝突判定が発生する仕組みとなっている。

2.2.2 マーカ

アプリ起動時の開始位置 (原点) に依存することがないようにするため AR マーカを用いた。実験中はアンカーポイントとなる AR マーカを認識することで安定した位置・高さに仮想物体を置くことを可能としている。AR マーカの認識には Vuforia を用いた。ターゲットが出現する位置は、マーカを原点 $[0, 0]$ として X 座標 $[-0.2 \sim 0.2]$ 、Z 座標 $[-0.2 \sim 0.2]$ の範囲となる 25 点を基準点とした。

2.2.3 ターゲット

10 秒ごとにランダムな基準点にターゲット (円柱型: 半径約 2.00cm, 高さ約 1.00cm) を合計 30 回出現させる。ボードの厚みが約 3.00cm 程度であるため、おおよそボードに沿って表示されている。

2.2.4 赤ピン

被験者の入力した位置に赤色のピンを立てるようにした。これにより被験者に入力の完了と座標・ズレの確認が可能である。

ターゲットやボードに入力処理がされると入力した座標を明示するため、赤色のピンを立てた。複数回の入力を可としているため複数のピンを立てることができる。ピンを立てると同時にデータを配列に格納して記録した。記録したデータの内容を表 1 に示す。ターゲットの座標更新時に立てた全てのピンを削除した。

2.2.5 オブジェクトの座標

ターゲットの座標と立てたピンの座標を出力し、入力位置のズレから精度を評価する。入力位置のズレは取得した

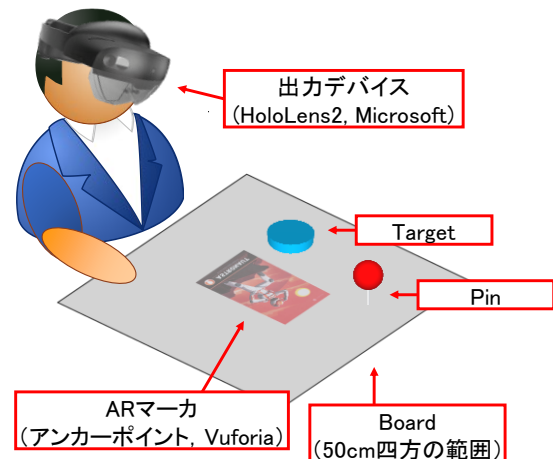


図 2: システム構成図

表 1: 記録したデータの内容

名前	内容
Num	操作を行った際に出現しているターゲットの番号
ターゲットの座標	出現しているターゲットの座標 $[x, y, z]$
ピンの座標	入力したピンの座標 $[x, y, z]$
マーカの座標	原点からのズレを修正するために必要 $[x, y, z]$
time	実験開始時から経過した時間 [s]

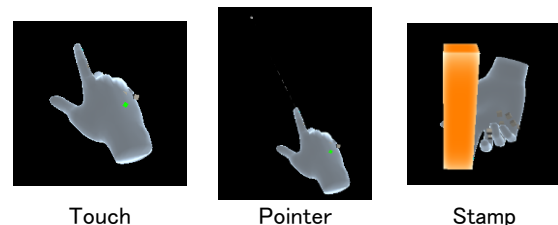


図 3: 入力手法

ターゲットの座標とピンの座標の差から誤差を計算して求めるものとする。今回は平面に平行な方向のズレを用いて分析するため、ターゲットとピンはともに垂直方向である高さ Y 座標を一定とした。

3. 実験

3.1 実験環境

実験には、13 名 (男性 10 名, 女性 3 名, 平均年齢 21.77 歳) が参加した。手法は図 3 の 3 種類とする (A: Touch, B: Pointer, C: Stamp)。各手法でターゲットの位置に赤色のピンを立てるタスクを指示した。被験者にはターゲットの中央にピンを立てることを意識して行うように指示した。手法及び各個人における作業難度を均一化するため、利き手のみで作業するように指示した。また、入力位置に誤差が生じたと思った場合、再入力することは可とした。カメラとマーカの距離感が一定とならないため、実験中は着席してもらった。被験者が疲労を感じた場合に

は十分な休憩を設けた。試行の順序はランダムで以下の実験手順の通りに実施した。

1. 同意及び事前調査
2. 実験概要と各手法の説明
3. 各手法を十分に練習
4. タスク開始
5. 3 手法終了後、質問・意見聴取に回答

3.2 評価手法

タスクで得られた座標データと質問・意見調査で得たユーザ評価、コメントから評価・分析を行う。座標データから入力位置をグラフに図示し、結果の分析を行う。また、座標データから誤差となる直線距離、入力に要した時間、各ターゲットに対する入力の回数などを計算し比較する。質問・意見調査では、正確性について、使用感について、自由コメントを聴取した。設問の内容は以下の通りである。

- 正確性：正確に押せたかどうか（1～5）
- 使用感：点数をつけるなら何点か（100 点満点）

4. 結果と考察

4.1 結果

今回は記録した入力データのうち、各ターゲットに対して最初の入力となるデータのみを抽出し、分析に使用した。また入力が間に合わない場合も存在し、その場合は空欄として扱った。抽出したデータの入力座標をグラフにプロットして評価を行う。各手法のプロットしたグラフを図 4 に示す。また、得られたデータから計算して求めた直線距離と所要時間を表 2、表 3 に示す。直線距離の平均値はそれぞれ Touch : 0.0167m, Pointer : 0.0521m, Stamp : 0.0166m となった。所要時間は Touch : 3.068s, Pointer : 3.661s, Stamp : 2.715s であった。

4.2 考察

4.2.1 データ評価

図 3 より、点のばらつきに手前側と奥側（Z 軸方向）、中心と両端（X 軸方向）で差がみられる。Pointer が最も入力位置にばらつきがあり、正確に入力することが難しいという傾向がみられる。表 2、表 3 より、誤差及び所要時間の平均値は Pointer が最も大きいという結果となった。所要時間が長いということは、位置の調整を慎重に行う必要がある。すなわち、精度を重視したタスクにおいて Pointer は難度が高い傾向があると考えられる。

表 3 より、Stamp は最初の入力に関して所要時間が最も少ない傾向がある結果となった。これにより、正確に選択するというタスクにおいては Stamp が最も向いているということが分かる。

4.2.2 ユーザ評価

ユーザ評価の結果の平均値を表 4 に示す。結果より正確性、使用感ともに Stamp, Touch は高く、Pointer は低いという結果となった。得られたコメントでは、Touch は直感的で押しやすい、精度が最も良いなど好評であった。しかし、距離感が難しく、誤入力が発生したという意見もあ

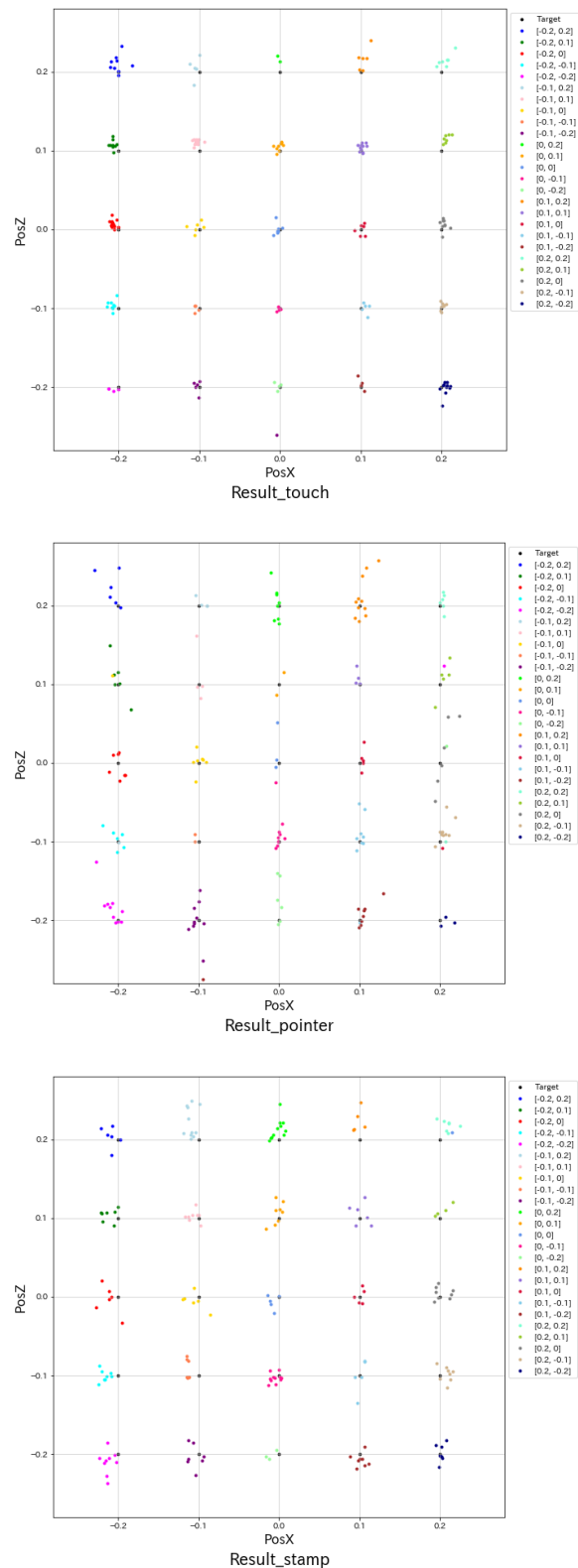


図 4：各手法の入力データ
(A：タッチ，B：ポインタ，C：スタンプ)

った。これは、マーカから手前側（Z 座標 [-0.2 ~ 0]）は被験者に近く操作しやすいが、奥側（Z 座標 [0 ~ 0.2]）では手を伸ばす必要が生じる。そのため、額のカメラに対して腕が水平になり、認識している指先を正確にトラッキングすることが難しく、前後に関する位置関係にズレが生じ

表 2： 誤差（直線距離）(m)の値

手法	平均	最大値平均	最小値平均
Touch	0.0167	0.0916	0.00148
Pointer	0.0521	0.323	0.00198
Stamp	0.0166	0.145	0.00244

表 3： 所要時間(s)の値

手法	平均	最大値平均	最小値平均
Touch	3.068	6.373	1.459
Pointer	3.661	7.714	0.915
Stamp	2.715	4.979	1.340

表 4： ユーザ評価

手法	正確性平均 (1～5)	使用感平均 (0～100)
Touch	3.462	71.923
Pointer	1.846	35.769
Stamp	3.538	80.769

た可能性がある。

Pointer については操作が難しい、位置の微調整が難しいという意見が得られた。手のかすかな位置調整でカーソルを動かすことに加え、入力で親指と人差し指をつけて離すというジェスチャ操作によりブレが生じるため、他の手法よりも正確性という点で劣っていると考えられる。ブレが生じる影響により、手前の方ではズレが少なく奥側になるほど難しいという意見もあった。さらに、ジェスチャ操作と位置調整に集中することで疲れが生じやすいという意見も得られた。

Stamp は Touch には劣るものの精度は悪くないという意見が多くみられた。入力前に反応しない距離で位置を調整することが可能であるため、Touch よりも使いやすいという意見もあった。さらに、誤入力が発生することがない点で評価が高い、入力後の位置調整がしやすいという意見も得られた。

5. 結論

本稿では AR コンテンツにおける 3 つの入力手法 (Touch, Pointer, Stamp) を用いて精度・正確性の検証を行った。精度・正確性についての評価分析を行った結果、Stamp は Touch と同等の精度で入力が可能であることが判明した。Pointer については精度を求める操作が難しいことがわかった。また Stamp は Touch よりも誤入力が発生することが少ない、使いやすいなどの意見があったことから精度もよく操作性もよい入力である可能性を示唆した。

今後はスタンプ型デバイスがもつ触感とポインティングデバイスに必要な精度・正確性という 2 つの特徴を活かした AR コンテンツを作成する。そして、評価実験を通して触感を有する入力デバイスが AR コンテンツにおける新たな入力手法として活用できることを実証していきたい。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 21K11947 の助成による。

参考文献

- [1] 吉永崇：“次世代 AR デバイスの紹介 -Microsoft HoloLens と Google Tango の概要と利用事例-”，可視化情報学会誌, Vol. 37, No. 146, pp. 20 - 25, 2017.
- [2] 中島武三志, 植井康介, 飯田隆太郎：“MR 環境下での疑似接触音が触感錯覚に与える影響”，日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 25, No. 2, pp. 127 - 137, 2020.
- [3] 川越真帆, 山本拓也, 大槻麻衣, 柴田忠久, 木村朝子：“道具型デバイスを活用した複合現実型電子彫刻システム”，ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 20, No. 4, pp. 491 - 500, 2018.
- [4] 羽賀夢馬, 橋口哲志：“AR コンテンツにおけるスタンプ型デバイスの実装と検討”，インタラクション 2021, 1B11, 2021.
- [5] 羽賀夢馬, 橋口哲志：“AR コンテンツにおけるスタンプ型デバイスを用いた入力手法の分析”，第 189 回ヒューマンインタフェース学会研究会 ヒューマンインタフェース・ステップアップキャンプ (SIGMAS-13) , 2022.