



HMD 環境での FPS ゲームを対象とした ポインティング動作の反応速度の特性調査

Investigation of the characteristics of the reaction speed of pointing
movements for FPS games in a VR environment

伊藤大滋¹⁾, 盛川浩志¹⁾

Taiji ITO and Hiroyuki MORIKAWA

1) 東京工科大学メディア学部 (〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1)

概要: 本研究では, PC と HMD の FPS ゲームでの照準操作の反応速度の変化を検討した. 実験では, 正面から左右 50 度まで 11 箇所ランダム出現するオブジェクトをクリックさせるタスクを行った. クリックまでの反応時間を測定した結果, HMD では PC より反応速度が遅くなった. 参加者の口頭での意見からも「HMD の方が難しい」との意見が多かった. 今後の課題として, ポインティングにかかる動作について詳細に分析を行っていく.

キーワード: ユーザインタフェース, 行動, 視覚, HMD, FPS

1. はじめに

1.1 研究背景

現在主流の FPS ゲームは PC 端末でプレイされることが多い. コンシューマゲーム機でも, 多くのユーザが FPS ゲームをプレイしている. これらのゲームプレイ環境の違いとして大きな要因は, 操作に用いるデバイスである. PC 環境ではキーボードとマウスが用いられることが多いが, コンシューマゲーム機ではコントローラを用いることが多い. この操作環境の違いは, ゲーム体験の違いにもつながり, またオンラインで異なる環境のユーザ同士が同じゲームを体験することの障害ともなる.

一方で, ゲームをプレイする環境として, HMD (ヘッドマウントディスプレイ) などの VR 端末が普及してきている. PC の FPS ゲームでは照準が画面中央に固定されており, マウス操作が視線の動きと照準の動きを同時に行うのに対し, VR での FPS ゲームでは照準がなく, 視線の動きを頭部の動きで, 照準の動きをコントローラで制御する形式が多い. さらに HMD では視野角が広がるため, 視野角外の敵に対する反応が PC と異なる可能性があり, これがオンライン対戦での有利不利に影響する可能性がある.

そこで本研究では, PC と VR の FPS ゲームにおいて, デバイスの操作方法の違いがターゲットポインティングにおける反応速度や精度に与える影響を明らかにすることを目的とし, 実験的に検証を行った.

1.2 先行研究

ターゲットポインティングに関わる先行研究としては, Fitts の法則[1]が著名であるが, 操作方法としてマウスカーソルをターゲットに合わせることを想定している. FPS では, マウスの移動が視野の操作となり, マウスカーソルに対応する照準の位置は画面中心に固定されるという点で特徴的である.

FPS での操作方法において, PC 環境と VR 環境でのターゲットポインティングについての違いを調べた研究も散見される. FPS でのエイム訓練プログラムを用いた検討では, ディスプレイとマウスを用いる条件に比べ, HMD と VR コントローラを用いる条件では, 反応時間が速くなり, 精度は逆に低くなるという結果を報告している[2]. しかし, この報告で用いられたエイム訓練プログラム[3][4]は, 一般に公開されているものであり, 実際の FPS ゲームにより近い表現を採用しているため, プログラム上の表現の違いといった要因が結果にも影響している可能性がある.

より単純な実験環境を用いた比較においては, ターゲット捕捉, ポインティング, クリックの 3 段階について検討しており, ターゲット捕捉には差がないものの, ポインティングまでの時間は VR で速く, クリックまでの時間はマウスの方が速いと報告している[5]. また, パフォーマンスと精度においてそれぞれ環境ごとに特徴があるとしている. 一方で, 実験タスクの難易度から, FPS ゲームや VR 体験に対する経験が, 影響を与えているとも示唆している.

こうした検討を踏まえ、本研究ではできるだけ単純なタスクとして実験を行い、PC 環境と VR 環境におけるターゲットポインティングの差を明確に示すことを目指した。

2. 実験

2.1 実験の目的

本研究では、FPS ゲームで用いられる照準操作を模した環境下での、ターゲットが表示されてからカーソルを合わせた後、ボタンをクリックするという操作の反応時間を測定し、PC 環境での操作と VR 環境での操作を比較することで、それぞれの環境での操作特性を明らかにすることを目的としている。

実験では、FPS 操作を想定した操作方法でターゲットポインティングを行い、ターゲット表示からクリックまでの反応時間を測定した。通常のディスプレイとマウスを用いる環境と、HMD と VR コントローラを用いる環境で、反応時間を測定し、それぞれの環境で違いを比較した。

それぞれの環境で視覚刺激の呈示とポインティング操作、反応時間の記録を行うプログラムを作成した。プログラム作成にはゲーム制作環境の Unity を用いた。

2.2 実験刺激

実験刺激は、壁に囲まれただけの単純な空間が背景として表示され、ターゲットが適切な時間間隔で呈示されるものとした。実験条件として、ディスプレイとマウスを用いた PC 条件と、HMD と VR コントローラを用いた VR 条件を設定し、それぞれの条件で FPS ゲームを模した操作方法を設定した。

両条件とも、ポインティングの対象となるターゲットは操作者の正面を 0 度として、左右 10 度ずつ円弧状に表示されるように設定した。右方向の位置を正の値として、-50 度から 50 度まで、10 度ずつの計 11 か所の表示位置を設定した（図 1）。ターゲットは赤色の円盤とした。Unity 内にて、円盤の直径は 87.5cm で、カメラから 10m の位置に表示されるようにした。これは視覚で約 5 度となるように設定した。

両条件とも音によるフィードバックは行わなかった。

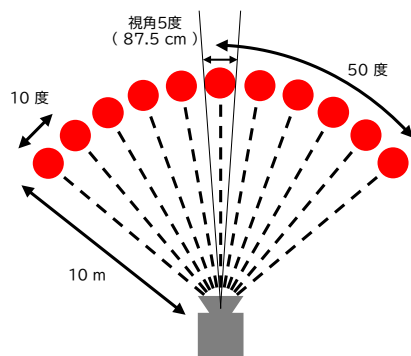


図1 ターゲットの表示位置：

10度ずつ-50度から50度まで11か所にランダムに呈示

2.3 PC 条件の操作方法

PC 環境を模した条件では、操作者のマウス操作に合わせて、仮想空間を描画するためのカメラが回転することで照準を合わせる操作とした。画面中央には、カーソルの代わりとなる照準が表示された。照準は黒い円の中心に白い点が表示されるものとした（図2）。

背景は、カメラを中心として水色の壁で四方を囲むものとした。床面が判別できるよう、床と壁の境界に白い線を表示させた。カメラの画角は水平約 105 度、垂直 72.46 度とした。画面の縦横比は 16:9 であった。

画面上でのターゲットの上に照準の中心が重なった状態でクリックを行った場合に、有効な操作としてそのクリック時間が記録されるよう設定した。照準がターゲット内に無い状態でクリックした場合は、操作ミスとしてその時間を記録した。ターゲットが表示された時間からの差分を反応時間として集計した。

各クリック操作の前に、基準位置として 0 度の位置に表示された十字の中心に、照準を合わせるよう指示した。基準位置の十字は、ターゲットのクリックから 2 秒後に表示され、1 秒間表示されたのち非表示となった。十字が非表示となった後、1 秒から 3 秒までのランダムな時間後にターゲットが表示された。

2.4 VR 条件の操作方法

VR 条件の試行に用いる HMD には、Meta Quest 2 を採用した。VR 条件での操作では、照準の操作とカメラ操作を頭部での動きとコントローラの操作で独立させた。

背景の空間は PC 条件と同様とした。カメラの画角設定は、Meta 社が公開している Unity 用のライブラリの設定をそのまま使用した。設定値は水平視野角 109.8 度であった。

カメラ操作は、HMD によって計測される頭部運動に連動して、仮想空間内のカメラを動かすことで再現した。照準の操作は、コントローラの向きを取得し、仮想空間内のコントローラの向きを右手コントローラの先端から、仮

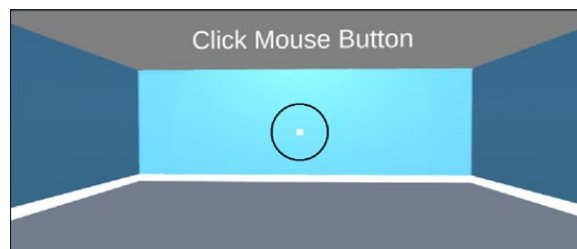


図2 PC 環境での照準

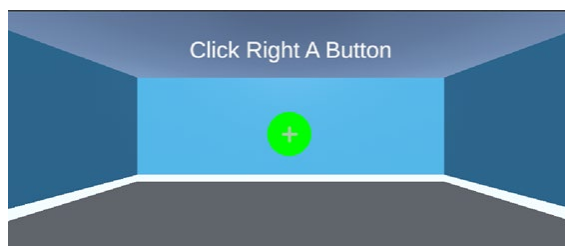


図3 VR 環境での照準（初期位置）

想の光線を飛ばし、その光線とターゲットが交差した際に、その交点に白い点が表示される表現とした。仮想の光線は不可視とし、ターゲットと交差した時のみ交点が表示された。ターゲットはPC条件と同様の赤色の円盤を用い、表示位置も同一の設定とした。

コントローラからの仮想光線が伸びる方向を示すために、コントローラのモデルと、そのモデルから延びる円柱を銃身の代わりに表示した。円柱は直径 2cm、長さ 10cm の白色のモデルを用いた。

クリックの判定もPC条件と同様とし、反応時間も同様の手順で記録した。PC条件では常に表示されている照準が、VR条件ではターゲットに照準が合うまで表示されない。また、ターゲットクリック後の基準位置を示す十字のも同様に表示したが、十字の視認性を確保するため、背景に緑色の円を表示した(図3)。

2.5 実験手順

実験開始直後は、参加者にインストラクション文を表示した待機状態の画面を呈示した。参加者がマウスのクリック、または Meta Quest 2 の右コントローラの A ボタンを押すことで、タスクが開始された。押すボタンの指示は画面上のインストラクション文として表示された。

実験タスクは、表示されたターゲットに照準を合わせてクリックするものとし、できるだけ早くターゲットをクリックするよう参加者に教示した。ターゲットの表示位置はランダムな順番とし、各位置に 1 回だけ表示が行われるものとした。11 か所のターゲットクリックを 1 セットとし、練習試行を 1 セット、本番試行を 5 セット試行した。



図4 PC条件の実験環境:
マウスは右手で操作を行いマウスパッドも使用した



図5 VR条件の実験環境
コントローラは右手のみ用いた

2.6 実験手続き

実験の参加者は 20 代から 30 代の成人 10 名であった。参加者の 10 名はすべて右利きであった。実験の開始に先立ち、参加者は実験の目的や手順などの説明を受け、実験同意書への署名によって実験参加への同意が確認された。

PC条件では、参加者はヘッドホンを着用し一般的な 2D ディスプレイ (24 インチ, 1920×1080 pixel) とマウス (Razer Viper V2 Pro) を使用した(図4)。マウス操作の感度を事前に実験プログラムを使用して調整した。この時、練習試行とならないよう反応時間は計測せず、画面の動きのみで調整を行った。調整ではマウスの DPI (Dots Per Inch) の値を、参加者が操作しやすいと感じるまで値を増減させた。

VR条件では、HMD として Meta Quest2 とそのコントローラを使用した。実験は着座して行った。コントローラは右手で把持させ、胸の前で構え左手は楽の姿勢のままにするよう指示した(図5)。

参加者はPC条件とVR条件の両方でタスクを行った。試行順はPC条件、VR条件の順とした。各条件間の試行には 2 分間の休憩を設けた。両条件の試行後、操作に対する難易度や FPS ゲームの経験、VR の経験などについてアンケートにて調査を行った。

3. 実験結果

3.1 反応速度の平均値

反応時間の平均値について、外れ値を除外して集計した。外れ値は、角度毎のデータの第一四分位数 Q1、第 3 四分位数 Q3 として、 $IQR : Q3 - Q1$ を計算し、外れ値の範囲を上限 $Q3 - 1.5 \times IQR$ 以上として判定した。ただし、下限の外れ値は正しく反応できた可能性があるため除外しなかった。集計した結果を図6に示す。

映像条件と角度を要因とする 2 要因分散分析による検定を行った。その結果、映像条件要因と角度要因ともに主効果に有意差が認められ、また交互作用も有意であった ($F(10, 90) = 31.52, p < 0.0000$)。角度要因のすべての水準において、映像条件要因に有意差または有意傾向が認められ

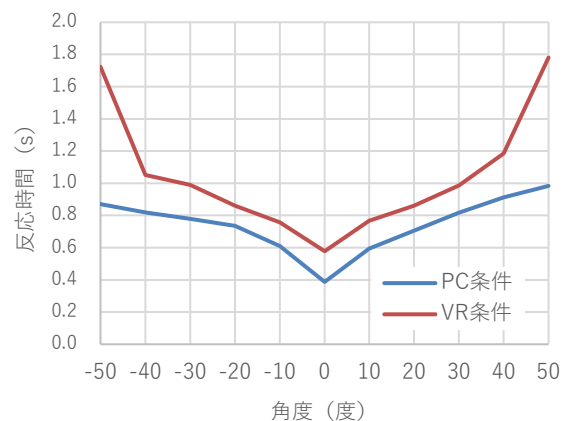


図6 角度毎の反応時間平均値:
すべての角度において映像要因の有意差あり

た。映像条件要因の各水準における、角度要因間にも多くの水準間で有意差が認められた。

この結果から、VR 条件では、すべての角度において PC 条件よりも反応時間が延長することがわかった。また、PC 条件では、0 度において反応時間が顕著に短縮する傾向であるが、VR 条件ではその傾向は小さくなっている。VR 条件では、両端の角度 (-50 度, 50 度) において顕著に反応時間が延長しているが、PC 条件ではその傾向はみられなかった。

3.2 主観評価結果

難易度は、易しいを 1 点、難しいを 5 点として集計した。PC 条件では、1 点と評価した参加者は 1 人、2 点は 6 人、3 点は 2 人、4 点は 1 人、5 点は 0 人であった。平均難易度は 2.3 であった。VR 条件の難易度では 1 点と評価した参加者は 0 人、2 点は 2 人、3 点は 6 人、4 点は 1 人、5 点は 1 人であった。平均難易度は 3.1 となった。VR 条件の方が PC 条件より難しいと評価する参加者が多かった。

3.3 考察

実験の結果、すべての角度において PC 条件に比べ、VR 条件で有意に反応時間が延長した。さらに、すべての角度において、VR 条件の反応時間が PC 条件よりも有意に長い結果が得られた。これは、HMD 環境での操作が視覚的および操作的な負荷が高く、ターゲットへの素早い到達が妨げられていることを示唆している。

特に両端 (-50 度および 50 度) では、反応時間の延長が最も顕著であり、この傾向は VR 条件で強調された。これは、VR 環境では視野外のターゲットに気付くことがより困難であり、ユーザーがターゲットを視認するためにより多くの時間を要したためと考えられる。

口頭での意見でも、VR 条件では -50 度と 50 度の条件で、視野外にターゲットが出現したとの回答が得られている。VR 条件でのカメラの視野角設定は、Meta 社が公開する Unity の SDK の設定をそのまま使用している。この公式設定では、水平視野角 109.8 度となっているが、実際の HMD ではこの視野角の映像を端まで表示できていなかった可能性が高い。そのため、ターゲットを探すために左右に首を振って視認する必要があるため、その時間が影響したことが考えられる。

操作デバイスについても、VR コントローラでの操作に、身体的な負担を訴える意見が聞かれた。マウスでの操作では、前後左右の動きのみで操作が可能であるが、VR コントローラでは、コントローラの位置と角度の 6 自由度の調整が必要となり、難易度が向上するとともに、一点に姿勢を固定することが身体的な負担になることが示唆された。FPS ゲームのような、対象を狙って撃つような操作として、負担の少ない方法の検討が必要である。実際に VR での FPS ゲームを対象としたコントローラ保持のための周辺機器もあり、その有効性評価も課題となる。

4. まとめ

本研究では、PC と VR 環境における FPS ゲームの操作方法によるターゲットポインティングにおいて、デバイスの違いに起因する操作方法の差異が、プレイヤーの反応速度にどのような影響を及ぼすかを明らかにすること目的として、実験による検討を行った。

実験の結果から、VR でのポインティングは PC より反応速度が遅くなることがわかった。参加者からの意見では VR の方が操作が難しいという意見が多く聞かれた。これらの結果から VR での FPS ゲームでは、デバイスや操作方法の改善が必要であることが示唆された。

VR 条件においては、視野外にターゲットが表示された際に、そのターゲットを捕捉するための見渡し動作が反応時間の遅れとして顕著に表れた。HMD の視野角については、メーカーから公称されている値があるが、機種によって異なっている。実際の FPS ゲームのプレイ環境として捉ええると、機種ごとの視野角の違いがプレイ難易度に影響を与えることにつながる。人間の周辺視野に対する認知特性もターゲットポインティングに関連すると考えられるため、映像の呈示範囲に関する検討も今後の課題となる。

HMD の普及が進むにつれ、VR 環境でゲームをするユーザの増加が予想される。PC 環境を利用したユーザとネットワーク上で同じゲームを体験する状況で、有利不利がない環境を実現するためには、それぞれのプレイ環境において適切な操作インタフェースが必要になる。

本研究ではターゲットポインティングにかかる単純な反応時間を測定したが、今後の課題として、ターゲットを視認するまでの時間や、コントローラの操作における運動軌跡などのデータを取得し、より詳細な分析を行っていく予定である。

参考文献

- [1] Fitts, P. M., The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47(6), 381–391, 1954, <https://doi.org/10.1037/h0055392>
- [2] Hawes, Jack & Ward, Gareth., The Impact of Training Reaction Times and Accuracy With Motion Controllers in Virtual Reality, 2024, 10.20944/preprints202401.2057.v1.
- [3] AimingPro, <https://aiming.pro/>
- [4] AimVR, <https://www.meta.com/ja-jp/experiences/aimvr/5845751322104141/>
- [5] K. A. M. Heydn, M. P. Dietrich, M. Barkowsky, G. Winterfeldt, S. von Mammen and A. Nüchter, The Golden Bullet: A Comparative Study for Target Acquisition, Pointing and Shooting, 2019 11th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games), Vienna, Austria, pp. 1-8, 2019, doi: 10.1109/VS-Games.2019.8864589.