

HMDのフレームレート低下が 漢字探索タスクの所要時間に与える影響

藤原徹^{†1} 橋本渉^{†2} 水谷泰治^{†2} 西口敏司^{†2}

概要：HMDを用いたVRは体験者が自由に映像を見ることができる反面、VRコンテンツ作成者が意図した場所を見るときには限らないという問題がある。そこでHMDを用いて、視線誘導を行うことができれば、この問題を解決することができる考えた。しかし、従来の視線誘導手法は、点滅やハイライトなどコンテンツを変容させるため汎用性が乏しく、またユーザが視線誘導を知覚することで違和感や不快感を伴うことがあるなどの問題がある。本研究では、視線誘導したい領域に視線が向いているとき、HMDで表示される画面全体のフレームレートを意図的に低下させることで、ユーザに視線誘導を悟られない方法を提案する。視線誘導の効果を検証するため、似ている漢字の中から特定の漢字を探すタスクを行った。視線誘導の効果があれば、タスクの所要時間は短くなるはずである。検証の結果、見た目の違いが小さい漢字と、大きい漢字に分けて分析を行った。見た目の違いが大きい漢字は、予想に反してフレームレート低下がないときのほうが有意に探索時間が短くなった。違いが小さい漢字の場合は、有意差は見られなかったものの、探索時間は短くなった。見た目の違いが大きい漢字の場合、フレームレート低下によって探索時間が長くなったのは、参加者が違和感を覚えたことが原因だと考えられる。

1. はじめに

近年バーチャルリアリティ(VR)の需要が高まっている影響で、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)による没入映像メディアの需要も高まっている。VR空間では、HMDを使用することで、ユーザは頭の動きによって視界を自由に変わることが可能である。これによって、自然で直感的な体験が可能になる一方で、自由度が高い環境では、ユーザがVRコンテンツ作成者の意図した場所を見るときには限らないという問題がある。特に物語を中心としたコンテンツや、教育分野の使用においてはユーザに特定の場所や要素に注意を向けさせることが重要である。この問題を解決するために、VR空間内での視線誘導を試みる。従来の視線誘導では、点滅や局所的なハイライトなど、コンテンツを変容させる可能性がある。また、ユーザが視線誘導をされていることを認知してしまうことで違和感や、不快感を伴うことがあるなどの問題もある。よって、ユーザに気づかれないような視線誘導を実現することが理想的である。本研究では、HMDのフレームレートを意図的に低下させることにより、気づかれないような視線誘導を試みる。例えば、タッチスクリーンを用いてスワイプ量に対して、画面のスクロール量を減少させることでユーザは粘り気や摩擦力を感じるという先行研究がある[1]。この研究を踏まえ、HMDのフレームレートを低下させることで、同様の効果を得ることができるのではないかと考えた。本研究では、視線検出が可能なHMDを使用し、視線誘導の対象に視線が向いたときにフレームレートを低下させることで、視線誘導の効果があるかを調べる。

2. 視線誘導のアイデア

2.1 視線誘導と先行研究

視線誘導とは、画像や映像の観察時に視線の動きを意図的に導く技術であり、その効果は映画や広告など多岐に渡って利用されている。一般的な視線誘導の方法としては、点滅やオプティカルフローの発生・消失点、局所的なハイライトなどの動的な表現によって実現できることが知られている。しかし動きのある表現に頼ると、元の映像を変容させる可能性があるため、汎用性が乏しくなる。そこで考案されたのが、煙らの表示対象の解像度制御による視線誘導である[2]。一般的に人間の視覚は周波数成分の高い箇所に注意が向くという性質がある。この性質に着目し、注意を向けたい領域を高解像度にし、周辺領域に段階的なブラー(ぼけ)を付加することが提案されている。しかし、これらの方法は元の映像を大きく変質させないという利点があるものの、視線を意図的に動かされているという違和感や不快感を訴えるユーザがいることもわかっている。本研究と同じく、VR空間内で視線誘導を試みた例がある。横見ら[3]の研究では、バーチャル空間内において表示対象の解像度制御を行うことで視線誘導を試みる方法が提案されている。しかし、煙らの研究と同じく実験参加者のほぼ半数が、視線誘導の手法に不快感や不自然さがあつたと回答した。

2.2 フレームレート低下による視線誘導の提案

没入型VR空間内で、ユーザに視線誘導を知覚させない視線誘導として、フレームレートを制御する方法を提案する。視線誘導したい物体や対象に視線が向いたとき、そのタイミングでHMDに表示される描画面全体のフレームレ

^{†1} 大阪工業大学大学院情報科学研究科

^{†2} 大阪工業大学情報科学部

ートを低下させることにより注意を引く．例えば，HMDの画面が頭部運動に追従し，通常 90fps で更新されているとき，視線誘導をしたい領域に視線が合わさると，画面全体を故意に 30fps とすることで，注意を喚起する，というものである．図 1 に提案手法の概要図を示す．

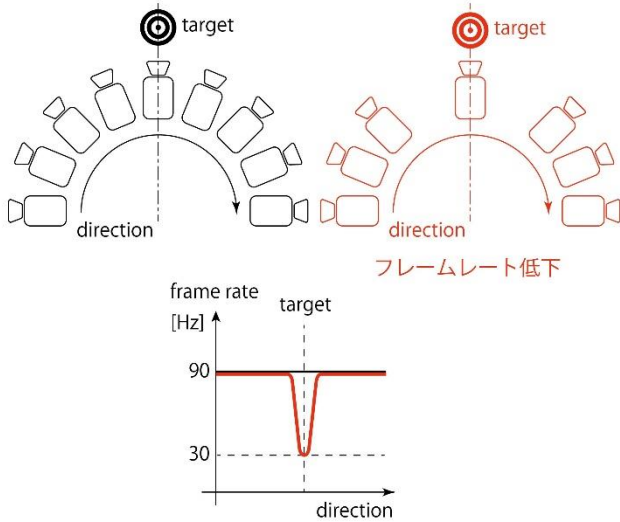


図 1 提案手法の概要図

この際，ユーザに違和感をできるだけ与えないようにするため，フレームレートの低下量を適切に設定する必要がある．本研究では，このアイデアに基づいて視線誘導を試みる．

3. VR 映像フレームレート低下の実装

特定の領域に視線が向いたとき，HMD の描画面全体のフレームレートを低下させるための環境について検討する．HMD には視線検出ができる VIVE 社の VIVE Pro Eye を使用し，それらの制御には Unity を使用した．HMD のハードウェアや Unity の設定では，フレームレート低下を実現することが困難であった．そこで，HMD に表示させる映像のフレームレートを低下させる新しい手法を実装することにした．はじめに，Unity で生成する VR 空間内に 2 つのカメラを配置する．それぞれ「固定カメラ」と「VR カメラ」と呼ぶ．VR カメラは HMD の頭の動きに応じて動き，映像も変化する．このカメラの映像を，RenderTexture を用いて VR 空間内に配置されたスクリーンに投影する．RenderTexture とは，カメラによって捉えられた映像をテクスチャとして保存し，そのテクスチャを他のオブジェクトの表面に投影することを可能にするテクスチャタイプのことである．一方固定カメラは，VR カメラによって投影されたスクリーン全体が画角内に収まるように配置されている．図 2 に固定カメラ，VR カメラとスクリーンの位置関係を示す．

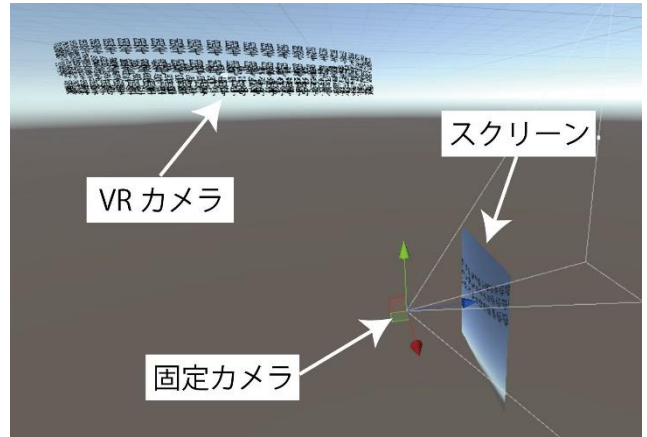


図 2 固定カメラ，VR カメラおよびスクリーンの位置関係

このように配置されていることで，VR 体験者は，あたかも VR カメラの映像を見ているように感じる．図 3 に VR 体験者の視点を示す．

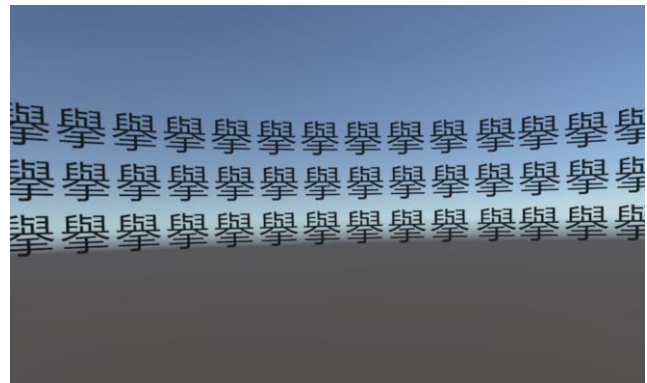


図 3 VR 体験者の視点

次に，フレームレート低下の実装方法について説明する．RenderTexture を使用して映像をスクリーンに投影する際，VR カメラの映像獲得を非アクティブにすることで，直前の映像が映し出されたままで停止状態になる．その後，VR カメラを再度アクティブにすると，アクティブ化した直後に VR カメラの画角に映っている映像がスクリーンに投影される．この特性を利用して，フレームレートの低下を実現した．例えば，1fps の映像を実現する場合を考える．フレームレートを低下させるために，まず VR カメラの映像を非アクティブにし，同時にタイマーを起動する．1 秒が経過した後，VR カメラを再びアクティブにしてすぐに非アクティブに切り替え，再度タイマーを 0 から開始する．このプロセスを繰り返すことで，1 秒ごとに映像が更新されることになり，1fps の映像が体験できる．この手法により，意図的にフレームレートを制御する．

本研究では，視線誘導を行いたい場所を見たときにフ

フレームレートが低下するように実装を行う必要がある。実験中の通常のフレームレートは 90fps、視線誘導したい対象の近くを見ている場合は 35fps、視線誘導した対象を見ている場合は 30fps になるように設定した。通常時のフレームレートは、VIVE Pro Eye のデフォルトのリフレッシュレートである 90fps に設定した。フレームレート低下時の 30fps は、予備実験でフレームレートの低下に気づくフレームレートを調査した際に、実験参加者全員が気づいたフレームレートが 30fps であったことに基づいている。視線誘導した対象を見たときの 30fps のみでは、フレームレート低下に気づかず、視線誘導効果が見られなかったため、視線誘導効果を高める目的で、視線誘導対象付近を見ている場合は 35fps に設定している。

4. フレームレート低下による探索時間の変化

4.1 実験目的

フレームレートを低下させることによる視線誘導効果について調べる。ここでは漢字探しを題材として、探索時間への影響について検証する。多くの漢字が並んでいる中、探索対象となる別の漢字を配置する。探索対象に視線が合った時にフレームレートを低下させることで、探索にかかる時間に変化があるかどうかを調査する。視線誘導ができているならば、探索時間が短くなると考える。

4.2 実験環境

VR カメラを中心に漢字を 360 度に配置した。図 4 に実験環境の俯瞰図を示す。ユーザは VR カメラを介し、全方位に並んだ漢字から、探索対象となる漢字を探すことが求められる。

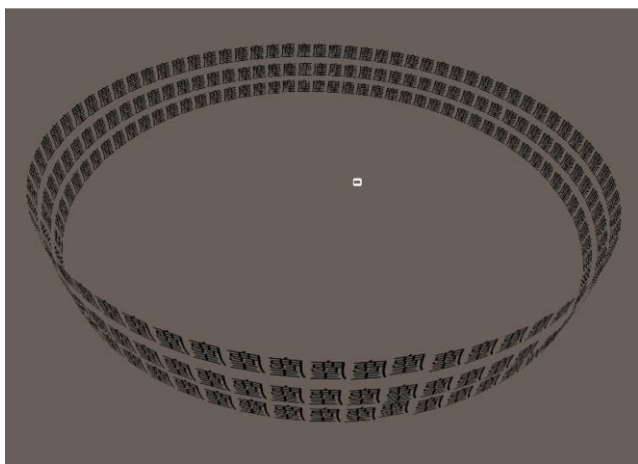


図 4 実験環境の俯瞰図

漢字は 5 度おきに配置されており、縦に 3 つ並んでいる。実験に使用した漢字は「塵」と「塵」。「撒」と「撒」。「壺」と「壺」。「擧」と「擧」の 4 組で、探索対象はそれぞれ後者の漢字である。実際に VR 空間内で「塵」と「塵」が表示されている様子を図 5 に示す。



図 5 探索対象

赤い丸で示した場所が探索対象の漢字である。各漢字について連続して 3 回実験を行った後に次の漢字で 3 回行うという手順を繰り返した。実験参加者には、実験ごとにすべての場所でランダムに探索する漢字が配置されることを伝えているが、実際は中央の列のみに探索対象の漢字が配置される。また、あらかじめ探索対象の漢字が配置される位置は決まっており、実験を開始して視界に入る範囲に探索対象の漢字を配置しないようにしている。実験参加者を 2 つのグループにわけ、片方は 1 組目と 3 組目の漢字を探索している際にフレームレートが低下し、2 組目と 4 組目の漢字を探索しているときはフレームレートが変化しない。もう片方のグループはその反対で実験を行った。なお、実験参加者には、フレームレートが低下することは伏せて実験に参加してもらった。

4.2.1 実験手順

探索対象の漢字付近を見たときにフレームレートが低下するかどうかの 2 条件、漢字の種類 4 条件の計 8 条件で実験を行った。実験参加者は 20-23 歳の大学生 10 名である。

実験を始める前に、視線を正しく検出するために実験参加者ごとにキャリブレーションを行う。そのあとに、あらかじめ探索してもらった漢字を提示する。これは、長時間探索してしまうことで実験参加者への負担を減らすためである。また、探索対象の漢字を見つけた場合は、VIVE コントローラのボタンを押すこと、漢字の探索は反時計回りで探索することを伝えた。その後は、探索対象の漢字をランダムで配置する。これを 4 組の漢字についてそれぞれ 3 回ずつ、合計 12 回実験を行った。実験では探索を開始してから、実験参加者がボタンを押すまでの時間を計測している。

4.3 実験結果

実験から得られた、探索にかかった時間の平均値を図 6 に示す。フレームレート低下あり条件の際の平均値は 32.05 秒、フレームレート低下なし条件の際の平均値は

28.89 秒であった。フレームレート低下条件のありとなしについて有意水準 5%で t 検定を行ったところ、有意差は見られなかった。実験目的の予想に反して、フレームレート低下条件において探索時間が短くならず、ほとんど差が出なかったことがわかる。

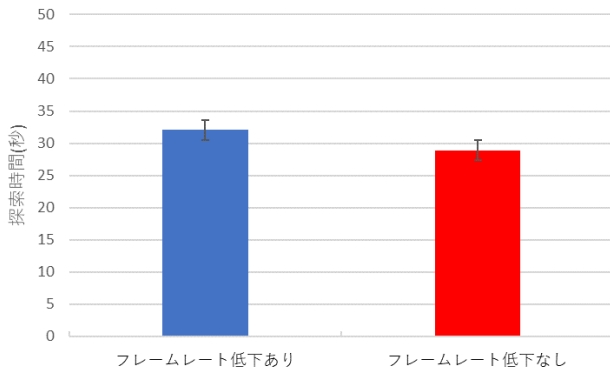


図 6 フレームレート低下の有無による探索時間

実験参加者から「塵」と「壺」の漢字を探索するのが難しく、「撒」と「擧」の漢字を探索するのは容易であるというコメントが多く見られたため、それぞれ探索が難しい漢字と簡単な漢字として、フレームレート低下条件の有無によって探索時間に差があるかを確かめた。図 7 に難しいと指摘された漢字のみで比較した場合、図 8 に簡単な漢字のみで比較した場合を示す。難しい漢字のフレームレート低下あり条件下での探索時間の平均値は 38.93 秒、フレームレート低下なし条件下での探索時間の平均値は 40.56 秒であった。有意水準 5%で t 検定を行ったところ、有意差は見られなかった。簡単な漢字のフレームレート低下あり条件下での探索時間の平均値は 25.17 秒、フレームレート低下なし条件下での探索時間の平均値は 17.22 秒であった。有意水準 5%で t 検定を行ったところ、フレームレート低下なし条件のほうは探索時間が有意に短くなった ($p=0.02$)。

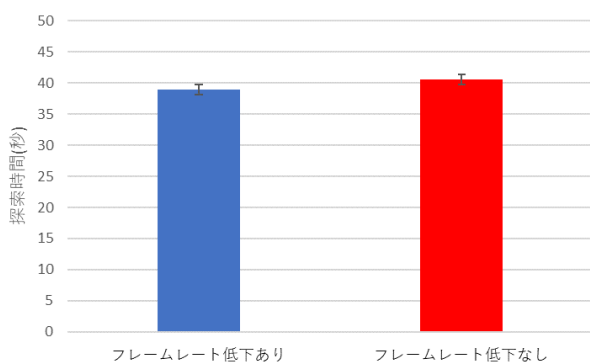


図 7 難しいと指摘された漢字における探索時間の比較

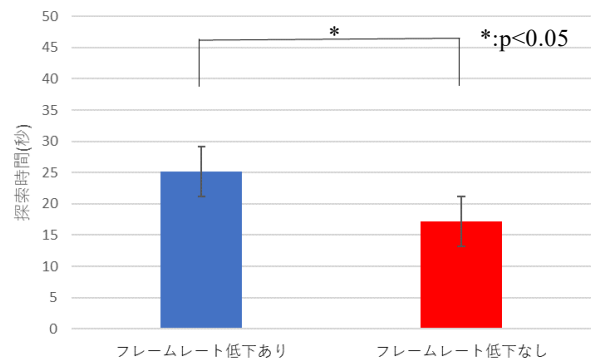


図 8 簡単と指摘された漢字における探索時間の比較

また実験後に行ったアンケートでは、映像に不快感を覚えた、視線誘導されていると感じた、と回答した参加者はいなかった。

5. 考察

探索対象付近でフレームレートが低下することで、注意をひき探索対象を探しやすくなった結果、探索時間が短くなるのではないかと仮説を立てた。しかし、有意差は見られなかったものの予想に反してフレームレート低下なし条件のほうは探索時間が短くなった。また、実験参加者からのコメントを受けて、漢字の探索が難しい群と、簡単な群にわけて分析を行ったところ、難しい群の場合は、有意差は見られなかったものの、フレームレート低下あり条件のほうは探索時間が短くなり、簡単な群の場合は、フレームレート低下なし条件の探索時間が有意に短くなった。難しい漢字に関しては、視線誘導の効果がある可能性が見られた。一方で、簡単な漢字の場合に探索時間が長くなってしまったのは、答えがわかっているのにもかかわらず、フレームレート低下によって違和感を覚えた結果、ボタンを押すのが遅れてしまったためと考える。

今回のアンケート結果では、映像に不快感を覚えた人や、視線誘導されていると感じた実験参加者はいなかった。しかし、自由記述であったためアンケートに反映されていない可能性がある。今後は定量的に評価するため数値を用いたアンケートで評価する。

6. おわりに

今回の研究では、HMD の描画面全体のフレームレートを低下させることで、視線誘導を行うことを目的とした。そこで、探索対象の漢字を探す際にフレームレート低下を行うことで探索時間が短くなるか実験した。実験の結果から、有意な差は見られなかったものの、難しい漢字を探索するときフレームレートが低下すると探索時間が短くなった。一方で簡単な漢字の場合は、フレームレートが低下し

ないほうが、有意に探索時間が短くなった。今回の実験では、映像に不快感を覚えた人や、視線誘導されていると感じた実験参加者はいなかった。今後、定量的に評価を行うために、アンケートを実施する。

今後の展望として、より現実に近い VR 空間で視線誘導を行うことができるのかを確認していきたい。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP22K12140 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1]橋本 健, 鳴海 拓志, 長尾 涼平, 谷川 智洋, 廣瀬 通孝:タッチスクリーンでの擬似触力覚提示による注意誘導, 日本バーチャルリアリティ学会論文集, Vol. 23, No. 3, p. 139-148, 2018
- [2]畑 元, 小池 英樹, 佐藤 洋一:解像度制御を用いた視線誘導, 情報処理学会論文誌, Vol. 56, No. 4, 1152-1161, 2015
- [3]横見 栄聡, 大久保 雅史, 磯山 直也, 酒田 信親, 清川 清:バーチャル空間における解像度制御を用いた視線誘導手法の提案, 第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2019