



# 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

Proposal of a gaze guidance method using resolution control in virtual reality

横見 栄聡<sup>1)</sup>, 大久保 雅史<sup>2)</sup>, 磯山 直也<sup>1)</sup>, 酒田 信親<sup>1)</sup>, 清川 清<sup>1)</sup>

Masatoshi Yokomi, Masashi Ookubo, Naoya Isoyama, Nobuchika Sakata, and Kiyoshi Kiyokawa

1) 奈良先端科学技術大学院大学 (〒630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5, {yokomi.masatoshi.y17, isoyama, sakata, kiyo}@is.naist.jp)

2) 同志社大学 (〒610-0394 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3, mokubo@mail.doshisha.ac.jp)

**概要**：本稿ではバーチャル空間において自然なユーザエクスペリエンスを妨げない視線誘導手法として、解像度制御と中心窩レンダリングを用いた手法を提案する。また、この視線誘導手法を実施し、ユーザビリティテストを通じて有効性を検証する。検証には正視方向から円環状に 8 方向に配置したオブジェクトのいずれかに視線を誘導するタスクを用いた。検証の結果、視線の誘導先の注視時間が 1.5 秒を超えた時を視線誘導成功とした場合の 8 方向全体の視線誘導成功確率は 33%、上下左右 4 方向の視線誘導成功確率は 43%となった。また被験者の半数がシステムに不快感を感じたが、視線誘導成功回数が多い人は、不自然さは残るが不快感は小さくなる傾向が示された。

**キーワード**：HMD, 視線誘導, 解像度制御, 中心窩レンダリング

## 1. はじめに

近年、バーチャルリアリティ (以下、VR) への注目度が高まっている。体験者はヘッドマウントディスプレイ (以下、HMD) を用いることで、バーチャル空間上で任意の場所を見ることが可能である。しかし、このような VR コンテンツでは、コンテンツ制作者が見てほしいものを VR 体験者が注目するとは限らないことが問題となっている[1]。Nielsen らは、VR において、ユーザの体の向きを制御したり物体を辿るように促すことによる視線誘導の効果を検証している[2]。また、Grogorick らは、視線誘導したい方向にわずかならつきの刺激を与え、ユーザに気づかれにくい視線誘導の手法を提案している[3]。

一方、二次元画像において、畑らは、画像中で視線を誘導したい部分以外を低解像度にして、視線を誘導したい部分を高解像度にすることで視線誘導を行う手法を提案している[4]。視線誘導手法として解像度制御を用いることの有効性を検証しており、検証の結果、解像度制御により視線誘導が可能であることを明らかにしている。また、解像度制御によって体験者に気づかれにくい視線誘導の可能性も示唆している。

このように、二次元画像において、解像度制御を用いることで視線誘導を行えることが示されていることから、バ

ーチャル空間においても、同様の手法で視線誘導を行える可能性がある。この手法を用いるとユーザに恣意的な刺激を与えたり、標識を使用する必要がなく、自然なユーザエクスペリエンスを妨げないことが期待される。

そこで本研究では、バーチャル空間においてコンテンツや自然なユーザエクスペリエンスを妨げない視線誘導手法として、解像度制御を用いた手法を提案する。検証実験では、提案手法での視線誘導の有効性を検証する。

## 2. 試作システム

提案システムの構築にあたり、開発環境としてユニティ・テクノロジーズが開発した Unity を、HMD は視線追跡機能が搭載されている FOVE 社の FOVE0 を用いて提案手法を採用した VR コンテンツ体験システムを試作した。

図 1 に試作システムでの視線誘導の流れを示す。試作システムでは中心窩レンダリングを行っている状態 (図 1 ①) から、図 1 ②のように視線の誘導先の解像度を段階的に高く、中心視野にあたる領域の解像度を段階的に低くしていく。視線の誘導先と中心視野が重なった場合、視線の誘導先の解像度で優先的にレンダリングされる。そして、視線誘導したい部分にユーザの視線が停留して、視線誘導が成功したとシステムが判断したタイミングで中心窩レ

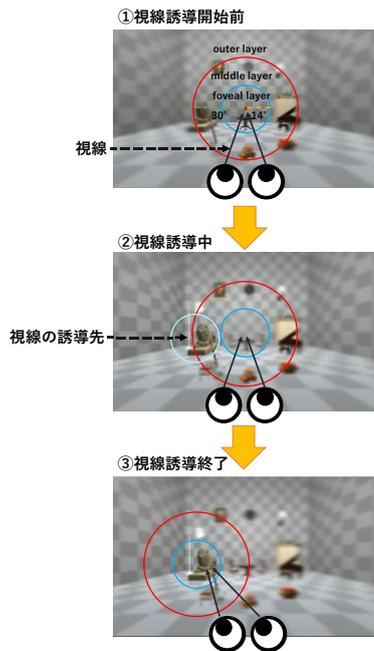


図 1: 提案手法を用いた視線誘導の流れ

ンダリングに戻す(図 1③)。中心窩レンダリングとは、VR 体験者の視線を検出して、VR 体験者の中心視野にあたる領域は常に高解像度で描画し、周辺視野は低解像度で描画する手法である。これにより、人の視覚特性を利用して、周辺の解像度低下を覚悟させることなく、効率的なレンダリングが可能である。本研究では図 1①に示すように、Guenterらの手法を参考にして[5]、中心視野から foveal layer, middle layer, outer layer の 3つの層に分け、中心視野から離れるにつれて解像度を低くする。また、foveal layer, middle layer の範囲は数や文字、シンボルの認識限界に合わせて[6]、foveal layer は中心視から角距離  $14^\circ$ 、middle layer は中心視から角距離  $30^\circ$  を半径とする。視線の誘導先の解像度を変化させる領域も foveal layer の広さと同一に設定する。本稿では中心窩レンダリングを、移動平均化フィルタによる平滑化処理によって簡易的に実装する。

### 3. 予備実験

ユーザが誘導先に視線を向けただけでなく、誘導先の情報を認識できたら視線誘導が成功したと考える。そこで、システムが視線誘導を成功したと判断するために必要な誘導先の注視秒数を検証する予備実験を行った。また、試作システムに対して違和感、不快感を覚えにくい注視秒数も併せて検証した。なお、実験協力者にはシステムの概要や実験目的を理解した上でコンテンツを体験させた。予備実験は、同志社大学、及び同志社大学大学院の学生 9 名の実験協力者に対して行った。

予備実験では視線誘導が成功したとシステムが判断する誘導先の注視秒数として 1 秒、1.5 秒、2 秒の 3 条件で検証を行った。実験協力者の前方に 10 種類のオブジェクトを配置したバーチャル空間を作成し、オブジェクトのいずれかに視線誘導を行うタスクを設定した。また、オブジ

ェクトの配置に関しては 3 種類用意した。誘導先の注視秒数 3 条件とオブジェクトの配置、およびタスクの体験順は順序効果を考慮して各条件ができるだけ均等になるように決めている。なお、予備実験では視線誘導が成功したとシステムが判断すると同時にタスク自体が終了するように実装した。各タスク終了毎にタスク終了時に見ていた場所について認識テストを行うことで、それぞれの条件で誘導先オブジェクトと実験協力者の認識が合っているかを確認した。認識テストは 3 点満点とし、誘導先とタスク終了時に見ていた場所が一致していれば 1 点、誘導先のオブジェクトを正しく回答できれば 1 点、さらにそのオブジェクトの色や詳細を回答できれば 1 点とした。またアンケートにてそれぞれの条件でのタスクへの違和感、不快感について質問した。表 1 に予備実験後アンケートの質問項目を示す。なお、予備実験後アンケートの検定には Q2 のみ Q1 の結果で場合分けを行うため Mann-Whitney の U 検定を用い、Q2 以外の回答と認識テストには Wilcoxon の符号順位検定を用いた。

図 2 に予備実験後アンケートの結果を、図 3 に視線の誘導先の認識テストの結果を示す。Q2 から Q5 については、統計的な有意差が見られなかった。ただし、Q3 と Q4 の平均値については、1.5 秒と設定した場合に最も小さい値と

表 1: 予備実験後アンケートの質問項目

	アンケート項目
Q1	注視点のぼかしの変化に気づきましたか。(気づいた、気づかなかった、該当するものに丸)
Q2	ぼかしの変化に不快感があった。(7段階評価)(Q1 で気づいたと答えた場合に回答)
Q3	ぼかしの境界を意識した。(7段階評価)
Q4	視線誘導されていると感じた。(7段階評価)
Q5	気分が悪くなった。(7段階評価)

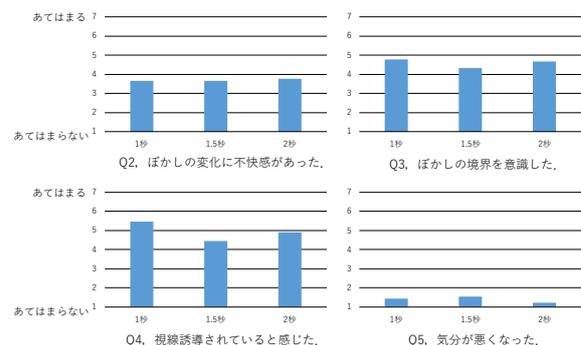


図 2: 予備実験後アンケート結果

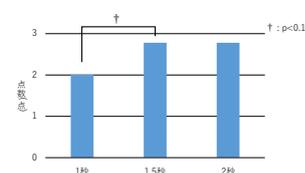


図 3: 視線の誘導先に関するテスト結果

なっている。さらに、1.5 秒の場合に、1.0 秒の場合に比べて視線の誘導先に関するテストの点数が高くなる傾向が示された。これらの結果から、視線誘導が成功したと試作システムが判断する誘導先の注視時間は 1.5 秒が適切であると考えられる。

## 4. 検証実験

### 4.1 実験概要・目的

本実験では、予備実験の結果に基づいて実装した提案手法の有効性を検証する。実験協力者には提案手法による視線誘導を、誘導先を変え複数回体験させる。視線の誘導先による提案手法の効果の違いや、提案手法に対する不快感や不自然さの程度も検証する。

### 4.2 実験方法

実験協力者は、視線誘導が実験の目的であることを知らない者を対象とする。本実験は、同志社大学、及び同志社大学大学院の学生 24 名を対象に行う。本実験では、実験協力者の前方に同一オブジェクトを円形に 8 つ配置したバーチャル空間を 8 パターン作成している。図 4 に実験で使用したバーチャル空間の例と場所の対応を示す。オブジェクトは体験者からは全て同じ大きさに見えるように配置している。実験協力者には 8 つのオブジェクトの中の 1 つに視線誘導を行うタスクをバーチャル空間と誘導先を変えて 8 回体験させる。タスクの長さは一律で 16 秒間としており、1 タスク中に 1 回視線誘導が行われる。コンテンツ開始時は中心窩レンダリングの状態であり、開始から 2 秒後、提案する視線誘導を開始する。0.1 秒ごとにぼかしを変化させており、視線誘導先のぼかしがなくなるのはコンテンツ開始から 5 秒後、foveal layer のぼかしが middle layer と同じになるのは 9.5 秒後である。視線誘導先が鮮明になる 5 秒後以降から、実験協力者が誘導先の鮮明になっている範囲を 1.5 秒注視すれば中心窩レンダリングのみの状態に戻す。なお、配置しているオブジェクトと誘導先の組み合わせ、およびタスクの体験順は順序効果を考慮して各条件の出現順序ができるだけ均等になるように決めている。各タスクでは体験中の実験協力者の視線位置をおよそ 0.1 秒ごとに記録する。

図 5 に実験手順を示す。実験説明 1 回目では、視線誘導を行うことは伝えず、実験の大まかな流れを説明する。実験協力者に実験前アンケートにて性別や視力、VR 経験の有無などについて回答させ、視力と利き目の確認を行った。その後、試作システムを実装していないバーチャル空間で、HMD の装着確認を行い、視線のキャリブレーションを行った後、タスクを 8 回実施させた。タスク実施中は、実験協力者は楽な姿勢を保ち、バーチャル空間の好きな場所に視線を向けるよう教示した。実験説明 2 回目では提案手法および試作システムの概要を説明し、最後に実験後アンケートに回答させた。表 2 に実験後アンケートの質問項目を示す。提案システムの評価は、0.1 秒ごとに記録した視線位置と実験後アンケートによって行った。

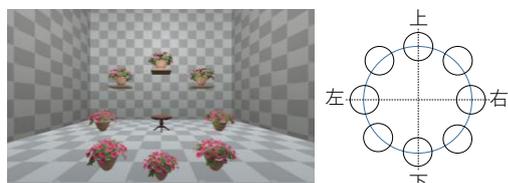


図 4: 実験で使用したバーチャル空間の一例

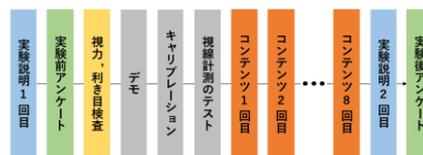


図 5: 実験手順

ションを行った後、タスクを 8 回実施させた。タスク実施中は、実験協力者は楽な姿勢を保ち、バーチャル空間の好きな場所に視線を向けるよう教示した。実験説明 2 回目では提案手法および試作システムの概要を説明し、最後に実験後アンケートに回答させた。表 2 に実験後アンケートの質問項目を示す。提案システムの評価は、0.1 秒ごとに記録した視線位置と実験後アンケートによって行った。

## 5. 検証実験の結果・考察

1 タスク内で実験協力者の視線が誘導先の鮮明になっている範囲に 1.5 秒停留し続け、中心窩レンダリングのみの状態に戻った場合を視線誘導成功と定義する。実験の結果、視線誘導成功回数は 192 回中 64 回であった。

表 3 に視線の誘導先ごとの視線誘導成功回数を示す。図 6 に上下左右 4 方向のオブジェクトと斜め 4 方向のオブジェクトそれぞれの視線誘導成功回数の合計を示す。上下左右方向の視線誘導成功回数は 96 回中 41 回、斜め方向の視線誘導成功回数は 96 回中 23 回となり、カイ二乗検定の結果、統計的な有意差が見られた。

図 7 に視線の誘導先に関わらず、全タスクにおいて上下左右方向のオブジェクトと斜め方向のオブジェクトそれぞれに視線が停留した累積の時間の平均を示す。オブジェクトに視線が停留したと判断する範囲はオブジェクト

表 2: 実験後アンケートの質問項目

実験後アンケートの質問項目	
不快感	視点のぼかし
	不快感
	周辺視野のぼかし
不自然さ	不自然さ
	不自然さ

表 3: 誘導先ごとの視線誘導成功回数

	上	右上	右	右下	下	左下	左	左上
回数	12	7	11	7	11	4	7	5

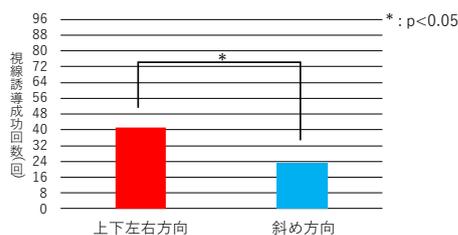


図 6: 上下左右方向と斜め方向の視線誘導成功回数

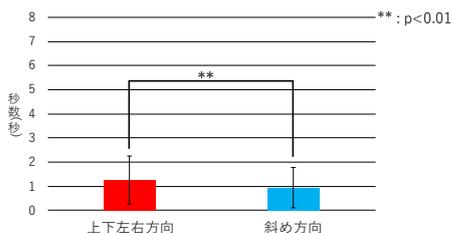


図 7: 全コンテンツにおける上下左右方向と斜め方向の視線停留時間の平均

を中心に各距離  $14^\circ$  としている。上下左右方向のオブジェクトの方が斜め方向のオブジェクトよりも視線が停留した累積の時間の平均が長く、統計的な有意差が見られ、上下左右方向のオブジェクトは視線が向けられやすい傾向にあることが示された。これらより上下左右方向に比べ視線が向きにくい斜め方向に視線誘導を行う際は、より強く視線誘導を行う必要があると考えられる。

実験後アンケートの結果、視点のぼかしの変化に気づいた実験協力者は 24 人中 17 人で、そのうち不快感があったかという問いに対して、1 から 7 の 7 段階のうち 5, 6, 7 を選択した実験協力者は、17 人中 9 人であった。視点以外のぼかしに気づいた実験協力者は 24 人中 20 人で、不快感があったかという問いに対して、5, 6, 7 を選択した実験協力者は 20 人中 11 人であった。

ぼかしの境界を意識したかという問いに対して、5, 6, 7 を選択した実験協力者は 24 人中 12 人であった。視線誘導されていると感じたかという問いに対して、5, 6, 7 を選択した実験協力者は 24 人中 13 人であった。

視線誘導成功回数が 2 回以下だった 12 人を視線誘導成功回数低グループ (以下, 低グループ), 6 回以上だった 4 人を視線誘導成功回数高グループ (以下, 高グループ) とし、各グループの提案手法に対する不快感や不自然さの比較を行った。図 8 に低グループと高グループのアンケート結果を示す。低グループの方が提案手法のぼかしに対して不快感があったと回答しているが、高グループの方がぼかしの境界を意識しており、視線誘導されていると感じていた。このことから、視線誘導成功回数が多い人は、不自然さは残るが不快感は小さくなる傾向が示された。

## 6. おわりに

本研究では、バーチャル空間においてコンテンツやユー

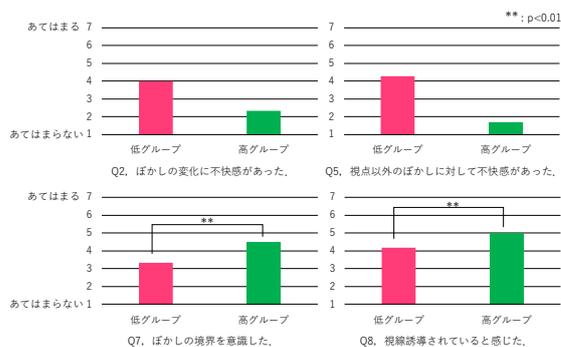


図 8: 低グループと高グループのアンケート結果の比較

ザエクスペリエンスを妨げない視線誘導手法として、解像度制御を用いた手法を提案し、その有効性を検証した。

視線の誘導先の注視時間が 1.5 秒を超えた場合を視線誘導成功とした結果、視線誘導が成功した確率は 33% となった。そのうち、上下左右方向の視線誘導成功確率は 43% となった。これらより上下左右方向に比べ視線が向きにくい斜め方向に視線誘導を行う際は、より強く視線誘導を行う必要があると考えられる。また、実験協力者のほぼ半数が提案手法に対して不快感や不自然さがあったと回答した。視線誘導成功回数が多い人は、不自然さは残るが不快感は小さくなる傾向が示された。

## 参考文献

- [1] 特定非営利活動法人 映像産業振興機構: 平成 29 年度 先進コンテンツ技術等流通促進事業報告書 第 I 部 VR 等のコンテンツ制作技術活用ガイドライン 2018; [https://www.vipo.or.jp/u/I-1\\_SenshinContents\\_Guideline.pdf](https://www.vipo.or.jp/u/I-1_SenshinContents_Guideline.pdf), pp. 60 - 61 (2018).
- [2] L. T. Nielsen, M. B. Møller, S. D. Hartmeyer, T. C. M. Ljung, N. C. Nilsson, R. Nordahl, and S. Serafin: Missing the point: an exploration of how to guide users' attention during cinematic virtual reality; *Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology (VRST '16)*, pp. 229-232 (2016).
- [3] S. Grogoric, M. Stengel, E. Eisemann, and M. Magnor: Subtle Gaze Guidance for Immersive Environments; *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception (SAP '17)*, Article No.4, pp. 1-7 (2017).
- [4] 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, pp. 1152 - 1161 (2015).
- [5] B. Guenter, M. Finch, S. Drucker, D. Tan, and J. Snyder: Foveated 3D graphics; *Journal of ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 31, Iss. 6, Article No. 164, pp. 1 - 10 (2012).
- [6] 横溝 克己, 小松原 明哲: エンジニアのための人間工学—改訂第 5 版; 日本出版サービス, pp. 37 (2013).