



# VR 酔いを軽減するための周辺視野コントラスト低減手法の提案

Proposal of a Peripheral Luminance Contrast Suppressing Method for Reducing VR Sickness

田中稜太郎<sup>1)</sup>, 福嶋政期<sup>2)</sup>, ハウタサーリアリ<sup>3)</sup>, 苗村健<sup>3)</sup>

Ryotaro TANAKA, Shogo FUKUSHIMA, Ari HAUTASAARI and Takeshi NAEMURA

1) 東京大学大学院 情報理工学系研究科 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, rtanaka@nae-lab.org)

2) 九州大学 大学院システム情報科学研究科 (〒 819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744, shogo@ait.kyushu-u.ac.jp)

3) 東京大学大学院 情報学環 (〒 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1, {ari, naemura}@nae-lab.org)

**概要:** HMD は高い臨場感を誇る映像体験をユーザに提供できる反面, その体験中に VR 酔いと呼ばれる不快感を感じてしまうユーザも少なくない. 本研究では, 映像体験の質を維持しつつ酔いの軽減が期待できる一手法として, 周辺視野領域における輝度コントラストの低減を提案し, その実装にあたり中心からの偏角に応じて異なる度合いでコントラストを低減するフィルタを作成した. 本稿ではその詳細及び, パラメータ調整のために行った予備実験について述べる.

**キーワード:** バーチャルリアリティ, ヘッドマウントディスプレイ (HMD), VR 酔い, cybersickness

## 1. はじめに

近年, VR ヘッドマウントディスプレイ (HMD) が市場に出回り始め, それに伴い映画やゲーム, 教育など様々な分野への VR 技術の導入が進んでいる. VRHMD は, 高い没入感や臨場感を誇る映像体験をユーザに提供できる反面, その体験中に動揺病に似た症状に苦しむユーザも少なくない. この症状は VR 酔いと呼ばれており, その主な症状としては, 頭痛や目の疲労, 見当識の喪失, 吐き気などがある [1]. VR 体験を繰り返すことで, この酔いへの耐性は備わってくるとされているが, 一度感じた不快感, ユーザが将来再び HMD を装着する際の精神的障壁になり得る. そのため, VR 酔いの解消或いは軽減は, VR 技術の発展や普及にとって重要である. そこで本研究では, VR 機器の普及で特に増えると予想される家庭での利用を想定し, 着座状態の VR 体験において発生し得る酔いの軽減を図る.

着座状態における VR 酔いを対象とした研究は, アクチュエータなどを用いて別途外的な刺激を加える手法 [2] と VR コンテンツや映像に加工を施す手法 [3] に大別できるが, 本研究では, HMD 以外の追加機器を必要としないという導入のしやすさの観点から, 後者の方針で酔いの軽減を目指す. 上記方針に則り VR 酔いの軽減を目指した研究は様々あるが, 酔いの軽減は確認されたものの, その他の評価軸 (見当識, 臨場感, タスクパフォーマンス) においてデメリットが存在する手法が多い. そこで本研究では, 映像体験の質を維持しつつ酔いの軽減が期待できる一手法として, 周辺視野領域における輝度コントラストを低減する手法を提案する. 特に本稿では, 輝度コントラストの低減により体験の質の維持と酔いの軽減が両立可能と考えられる理由を述べ, その後実装の概要を予備実験の結果を交えつつ説明する.

## 2. 関連研究

VR 酔いの原因については, 完全には解明されておらず様々な説が論じられているが, 中でも, 各体内器官から得られる情報同士の齟齬が脳に混乱をきたし, その結果として酔いが発生するとする感覚不一致説 (sensory conflict theory [4]) が有力と考えられている. この説に則ると, 着座状態で VRHMD を装着した場合は, 視覚的な情報 (バーチャル空間でアバターが “動いている” という情報) と, 実際の体から得られる情報 (椅子に座ったまま “動いていない” という情報) で齟齬が生じるため VR 酔いが生じると説明できる. 実際の体が動いていないのにも関わらず, 視覚的な情報によって動いているように錯覚してしまうことはベクシオンと呼ばれており, 視覚的な情報と体から得られる情報の乖離を小さくすることでベクシオンも小さくなり, 結果として生じ得る酔いの程度も軽減されると考えられる. つまり, 先述した映像に加工を施すことで VR 酔いの軽減を図る方針は, 視覚的な情報を削減することでベクシオンを抑制することと等価と言える.

視覚的な情報を削減することで VR 酔いの軽減を図った手法としては, 視野を制限する手法がある. 視野を制限することにより, 周辺視野が削減され, その分視覚的な情報を削減されるため, ベクシオンの抑制による VR 酔いの軽減を考えたとき, この手法は非常に理にかなった手法と言える. しかし視野を狭めることは, 当然広視野角という HMD 本来の特徴を殺すことになるため, そこから由来する臨場感も低下してしまう [5]. また, バーチャル空間に提示されたターゲットを確認し, その形状の変化に反応するというタスクや, 目標物を探しつつ壁をよけながら迷路を歩くタスクを設定した実験では, 視野を制限することでタスクパ

パフォーマンスが阻害されたことが示されている [6, 7]. さらに、次々と現れる中間地点を通過していくというタスクを設けた研究では、アンケートの回答として、「視界が制限されるため、次の中間地点を見つけるのにパッドを使って大きく回転しなければならず、それにより吐き気を催した」といった回答や「薄暗く感じた」といった回答も見受けられた [3]. 以上のように、視野の制限は酔いの軽減という観点では非常に効果的な手法であるが、他評価軸においてはデメリットの大きい手法と言える。また、視野の制限という行為自体が、視野角の大きい HMD が続々と発売され始めている近年の潮流に逆らっているという見方もある。

視野の制限の他にも VR 酔いの軽減が確認された手法は多々存在するが、それに付随したトレードオフとして、方向感覚の喪失や、タスクパフォーマンス、臨場感の低下といった致命的な妥協点を持つ場合が多い [8, 9]. こうした妥協ができるだけ生じない手法として、ブラー処理をかける研究もいくつか行われている。特に Lin らによる研究 [10] では、周辺視野にブラー処理をかけることで体感的な酔いが軽減されることが示されているだけでなく、タスクパフォーマンスや方向感覚、臨場感に大きな影響を与えないことも示唆されており、大きなデメリットを伴うことなく VR 酔いを軽減することができたと結論付けられていた。しかし一方で、視野を制限する手法とブラー処理をかける手法を比較した研究 [11] では、酔いの程度を測るアンケートのスコアや体験を持続できた時間などの評価軸において、視野の制限の方が酔いを軽減できた結果となっており、純粋に VR 酔いへの効果を考えた場合、ブラー処理には改善の余地がある。

### 3. 提案手法

本研究では、臨場感やタスクパフォーマンスを維持しつつ、VR 酔いの軽減がある程度期待できる手法として、周辺視野領域における輝度コントラストの低減を提案する。

#### 3.1 周辺視野における輝度コントラストに着目する理由

周辺視野領域における輝度コントラストを低減することで VR 酔いの軽減が期待できる理由としては、網膜上の視細胞の分布 [12] が挙げられる。視細胞には、光に対する感度が高い桿体細胞と、光に対する感度は低い色彩の識別が可能な錐体細胞があり、中心視野における視覚に寄与する中心窩という領域においては、錐体細胞のみが分布する。しかしその分布密度は、網膜周辺部分つまり周辺視野に該当する部分では急激に低下する。一方、桿体細胞は中心窩には存在せず、その 10 度から 20 度外側で最も高密度に分布し、網膜周辺部分では、錐体細胞同様に密度が低下するものの、その減少幅は錐体細胞と比較して緩やかである。

以上より、網膜上の周辺視野に該当する領域においては、桿体細胞が錐体細胞と比較して高密度に分布するため、明るさに対する知覚が鋭くなっていることが分かる。つまり周辺視野領域に限った場合、景色の流れを見て“動いている”という感覚が得られることは、知覚される輝度の時間的、空間的な変化に大きく由来すると考えられる。この知覚され

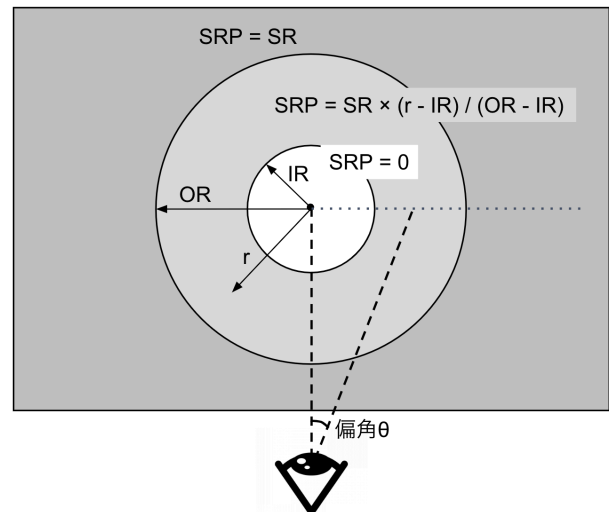


図 1: 輝度コントラストの低減に用いたフィルタのイメージ。各画素における低減率 SRP はテキスト中央からの距離に応じて変化する。また本稿における偏角はフィルタ中央からの角度を表すこととする。

る輝度の変化量に対応する映像の要素、つまり輝度コントラストを低減することで、視覚的な刺激を効果的に抑えアクションを小さくし、結果として酔いを軽減できると考えている。

提案手法と先行研究を比べると、まず視野の制限に関しては、視野の制限が全ての情報を遮断してしまうのに対し、提案手法では色味などの情報が残るため、広視野角であることに由来する映像体験の質をある程度維持可能と考えられる。次にブラー処理と比較した場合は、ブラー処理においても視覚的な刺激は減少するものの、周辺視野においてより敏感に知覚される明滅刺激を重点的に削減しているという点で、提案手法の方がより効果的に酔いを軽減できると考えられる。

#### 3.2 実装

本研究では、周辺視野領域にエフェクトをかけることで VR 酔いの軽減を目指した先行研究 [10] を参考に、3つのパラメータ (SR: Suppressing Rate, OR: Outer Radius, IR: Inner Radius) を用いて提案手法を実装した (図 1)。SR は輝度コントラストの低減率であり、0.000 から 1.000 の値を持ち、元の画素値が 8 ビット表現で 256 段階の輝度表現の幅を持つ場合、 $256 \times (1 - SR)$  段階まで幅を狭める。OR は周辺視野に該当する領域を定める値であり、OR で決定される円より外側に位置する画素に関しては、その輝度コントラストは低減率 SR で低減される。IR は中心視野に該当する領域を示す値であり、IR で表される円以内に位置する画素に関しては、輝度コントラストの低減を行わない (つまり低減率は 0.000)。IR で定められる円と OR で定められる円との領域に関しては、その輝度コントラストの低減率が 0.000 から SR まで線形に変化するよう設定し、これにより中心視野と周辺視野の境界における輝度コントラストの変化をなめらかにし、映像体験として違和感が生じ

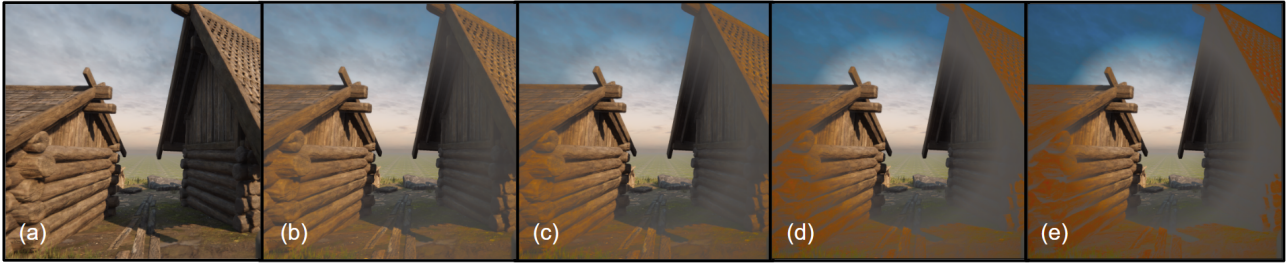


図 2: 提案手法を実際のコンテンツに適用した様子. (a) は  $SR = 0.000$ , (b) は  $0.500$ , (c) は  $0.690$ , (d) は  $0.900$ , (e) は  $1.000$  の時をそれぞれ表している. なお IR 及び OR は, それぞれ偏角 15 度及び偏角 30 度に相当する値で固定した.

ないように設計した.

各画素における輝度コントラストの低減率を SRP (Suppressing Rate per Pixel) としたときの輝度値の変換は式 (1) によって表される. なお, 本研究における輝度値の変換は輝度値  $Y$  を要素として持つ YUV 色空間上で行い,  $Y$ ,  $Y'$  はそれぞれ変換前, 変換後の輝度値を表している. また式中の値 AL (Average Luminance) は, レンダリングされたテクスチャ全体の平均輝度であり, 後述の理由により, AL を基準に該当画素の輝度値を変換する.

$$Y' = Y - SRP \times (Y - AL) \quad (1)$$

輝度値の変換の基準に AL を用いた理由に関して, 映像を通して一定の値を基準に輝度値を変換した場合, 暗い場面においては周辺視野が明るくなりすぎてしまい, 逆に明るい場面では暗くなりすぎてしまう. こうした映像体験における違和感を極力抑えるため AL を基準値として輝度値の変換を行った.

以上, 実装したフィルタを実際のコンテンツに適用した様子を図 2 に示す.

## 4. 予備実験

### 4.1 概要

前章では, 映像体験の質を維持しつつ酔いの軽減が期待できる一手法として, 周辺視野領域における輝度コントラストの低減を提案し, 3つのパラメータを持つフィルタを用いて実装した. 本章では, 今後の実験に用いるパラメータを決定するために行った予備実験に関して述べる.

各パラメータの調整の方針としては, 「最も酔いにくいパラメータ」に調整するというものがあり, 実際に, 規定の映像を用意し, その映像を体験している実験参加者自身にパラメータを調整させることで, データが得られる. しかし, 体験時間が長くなるほど VR 酔いが発生しやすくなること [13] を考慮すると, 調整されたパラメータが真に最も酔いにくいパラメータであるという保証がなく, また理論的には,  $IR = OR = 0.000$ ,  $SR = 1.000$  (画面全体の輝度コントラストが 0 段階まで低減されている状態) が最も酔いにくいと考えられ, この場合は映像体験の質の維持が不可能である. そこで本研究では, 映像体験の質の維持を基に「映像体験の邪魔にならないパラメータ」に調整する方針を取った.

また, 調整するパラメータに関しては, パラメータ同士の関与を考慮すると, 3つ全てのパラメータを変動させて調整することが困難であるため, SR のみを極限法を用いて調整した. なお, 中心視野及び周辺視野に該当する領域を定める IR と OR に関しては, 提案手法と同じく同心円 2つを含んだフィルタを用いて手法の実装を行った先行研究 [10] を参考に, それぞれ偏角 15 度の円, 偏角 30 度の円に相当する値とした.

### 4.2 実験手順

以下の実験を 21 歳から 24 歳の男女 6 人に対して行った. 実験では, HTC VIVE Pro 2 (視野角 120 度) を装着した実験参加者を Viking Village URP アセット (Unity Technologies) 内の一定位置に仮想的に配置した. 実験中は, 参加者を回転しない椅子に座らせたが, HMD の 6 自由度トラッカーによる頭の動きのトラッキングは有効とした.

まず調整前に, SR を変化させた様子を参加者に見せ, その後, エフェクトを強める方向 (SR が 0.000 から 1.000 に変化する方向) 及びエフェクトを弱める方向 (SR が 1.000 から 0.000 に変化する方向) のそれぞれに関して, 参加者に違和感の報告を求めた. 違和感の報告に関して, エフェクトを強める方向では, 違和感が強すぎたりエフェクトが邪魔, 或いはコンテンツよりエフェクトの方が気になるようになった時点で報告するよう参加者に求め, この際, エフェクトの存在自体を認知してしまうことは許容した. また, 弱める方向に関しては, エフェクトが映像体験を阻害する程度から許容できる程度になった時点で報告を求めた. なお, 各調整における SR の値は 0.001 刻みで変化させた.

### 4.3 結果

予備実験の結果を図 3 に示す. エフェクトを強める方向では, 最も違和感に対し鋭かった実験参加者からは  $SR = 0.625$ , 最も違和感に対し鈍かった参加者からは  $SR = 0.884$  でそれぞれ報告があった. 一方エフェクトを弱める方向に関しては, 最も敏感だったもので  $0.504$ , 最も鈍感だったもので  $0.726$  の時点で報告された.

また各方向の変化に関して, 参加者の報告した値 (図 3 における同一プロットの値) にばらつきが見られ, エフェクトに関して体感する違和感には個人差があることが示唆されている. 各参加者が報告した 2 値の差に関して, 参加者によってまちまちであり, エフェクトが強まるのか弱まるのかという違いにおいても, 体感される違和感に差がある

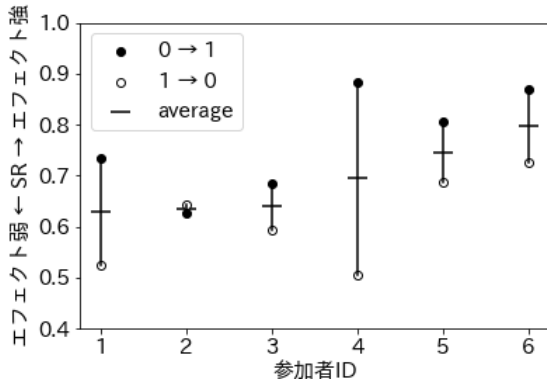


図 3: SR を、エフェクトを強める方向 (黒丸) と弱める方向 (白丸) の 2 方向の極限法で調整した結果。各方向において報告された値 (同一プロットで示される値) 及び、同じ実験参加者が各方向において報告した値の差共に、ばらつきがあり、体感するエフェクトの強さに個人差があることが見受けられる。

ことが見受けられる。

パラメータの選定に関しては、各参加者における強める方向及び弱める方向それぞれで報告された値の平均を求め、その参加者全体の平均値を選択した (SR = 0.690, 図 2(c) 参照)。

## 5. 今後の方針

今後は、予備実験で選定したパラメータを用いて実際に VR 酔いが軽減されるか、また酔い以外の評価軸 (臨場感やタスクパフォーマンス) について体験の質が損なわれないかを実験を通して調査していく予定である。なお、本提案手法はブラー処理と両立可能な手法であるため、ブラー処理を施した映像に対し輝度コントラストの低減を行ったものと、行っていないものの 2 種類のコンテンツに関して比較実験を行う。

酔いの軽減度合いを調査する実験では、VRSQ と呼ばれる酔いの程度を測るアンケート [14] による定性的な評価と、皮膚電気活動や映像体験の持続時間といった定量的な評価の双方から行う。コンテンツに関して、先行研究の多くでは参加者自身がコントローラを用いてアバターを動かすものが扱われてきたが [3, 10], 参加者ごとに映像体験が異なることによる持続時間への影響を除外するため、予め録画した映像を体験させる予定である。

酔い以外の評価軸に関して調査する実験では、実際に参加者自身がアバターを動かすコンテンツを用意し、与えられたタスクを完了までの時間からタスクパフォーマンスを評価すると共に、実験後に IPQ と呼ばれるアンケート [15] をとって臨場感に関して評価する予定である。

## 6. まとめ

本研究では、映像体験の質を維持したまま VR 酔いを軽減することを目的として、周辺視野領域における輝度コン

トラストを低減する手法を提案した。特に本稿では、提案手法が酔いに対して有効であると考えられる理由や、実装に際して行った予備実験の結果に関して述べた。

今後の方針としては、予備実験で選定したパラメータを用いて実際に VR 酔いが軽減されるか実験を実施して確認を行うと共に、酔い以外の評価軸 (臨場感やタスクパフォーマンスなど) についても実験を行う予定である。

## 参考文献

- [1] LaViola et al. A Discussion of Cybersickness in Virtual Environments. 2000.
- [2] Peng et al. WalkingVibe: Reducing Virtual Reality Sickness and Improving Realism While Walking in VR Using Unobtrusive Head-Mounted Vibrotactile Feedback. 2020.
- [3] Fernandes et al. Combating VR sickness through subtle dynamic field-of-view modification. 2016.
- [4] Oman et al. Motion sickness: a synthesis and evaluation of the sensory conflict theory. 1990.
- [5] Lin et al. Effects of field of view on presence, enjoyment, memory, and simulator sickness in a virtual environment. 2002.
- [6] Wells et al. Performance and head movements using a helmet-mounted display with different sized fields-of-view. 1990.
- [7] Arthur et al. *Effects of Field of View on Performance with Head-Mounted Displays*. PhD thesis, 2000.
- [8] Bhandari et al. Teleportation without Spatial Disorientation Using Optical Flow Cues. 2018.
- [9] Yasin Farmani and Robert J. Teather. Viewpoint Snapping to Reduce Cybersickness in Virtual Reality. 2018.
- [10] Lin et al. How the Presence and Size of Static Peripheral Blur Affects Cybersickness in Virtual Reality. 2020.
- [11] Groth et al. Visual Techniques to Reduce Cybersickness in Virtual Reality. 2021.
- [12] Goldstein et al. *Sensation and Perception*. 2009.
- [13] Stanney et al. What to Expect from Immersive Virtual Environment Exposure: Influences of Gender, Body Mass Index, and Past Experience. 2003.
- [14] Kim et al. Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. 2018.
- [15] igroup presence questionnaire (IPQ) overview | igroup.org - project consortium. <http://www.igroup.org/pq/ipq/index.php>. (Accessed on 07/22/2022).