

HMD ユーザの探索行動支援に向けた 目立たない両眼相補的色振動による視線誘導

沈 有方^{1,a)} 土佐 凜斗^{3,b)} 畑田 裕二^{2,c)} 廣井 裕一^{4,d)} 平木 剛史^{3,4,e)} 苗村 健^{1,2,f)}

概要：

VR コンテンツにおいて、没入感を損なわずにユーザの探索行動を支援できるため、コンテンツの見た目を知覚的に大きく変化させずに視線誘導を行うことは重要である。そこで、高速な色度変化は知覚できないという人間の視覚特性を利用した、色振動による視線誘導が研究されてきた。しかし、これらの研究はディスプレイ環境でのみ行われており、HMD 環境での有効性は未検証である。本研究では、グレースケール画像において、ディスプレイ環境下にて用いられた色振動による視線誘導の HMD 環境への適用可能性を検証した。また、新たに HMD の左右ディスプレイにおいて逆位相で振動する相補的色振動を提案し、視線を誘導するための適切なパラメータおよび探索タスクにおける効果を検証した。実験の結果、HMD 環境下においても色振動による視線誘導は誘導のない条件と比較して有意に探索時間と探索領域を減少させ、コンテンツの自然性を保つことができた。また、相補的色振動は従来の同期的色振動と比較して有意にコンテンツの自然性を保つことができた。これにより、色振動による視線誘導を用いた探索行動支援は HMD 環境下においても有効であることが示され、相補的色振動は従来の同期的色振動に比べて目立たないことが明らかとなった。

1. はじめに

VR-HMD (Head-Mounted Display) を用いた体験においては、空間内の全方向が映像によって表現されており、ユーザは自由な視点で映像内を移動することで、高い没入感でコンテンツを体験することができる。一方で、これらのコンテンツを体験する際に、画面上にユーザが関心を持つ領域 (Region of Interest: ROI) を制御することが困難であるという課題がある。これは、VR におけるの広大な探索空間において、コンテンツの制作者が注視を促したい ROI を、ユーザが実際に注視するとは限らないためである。

上記の課題を解決するために、視覚的手がかりを用いて明示的に ROI へと視線を誘導する研究が提案されてきた。例えば、ROI を矢印 [3] や丸で囲う方法が挙げられる。しかし、これらの明示的な視線誘導は、コンテンツの没入感

を阻害したり、認知負荷を高めたりする課題が指摘されており、ユーザからは好まれない場合が多い。

この課題を解決するために、本研究では VR-HMD を用いた体験において、そのコンテンツの見た目を知覚的に大きく変化させずに視線誘導を行う手法を検討する。以後、このような視線誘導を目立たない視線誘導と定義する。

土佐らは色振動をしている 2 色について、意識的ならつきは感じないものの、単色とは異なるように知覚する状態が存在することを実証した [6]。また、この中間的な知覚状態における色振動による視線誘導が、実際の探索タスクを通して目立たない視線誘導として効果があることを示した。一方で、これらの色振動による視線誘導の研究は、ディスプレイ環境下に留まっており、HMD における有効性は明らかになっていないという課題があった。

ここで、一般的なディスプレイのリフレッシュレートが 60 Hz であることから、ディスプレイ環境下における色振動の周波数は 30 Hz が用いられてきた。しかし、リフレッシュレートが 90 Hz の HMD ディスプレイにおいては同様の 30 Hz の色振動を用いることはできない。

そこで、本研究では HMD 環境下において、従来は検討されてこなかった 45 Hz や 22.5 Hz 等の周波数における色振動の知覚特性について検証した。また、得られた完全知覚と中間知覚のしきい値を利用して、探索タスクにおける

¹ 東京大学 大学院学際情報学府

² 東京大学 大学院情報学環

³ 筑波大学

⁴ クラスタ メタバース研究所

a) yuuhou@nae-lab.org

b) rinto_tosa@pml.slis.tsukuba.ac.jp

c) hatada@nae-lab.org

d) y.hiroi@cluster.mu

e) t.hiraki@cluster.mu

f) naemura@nae-lab.org

それらに基づく色振動による視線誘導を用いることの有効性を評価した。加えて、HMD の左右ディスプレイにおいて逆位相で振動する相補の色振動を提案し、従来の同位相で振動する同期的色振動と比較し、ユーザ評価を行った。

2. 関連研究

2.1 HMD における視線誘導

Lin ら [3] は、360° 動画の見てほしい ROI に対して事前に画面上に矢印を出現させて誘導する手法を提案し、視聴者が ROI により集中できることを示した。しかし、この方法では矢印に隠されて見えなくなってしまう部分によってコンテンツを楽しめなくなったり、視聴者が画面上に存在し続ける矢印に対して不快感を抱いたり等の課題が指摘されている。

また Tong ら [5] は、ガイドが視聴者に見てほしい方向に指を指す、頭を向けるなどの社会的に一般的なジェスチャーを用い、Sheikh ら [7] は、視野外の登場人物が声を発することで、効果的に視聴者をその人物に注目させることができることを示した。しかし、上記の方法はいずれもコンテンツに人を登場させる必要があり、風景映像など人が登場しないコンテンツに応用することはできない。

この他に、横見らは 360° 動画において、ROI とユーザの視線の距離が遠いほど ROI の明度を上げる変調をかけ、近づくほど明度を動的に変調を戻すことで、ROI に自然に視線誘導できると示した [8]。しかし、この手法ではユーザの視線をリアルタイムで取得し、動的に刺激を制御する必要がある。

2.2 色振動を用いた視線誘導

色振動とは、2つの異なる色を交互に高速に繰り返して表示する手法である。人間の視覚は、25 Hz 以上の色振動においては2色の時間平均の単色を知覚し、高速な色度変化は知覚できない [2] ことが知られている。この色振動に対する視覚特性を利用し、人間には知覚できないが、カメラやセンサでは検出できる情報を映像内に埋め込むことができる。これまで色振動は、主に映像に情報を埋め込む手法として用いられてきたが、色振動の振幅を適切に設定することで、目立たない視線誘導にも用いる方法も検討されている。

色振動の振幅の決定については、服部らは、特定の基準色の周囲で人間が区別できない色の範囲を示したマクアダム楕円を用いて、楕円の長軸方向延長線上の2色について、明らかにちらつきを知覚する（完全知覚）ときの楕円中心からの距離を実験的に求めた [1]。また、この振幅に関する知見を用いることで、色振動を用いてディスプレイ上のコンテンツに対して視線を誘導するシステム、ChromaGazer [6] が提案されている。ChromaGazer では色振動をしている2色について、完全知覚の状態と、2色

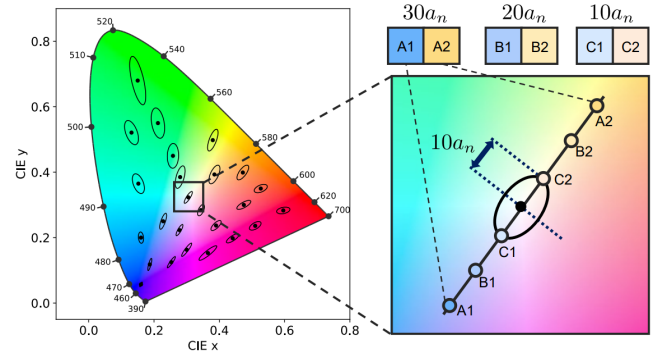


図 1: マクアダム楕円の長軸方向の2色を用いた色振動。楕円の大きさは10倍に拡大されて描画されていることに注意する。

が完全に融合して単色として知覚する状態の間に、意識的なちらつきは感じないものの、単色とは異なるように知覚する中間的な知覚（中間知覚）が存在することを実証した。さらに、視野角や刺激の大きさを変数とした実験により、各知覚状態に対する2色のマクアダム楕円中心からの距離のしきい値を調べ、実際の探索タスクを通して中間知覚が目立たない視線誘導として効果があることを示した。一方で、これらの色振動による視線誘導のHMDにおける有効性は明らかになっていないという課題がある。

3. 提案手法

本研究では、ChromaGazer [6] において提案された、中間的な色振動知覚のアイデアに基づき、マクアダム楕円の長軸方向における色度変調を行うことで、色振動を用いた視線誘導をHMD環境に適用する。さらに、通常の色振動に加えて、HMDの左右ディスプレイにおいて逆位相の色振動を提示する相補的な色振動を提案する。

3.1 マクアダム楕円を用いた色振動

図1左は、 xy 色度図上のマクアダム楕円を示す。これは、各楕円の中心の色に対して肉眼では区別がつかない色差の範囲を示しており、 xy 色度図における色差の知覚が均等でないことを示す。例えば、楕円の半径は青色領域よりも緑色領域で大きくなっている。これは xy 色度空間では、緑色の小さな色の違いは青色のそれよりも知覚しにくいことを示している。このマクアダム楕円を用いることで、均等でない色度の知覚特性を考慮した色振動ペアを決定することができる。

各マクアダム楕円 $\mathcal{E}_n = \{c_n, \theta_n, a_n, b_n\}$ ($n = 1 \dots 25$) は、 xy 色度図上の25点で、中心 $c_n = [c_{nx}, c_{ny}]$ 、回転角度 θ_n 、長径 a_n と短径 b_n によって定義される。これらの楕円の長径 a_n に沿って比率 r を乗じた色ペア $\{p_n^+(r), p_n^-(r)\}$ を色振動ペアとして選び（図1右）と表記する。

$$p_n^\pm(r) = [c_{nx} \pm r \cdot a_n \sin \theta_n, c_{ny} \pm r \cdot a_n \cos \theta_n]. \quad (1)$$

xy 色度図は, CIE xyZ 色空間の輝度 $0 \leq Y \leq 1$ を正規化して計算され, 輝度 Y が 0 に近づくとき色は黒に近づき, Y が 1 に近づくとき色は白に近づく. ここで, 色振動に用いる色ペアを決定する際に輝度を一定にする必要がある. 今回, Y が 1 に近づくとき色振動に用いる色ペアが sRGB 表色系の範囲を超えやすくなるため, 先行研究にない $Y = 0.4$ とし, 以下の数式に基づいて xyY 色空間から XYZ 色空間に変換した.

$$X = xY/y, Z = (1 - x - y)Y/y. \quad (2)$$

本研究では, HTC VIVE Pro Eye を使用する. HMD のディスプレイ特性は通常のモニターとは異なり, 独自の色再現特性を持つ. そこで, HMD における色空間の原色(赤, 緑, 青)と白色点を分光放射照度計 UPRtek MK350N Premium を用いて測定し, HMD のディスプレイにおけるプライマリカラーを求めた. これらの値を用いて, CIEXYZ で選択された色ペアを HMD における表色系に変換し, ガンマ変換を施した.

これらの実装には, Python-colour^{*1} を用いた. 色変換には, D65 照明下での CIE 1931 2° 表色系に基づいた関数を用いた.

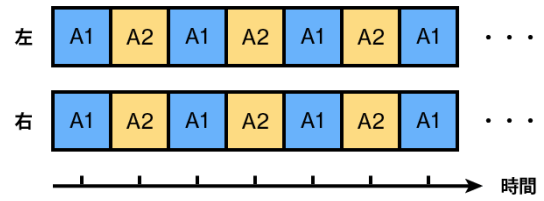
なお, 色振動の知覚は色相や彩度によって均等ではない上に個人差があるため, 本稿ではグレースケールにおける色振動にのみ焦点を当てる. 今回はグレースケールに近い色として, マクアダム楕円の中心点 $(x, y) = (0.305, 0.323)$ を色振動生成するためのベースカラーとして選択した. この色は xy 色度図の中心に近いので, r をある程度大きくしても色振動に用いる 2 色が HMD ディスプレイの色域内に留まる.

3.2 同期および相補的な色振動

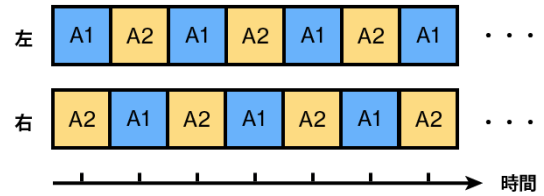
本提案手法では, 色振動を両眼に対して同一の画像を提示する方法と異なる画像を提示する方法の 2 種類を用いる. ここで, 前者を同期的色振動, 後者を相補的な色振動と定義する. 図 2 の通り, 同期的色振動の場合は時間軸に対して左右眼に映る画像が同じ位相で切り替わるのに対して, 相補的な色振動の場合は逆の位相で切り替わる.

4. 実験 1: 知覚状態に応じた色振動の振幅の導出

本研究では, 土佐らが定義した色振動の知覚状態の分類をもとに, 本実験で用いる HMD である HTC VIVE Pro Eye において探索に用いる色振動の振幅 r を決定する. 具体的には, 刺激が完全知覚・中間知覚となるような色振動の振幅 r を決定する. これらの知覚状態は以下のように定義される:



(a) 同期的提示



(b) 相補的提示

図 2: 2 種類のフリッカー刺激の提示方法

- **完全知覚となる色振動**: 明らかにちらつきを知覚する色振動
- **中間知覚となる色振動**: ちらつきは意識的に感じないが単色とは異なるように知覚する色振動

これらの完全知覚・中間知覚となる色振動の振幅 r は, 以下の実験を通して決定された.

実験参加者は計 17 名(男性 12 名, 女性 5 名, 年齢範囲 20~30 歳, 平均年齢 24.4 歳)で, そのうち 11 名が矯正レンズ(眼鏡またはコンタクトレンズ)を使用していた. まず, 参加者に様々な振幅 r を施した色振動刺激を様々な位置に提示し, その知覚の種類を以下の 3 つから選択してもらう.

- 明らかなちらつきが感じられる
- 1 つの色とは異なるように感じるが, 明らかなちらつきとして感じられるほどではない
- ちらつきを感じず, 1 つの色として知覚する

その後, それぞれの知覚状態を報告した実験参加者の割合を計算し, シグモイド関数により参加者が刺激を「1 つの色とは異なるように感じるが, 明らかなちらつきとして感じられるほどではない」と「明らかなちらつきが感じられる」と知覚する確率が 50 %となるしきい値 r_{th} を推定し, それぞれを完全知覚, 中間知覚となる色振動における振幅と定義する.

今回使用する HMD のリフレッシュレートは 90 Hz であるため, 本デバイスを用いて実現できる最も高い周波数は 1 フレームごとに画像を切り替えた場合の 45 Hz の色振動であり, 続いて 2 フレームごとに画像を切り替えた場合の 22.5 Hz である. 一般的に, 色振動が知覚できなくなる色臨界融合周波数は 25 Hz 近辺である. 本研究では, 視線を誘導するために刺激を知覚させる必要があることを踏まえて, 45 Hz に加えて色臨界融合周波数を下回る 22.5 Hz に

^{*1} Colour 0.4.4 by Colour Developers, <https://zenodo.org/records/10396329>

表 1: 各提示方法における色振動の振動振幅 r のしきい値

	0°	8°	13.5°	19°	28°	36°
完全知覚	46.66	34.04	31.73	33.61	42.25	50.11
中間知覚	18.70	13.56	13.00	15.84	24.08	29.05

(a) 同期的色振動における振動振幅 r

	0°	8°	13.5°	19°	28°	36°
完全知覚	65.75	35.28	36.50	35.36	44.40	59.45
中間知覚	22.14	16.52	16.14	19.06	23.65	32.77

(b) 相補の色振動における振動振幅 r

についても知覚特性を調べる。

実験では、同期的色振動および相補の色振動のそれぞれについて、中心視野 (0°), 近視野 (約 8°), 中視野 (約 13.5°), 遠視野 (約 19°), 超遠視野 (約 28°), 有効視野の限界 (約 36°) において、直径 120 mm の色振動する円刺激を 500 mm 離れた位置に提示した。これにより、45 Hz と 22.5 Hz の両条件で提示方法および視野角に対応した振動振幅のしきい値を求めた結果、45 Hz の条件では sRGB 色域内で完全知覚および中間知覚の振幅 r を得ることができなかったため、以後の実験は色域内で値を得られた 22.5 Hz の色振動で実験を行う。

実験を通して得られた各条件における振動振幅 r を表 1 に示す。

5. 実験 2：視線誘導による探索タスク

本実験では、前章で得られた各条件における振動振幅 r を用いて、実験参加者に画像の中から特定のターゲットを探し探索タスクを課す。このとき、ターゲットに色振動を適用した際に画像の自然性を損なわずにユーザの注意を引くことができるかを検証する。

5.1 実験参加者

実験参加者は計 26 名 (男性 18 名, 女性 8 名, 年齢範囲 20~30 歳, 平均年齢 24.4 歳) で、そのうち 13 名が矯正レンズ (眼鏡またはコンタクトレンズ) を使用していた。実験の対象者は視力が 0.7 以上 (矯正視力可) かつ健康な色覚を所有する人に限定された。

5.2 実験装置

本実験では、HTC VIVE Pro Eye を使用した。実験開始前には、SRAnipal SDK を用いて被験者の瞳孔間距離 (IPD) を適切に調整した後、アイトラッキングのためにキャリブレーションを実施した。

5.3 実験画像の準備

実験画像は、マーティン・ハンドフォード作の「ポケット版 NEW ウォーリーはどこだ!」に収録されている画像の中から 10 枚選び、スキャナ (ScanSnap iX1300, PFU)

を使って 600 dpi でスキャンし、図 4 左のように 1200 px × 1200 px にトリミングされた。各画素について画像はグレースケールに変換された上で、十分色振動を施す色域を確保するために、画素値は元の範囲 [0, 255] から [60, 196] に線形補完された。ターゲット (ROI) は図 4 右のように 1 つのキャラクタを囲むのに十分な直径 44 mm の円形領域とし、中心視の有効領域 (500 mm の距離で直径 39 mm の円) に近似させた。なお、この実験では画像上の様々の位置にあるものを探してもらうため、被験者が探すべきキャラクタは必ずしもウォーリーとは限らない。また、位置の偏りを避けるために ROI の位置は画像間で変化させた。さらに、画像ごとの中心からの距離の偏りをなくすために各手法において ROI の位置が等しく分散するように配置した。

5.4 探索支援のための視線誘導

前節の議論に基づき、探索タスクでは ROI を探す上で 6 種類の誘導手法を実装した。まず、ベースラインとして誘導を施さない条件を設定した。次に、色振動による誘導として、知覚強度 (中間知覚・完全知覚) と提示方式 (両眼同期・相補) を組み合わせた 4 条件を設定した。最後に、明示的誘導の比較対象として、ROI を黒い円で囲む条件を設定した。なお、色振動の領域は、ROI を中心とする直径 100 mm の円形領域とした。また、明らかな誘導に用いる黒い円は ROI と同じ大きさの直径 44 mm の円領域とした。

5.5 実験の手順

以下の 4 つの試行を 1 回として、計 60 回の試行を行った。

- (1) **中心注視**：中央に白い十字のある黒い画面が表示され、参加者は十字を注視するよう指示される。
- (2) **対象提示**：中央に ROI (ターゲットキャラクタ) のみを表示した画像を提示し、参加者に探すべき対象を事前に確認してもらう。
- (3) **探索タスク**：6 種類の視線誘導のいずれかが施されたコンテンツが表示され、それを用いて ROI (ターゲットキャラクタ) をなるべく速く探し出し、マウスクリックで選択するよう指示される。
- (4) **アンケート**：Sutton らに従い、以下の項目を 7 段階のリッカート尺度で先に提示された画像について評価する [4]：
 - (a) **自然性 (Naturalness)**：画像がほとんど、あるいは全く加工されていないかどうか (1: 非常に不自然 - 7: 非常に自然)。
 - (b) **強要性 (Obtrusion)**：画像が好ましくない、あるいは望まれない形目立つかどうか (1: 全く目立たない - 7: 非常に目立つ)。

提示される画像は計 10 種類であり、それぞれの画像に

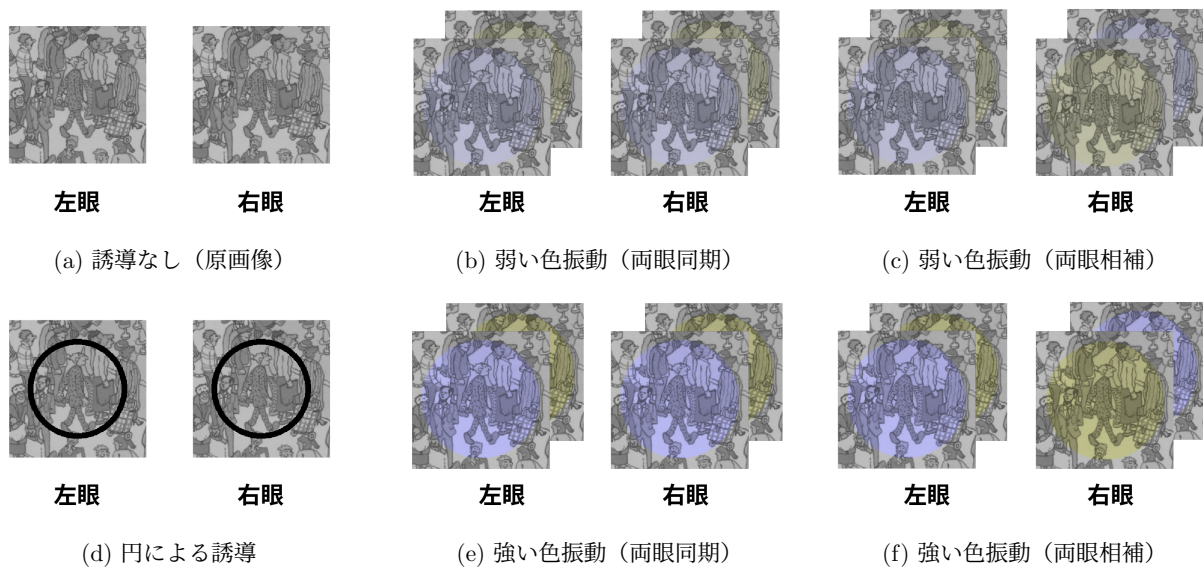


図 3: 誘導手法一覧

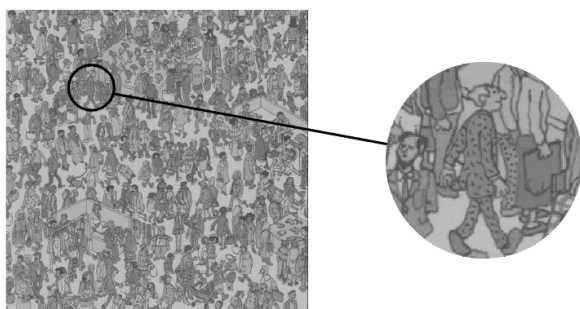


図 4: 実験に用いた原画像と ROI の例

ついて上述の 6 つの視線誘導が 1 回ずつ施された。このとき、計 60 枚の画像はランダムに提示したが、同じ画像が短い間で続けて提示されることによって探索タスクが簡単になることを防ぐために、同じ画像の間には必ず 2 枚以上の異なる画像が提示されるように制限した。また、6 枚の画像が終わるごとに、参加者は目を休めるために黒いスクリーンを見て休憩した。

実験中、画像は HMD の位置トラッキングによらず、常に参加者の視点カメラから 500 mm 前方に固定されるように表示した。また、探索タスク中に参加者が必要に応じて ROI を参照できるように、右クリックを押している間だけ ROI が表示されるようにした。なお、30 秒間が経過してもマウスクリックが行われなかった場合は自動的に次の試行であるアンケートに移行するようにした。

5.6 実験結果

フリードマン検定を実施した後、下位検定として Holm の方法のもとでウィルコクソンの符号順位検定を繰り返した結果、5 %有意差があったものを次章の考察で述べる。

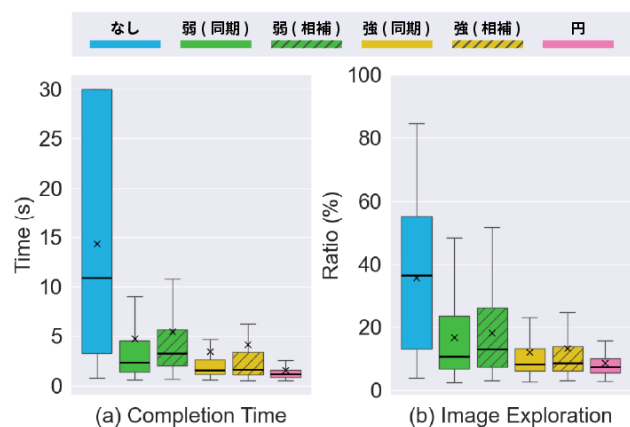


図 5: 各条件における探索時間と探索領域の結果

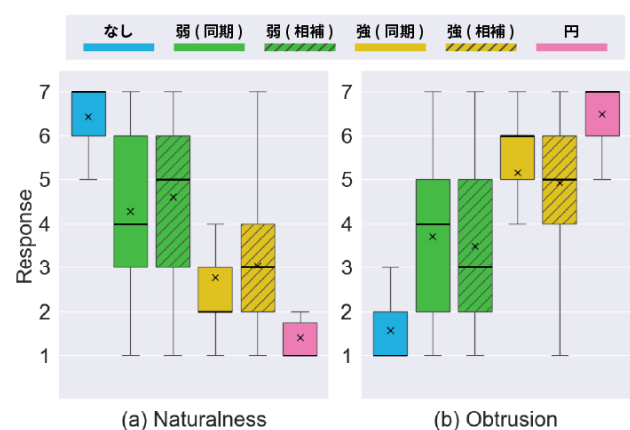


図 6: 各条件におけるアンケートの結果

5.6.1 探索時間

図 5 に各条件の結果を示す。探索に所要した時間については、正しい ROI を選択した場合はその完了時間を割り当てたが、誤った ROI を選択した場合や 30 秒の制限時間を超えた場合は 30 秒の時間を割り当てた。

5.6.2 探索領域の割合

図5に各条件の結果を示す。視線データを用いて、画像の全領域に占める探索された領域の割合を計算した。なお、任意の視線位置における中心視野（視野角5°以内）の領域探索領域とみなした。

5.6.3 ユーザ評価

図6に各条件におけるユーザ評価の結果を示す。

6. 考察

探索時間については、視線誘導を施さない誘導なし条件と比較して、その他の5つの視線誘導全てに有意差があった。色振動による視線誘導は、色振動の強度と提示方法に依らずユーザの注意を効果的に誘導し、タスクパフォーマンスを向上させたことを示している。また、強い色振動と弱い色振動の間・同期的色振動と相補的な色振動の間においても有意差がみられ、弱い色振動は強い色振動と比較して、同期的色振動は相補的な色振動と比較して探索時間がかかるが、誘導なし条件と比較して十分な効果があるといえる。

探索領域の割合については、明らかな誘導と比較して、その他の5つの視線誘導全てに有意差があった。色振動による視線誘導は、特定の領域に視線を強く誘導して探索を制限する可能性のある明示的な誘導とは異なり、ユーザがコンテンツ全体を自然に探索できることを示唆された。色振動を用いることで、ユーザは画像全体を広く見ることができ、かつ重要な情報へとさりげなく誘導されることがえられる。

アンケートの結果では、すべての条件間で自然性の評価に有意な差が認められた。特に、弱い色振動を用いた視線誘導は強い色振動と比較して、相補的な色振動は同期的色振動と比較して有意に自然性が高いことがわかった。強い色振動はユーザにコンテンツに対する違和感を与える可能性があり、コンテンツ全体の没入感を損なう可能性があるのに対し、弱い色振動はコンテンツの自然性を維持したまま必要な情報への注意を促すことができると考えられる。さらに相補的な提示は同期的提示よりコンテンツの自然性を維持できることが示唆された。

一方、強要性の評価は同じ強度の色振動における相補的な提示と同期的提示の間を除いたすべての条件間で有意な差がみられた。特に、弱い色振動を用いた視線誘導は強い色振動や明らかな誘導と比較して、有意に強要性が低いことがわかった。これは、目障りさの観点からコンテンツの文脈に与える悪影響が少ないことを示唆された。

これらの結果から、中間知覚となる弱い色振動による視線誘導は、探索行動におけるタスク完了速度の向上に寄与し、自然に支援する効果的な手法であることが示された。さらに、相補的な色振動は従来の同期的色振動に比べて自然性が高く、ユーザの体験を阻害することなく、必要な情報への注意を促すことができることが示された。

7. まとめ

本研究によって、ディスプレイにて効果が実証されたChromaGazerという色振動による視線誘導システムは、HMD環境下にも適応可能であることが明らかとなった。特に、HMD環境下においては45 Hz条件下では中間知覚および完全知覚となる色振動を実現することが難しい一方で、22.5 Hzの色振動とすることで、探索行動支援の視線誘導として有効であることが示された。さらに相補的な色振動は従来の同期的色振動と比較しても、目立ちにくいことが示唆され、HMDという媒体ならではの探索行動支援の手法の可能性が開かれた。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 JP24KK0187 と、中山未来ファクトリーの支援を受けたものです。

参考文献

- [1] Shingo Hattori, Yuichi Hiroi, and Takefumi Hiraki. Measurement of the imperceptible threshold for color vibration pairs selected by using macadam ellipse. In *ACM SIGGRAPH 2024 Posters*, SIGGRAPH '24, page 1–2. ACM, July 2024.
- [2] Yi Jiang, Ke Zhou, and Sheng He. Human visual cortex responds to invisible chromatic flicker. *Nature neuroscience*, 10(5):657–662, May 2007.
- [3] Yen-Chen Lin, Yung-Ju Chang, Hou-Ning Hu, Hsien-Tzu Cheng, Chi-Wen Huang, and Min Sun. Tell me where to look: Investigating ways for assisting focus in 360° video. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, page 2535–2545, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [4] Jonathan Sutton, Tobias Langlotz, Alexander Plopski, Stefanie Zollmann, Yuta Itoh, and Holger Regenbrecht. Look over there! investigating saliency modulation for visual guidance with augmented reality glasses. In *Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '22, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery.
- [5] Lingwei Tong, Sungchul Jung, and Robert W. Lindeman. Action units: Directing user attention in 360-degree video based vr. In *25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '19, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [6] Rinto Tosa, Shingo Hattori, Yuichi Hiroi, Yuta Itoh, and Takefumi Hiraki. Chromagazer: Unobtrusive visual modulation using imperceptible color vibration for visual guidance. arXiv preprint, 2024.
- [7] Eduardo E. Veas, Erick Mendez, Steven K. Feiner, and Dieter Schmalstieg. Directing attention and influencing memory with visual saliency modulation. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, page 1471–1480, New York, NY, USA, 2011. Association for Computing Machinery.
- [8] Masatoshi Yokomi, Naoya Isoyama, Nobuchika Sakata, and Kiyoshi Kiyokawa. Subtle gaze guidance for 360° content by gradual brightness modulation and termination of modulation by gaze approaching. In *2021 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, pages 520–521, 2021.