

高速ディスプレイによる視線移動依存型視線誘導のカラー画像適用

奈良 雅大* 宮崎 竜輔* 廣井 裕一† 平木 剛史†‡ 伊藤 勇太* 宮藤 詩緒*

概要. 視線誘導は、ユーザの注意を特定の領域に導くために重要な技術である。しかし従来の視覚の手がかりは持続的な視覚ノイズを生み、作業への集中を妨げてしまう。これに対し、高速ディスプレイを用いてサッカード時にのみ誘導を提示する手法が提案されてきた。この手法は継時加法混色を用い、色チャンネルの位相を時間方向にシフトして画像内に視線誘導パターンを埋め込む。このパターンは注視時には不可視だが、視線移動時にカラーブレイキングとして一時的に顕在化するため、注視中の作業を妨げない。またセンサを必要とせず、同一画面を複数人で共有できる利点をもつ。一方でこの手法の適用はグレースケール画像に限られていた。本稿ではこの制約を解消するため、カラー画像への埋め込みの実装を提案し、並置加法混色と継時加法混色の併用によるより柔軟な視線誘導提示に向けた実装を行う。

1 はじめに

視線誘導は、ユーザの注意を自然かつ効率的に特定の領域へと導く手法として注目されている。しかし、視線誘導技術は誘導効果の向上と視覚的干渉の低減という本質的なトレードオフに直面している。従来の矢印や丸枠などの重畳表示による明示的な注釈は確実な誘導効果を示す一方で、オリジナルの要素を遮蔽し、視覚的ノイズを生み出すおそれがある。理想的な視線誘導は、視覚的干渉を最小限に抑えつつ、必要なタイミングで的確に誘導を提供することである。視覚的干渉を抑える方法として、色やコントラスト [1]、フリッカや色振動 [6] を用いて顕著性を操作する方法が研究されてきた。しかし、これらの方法は外観を継続的に変更するため、誘導を必要ないタイミングに制限することができない。一方で、アイトラッカを用いて適切なタイミングで視線を誘導する方法 [2] も提案されているが、アイトラッカには設置の煩雑さ、マルチユーザ対応の困難さ、プライバシーの懸念といった実用上の課題が存在する。

近年は高フレームレートのディスプレイ表示技術の発展により、注視対象や観察者に動きが生じた時のみパターンが可視化される手法が開発されている [4, 3]。また、継時加法混色を用いた運動選択的情報提示をユーザのサッカードに適用し、ユーザが視線を移動したときに一時的に出現する視線誘導手法が提案されている [5]。この手法は視線移動の検出にアイトラッカを必要とせず、視線移動選択的視線誘導の適用を容易にした。しかし、適用はグレースケール画像に制限されていた。

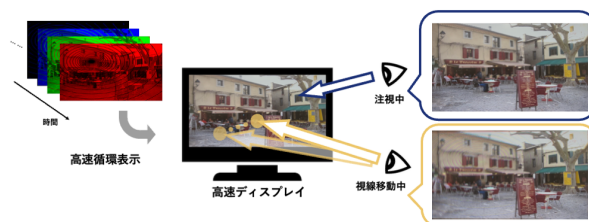


図 1. 提案手法

そこで本稿では、ディスプレイ上での継時加法混色を用いたパターン埋め込み手法のカラー画像への適用について述べる。また、並置加法混色と継時加法混色の併用に向けた実装の取り組みについて述べる。

2 提案手法

本手法では、図 1 に示すように、時間的色位相をパターン部分で局所的にシフトすることで、注視時には見えず、視線移動時のみ出現する誘導パターンを画像に埋め込む。これにより、視線が移動した時のみ視線誘導を提供することで、表示画像に対する干渉を最小限に抑え流することができる。本手法はアイトラッカを必要とせず、複数視聴者環境にも自然に適用可能である。

2.1 継時加法混色とカラーブレイキング効果

デジタルカラーには、2つの加法混色方式が存在する。一つは並置加法混色 (Spatial-color additive mixing, SCM) であり、赤・緑・青 (RGB) のサブピクセルを同時に観察する方式である。もう一つは継時加法混色 (temporal-color additive mixing, TCM) であり、これは RGB の光を高速に連続提示し、人間の視覚系において融合させる方式である。いくつかの研究で、継時加法混色のカラーブレイキ

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

* 東京科学大学 情報理工学院

† クラスタ メタバース研究所

‡ 筑波大学 図書館情報メディア系

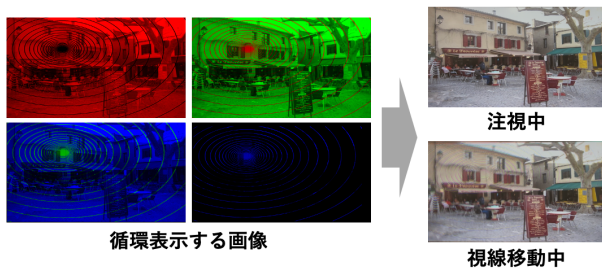


図 2. カラー画像への視線誘導パターンの埋め込み

ング現象を利用して動きに応じた表示を実現する方法が提案されている [4, 3]. カラーブレイキングは、画面の移動や観察者の視線移動によりフレームが同一位置に投影されない場合に、本来は平均化されるべき画像が分離し、鮮やかで意図しない輪郭として現れる現象である。通常の LCD や OLED ディスプレイは、RGB サブピクセルを用いた並置加法混色を用いるため、残像によるカラーブレイキングは発生しない。本手法では市販の OLED パネル上でカラーブレイキングを誘発するために、各入力画像を R, G, B, 黒の 4 つのフレームに分解し、高速で循環表示することで継時加法混色を実現する。カラー画像では、各ピクセルの色を表す RGB の色チャンネルごとに分割する。

誘導パターンを埋め込むために本手法では、パターン領域の位相を他の領域とシフトさせる。これにより、カラーブレイキングが発生した際に、パターンの輪郭が鮮やかに強調される。注視している場合、網膜上での時間的統合により 4 フレームは 1 つの色に平均化されるため、位相シフトは不可視となる。しかし視線移動中には、網膜像中でフレームが移動するため、位相の不一致が統合されず、パターン形状の輪郭に沿った高コントラストの色縞が生じる。これらの縞の顕著性は隣接位相間の色差が大きいほど増大する。位相間の色相差を最大化する表示により、静止時には知覚されない一方で、急速な視線運動時にのみ顕著性の高いエッジが生じるよう設計されている。

3 実装

3.1 ハードウェア

Sony INZONE M10S¹ QHD 480 Hz OLED ディスプレイ上で実験を実施した。

3.2 カラー画像への視線誘導パターンの埋め込み

図 2 に示すように、注視中は不可視で、視線移動中に出現するパターンが視認された。

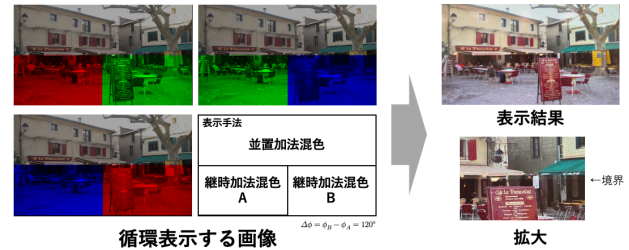


図 3. 並置加法混色と継時加法混色の併用

議論 カラー画像でのパターン埋め込みに成功したものの、いくつかの点で改善が必要である。一つが誘導パターンの顕著性である。グレースケール画像と同じ表示パラメタでは誘導パターンの顕著性が低下した。これは、元画像内の要素の顕著性が高く、相対的に顕著性が低くなったことに起因すると考えられる。カラー画像では、画面を構成する要素によって最適なパラメタが異なると予想され、適応的なパラメタ設定方法が必要になる。もう一つが色再現性である。混色された色の忠実性を検証する必要がある。

3.3 並置加法混色と継時加法混色の併用

図 3 に示すように、同一画像内で並置加法混色の領域と継時加法混色の領域を隣接するように配置した画像を表示した。並置加法混色の領域と継時加法混色の領域で色合いの差異が確認された。

議論 色の不一致について、考えられる要因を挙げる。まず、ディスプレイに関係するものである。ディスプレイの時間的応答性能や色再現性により理想的な表示による色と実際に表示される色が異なる可能性がある。次に、ヒトの知覚特性に関係するものである。色の認知に個人差がある可能性もあり、検証する必要がある。色覚理論に基づき改善を進める必要がある。

4 結論

本稿では、継時加法混色を用いた視線移動選択的視線誘導手法のカラー画像への適用について、実験と検証を行なった。カラー画像への適用は、画像の表現能力を向上させ、より広範なユースケースへの対応を可能にする。また、並置加法混色と継時加法混色の併用は誘導パターン顕著性の柔軟な調整を可能するために役立つと考えられる。ユーザインタフェース、AR/VR、公共ディスプレイなど、継時加法混色を用いた視線誘導の応用可能性は幅広く、本稿は自然な視線誘導手法についての新しい可能性を示している。

¹ <https://www.sony.com/en-sn/gaming-gear/products/inzone-m10s>

謝辞

本研究は JSPS 科研費 25K03164, 24KK0187, JST さきがけ JPMJPR23I9 の助成を受けた。

参考文献

- [1] K. Azuma and H. Koike. A study on gaze guidance using artificial color shifts. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '18, 2018.
- [2] R. Bailey, A. McNamara, N. Sudarsanam, and C. Grimm. Subtle gaze direction. *ACM Trans. Graph.*, 28(4), Sept. 2009.
- [3] A. Kohtani, S. Miyafuji, K. Uragaki, H. Katsuyama, and H. Koike. MOSion: Gaze Guidance with Motion-triggered Visual Cues by Mosaic Patterns. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '24, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.
- [4] S. Miyafuji, A. Kohtani, and H. Koike. Motion-Aware Image Interaction Using Temporal Additive Color Mixing and High-Speed Projection. In *Proceedings of the Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '25, New York, NY, USA, 2025. Association for Computing Machinery.
- [5] M. Nara, R. Miyazaki, Y. Hiroi, T. Hiraki, Y. Itoh, and S. Miyafuji. Saccaidance: Saccade-Aware Pattern Embedding for Gaze Guidance on High-Speed Displays. In *Proceedings of the 31th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '25, New York, NY, USA, 2025. Association for Computing Machinery.
- [6] R. Tosa, S. Hattori, Y. Hiroi, Y. Itoh, and T. Hiraki. ChromaGazer: Unobtrusive Visual Modulation Using Imperceptible Color Vibration for Visual Guidance. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 31(5):3450–3458, Mar. 2025.