

映像への情報重畳のための不可視の色振動の探索高速化と生成可能条件の基礎検討

服部 真吾[†]
筑波大学[†]

平木 剛史[‡]
筑波大学[‡]

1 はじめに

ディスプレイに表示する映像に対して不可視の情報を重畳することによって、デバイスに対してペアリング不要で情報を伝達することができ、様々なアプリケーションを展開することが可能になる。Abeら [1] は、一般的な LCD ディスプレイに表示される画像に対して、色度の変化を用いて不可視の情報を重畳することでデバイスに情報を伝達する手法を提案している。これは、輝度一定で色度のみが周期的に変化する色の振動が臨界色融合周波数 (CCFF) である 25 Hz 程度の周期以上である場合、人間には融合した色のみが知覚される特性 [2] を利用したものである。一方で、Abe らの手法 [1] では、色振動を構成する色の組み合わせ (色ペア) の探索が遅く、それゆえ生成可能条件や色ごとに重畳可能な情報量が不明である点が問題であった。

本稿では、LCD ディスプレイに表示する映像に対して不可視の色振動を用いて情報を重畳する際に、これを構成する色ペアを高速に探索する手法を提案する。また、色振動を用いて重畳可能な情報量について、代表的な 9 色の画像を用いて検討する。

2 提案手法

Abe [1] らの手法では、輝度を固定した色空間においてある色に対して点対称となる 2 色を高速に入れ替えた場合、融合した色が対称の中心に近い色として知覚され、不可視の色振動が実現できると仮定している。ここで、図 1 に示すように輝度を固定した色空間において、表現したい色に対して点対称となる色ペアを探索していた。

探索においては、図 2 において手前から 2 枚目として図示されている元の色に対して、1 枚目、3 枚目

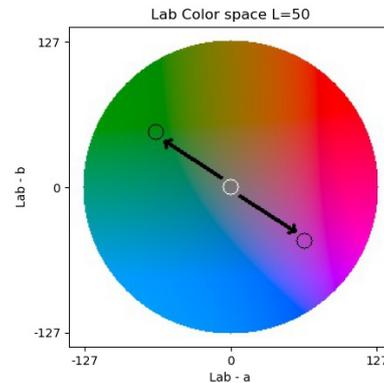


図 1 色ペア探索手法の図解

として図示されている色ペアを生成し、それらが色振動の条件などを満たすかに個別に判定していた。しかしこの場合、計算量が重畳先画像の大きさや色振動に関するパラメータの数によって急激に増加するため、探索に時間を要する。

そこで本稿では、図 3 において 2 枚目として図示されている元の色に対して、輝度を固定した色空間において対称となる複数の色ペアを、1 枚目、3 枚目に示すような配列として生成し、この 2 つの配列中から条件を満たす色ペアを抽出することで処理を高速化する手法を提案する。これにより、大幅に効率的かつ高速な探索が可能となる。

2.1 実装

色ペアの探索では、人間の視覚を近似するよう設計された Lab 色空間を用いる。この色空間は L 軸が

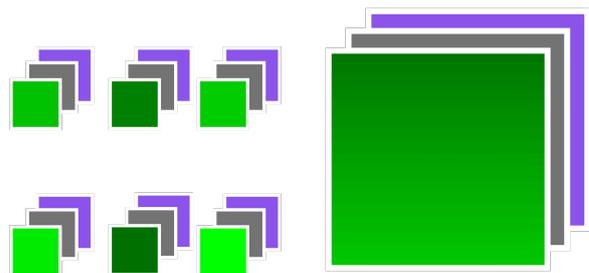


図 2 従来手法

図 3 提案手法

Basic Study on Accelerated and Optimized Search of Imperceptible Color Vibration for Embedding Information into LCD images

[†] Shingo Hattori, University of Tsukuba

[‡] Takefumi Hiraki, University of Tsukuba

輝度を表し、a 軸が赤緑方向の色度、b 軸が黄青方向の色度を表す。本稿では輝度を固定するため、図 1 のように L 値を固定した ab 平面において、元の色と点対称の位置にある複数の色ペアの集合を配列として生成し、その配列中から色振動の条件と重畳する信号の条件を満たす色ペアを抽出する。また、もし満たす色ペアが発見されない場合は、元の色を灰色方向に微小変化をさせ再度探索を行う。

3 実験

Abe らの手法 [1] と提案手法による探索をそれぞれ Python を用いて実装し、表 1 に示すパラメータと色で探索を行った上で、探索に要した時間を比較した。使用したコンピュータは Mac Book Pro (13-inch, 2019, CPU: Intel Core i5-8279U, Memory: 16 GB) である。また、表 1 における重畳情報が 100 であるとは、色振動において R チャンネルの振動が表 1 の値 VR 以上であり、かつ G、B チャンネルの振動が表 1 の値 VR × NVR 以下であることを意味する。

3.1 結果

探索に要した時間は、Abe らの従来手法が 3423.07 s、提案手法が 62.62 s であった。結果として、提案

色 (RGB)	黒 (100, 100, 100), 灰 (170, 170, 170), 白 (240, 240, 240), 赤 (240, 100, 100), 緑 (100, 240, 100), 青 (100, 100, 240), 黄 (240, 240, 100), マゼンタ (240, 100, 240), シアン (100, 240, 240)
重畳情報	100, 010, 001, 110, 101, 011, 111
VR	50, 100, 150, 200
NVR	0.5, 0.25, 0.125

表 1 探索した色と閾値などのパラメータ

手法は従来手法より約 54 倍高速であることがわかる。また、色ごとの重畳可能信号の組み合わせを探索した結果を表 2 に示す。表より、探索したすべての色のうち G 成分が小さい色（黒、灰、白、赤、青、マゼンタ）については、4 種以上の情報を重畳できることがわかった。しかし、G チャンネルが振動する重畳情報 (010, 110, 011) および、G 成分が大きい色（緑、黄、シアン）については色ペアの発見が困難であった。これは G 成分が L 成分に大きく寄与するため、L 成分の固定と G 成分の振動を両立することが困難だからだと考えられる。

4 おわりに

映像への情報重畳のための不可視の色振動探索において、提案手法を用いることで従来と比較して 50 倍程度の高速化を達成でき、また代表的な 9 色それぞれについて、色振動を生成できる条件を明らかにした。今後の展望として、色振動が元の色と等しく認識されるかについて、被験者実験などによる評価を実施したいと考えている。

謝辞 本研究は、JST ACT-X JPMJAX190O の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] S. Abe, A. Arami, T. Hiraki, S. Fukushima, and T. Naemura. Imperceptible color vibration for embedding pixel-by-pixel data into lcd images. In *Proc. of CHI EA*, pp. 1464–1470, 2017.
- [2] Y. Jiang, K. Zhou, and S. He. Human visual cortex responds to invisible chromatic flicker. *Nature neuroscience*, Vol. 10, No. 5, pp. 657–662, 2007.

重畳可能情報 (RGB)	黒	灰	白	赤	緑	青	黄	シアン	マゼンタ
100	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
010									
001	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
110		✓	✓	✓					✓
101	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
011									
111	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓

表 2 色及び振動パターンごとの重畳可能性