

色覚障がい者に対する光学透過型 HMD を用いた支援

水越 駿[†] 豊浦 正広[†] 茅 暁陽[†] 柏木賢治[†]

[†] 山梨大学 〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-4-37

あらまし 世界2億5千万もの人々が色覚に障がいをもっている。これにより職業選択や日常のコミュニケーションに支障をきたすが、色覚障がいは遺伝的疾患であり、現在治療方法も確立されていない。本研究では実世界映像をカメラで捉え、失われる色情報を補償するための映像を生成し光学透過型 HMD(OST-HMD)に提示することで色覚障がい者に対する支援を目指す。ユーザは生成された重畳表示映像を通して実世界をみることで色覚が補償され、情報が弁別しやすくなる。本稿では補償画像の生成に Daltonization 法を用いて、単眼カメラを装着した OST-HMD 上で実装した結果を検証し、今後の課題について議論する。

キーワード 色覚障がい, 光学透過型 HMD, Daltonization 法

Support for Color Vision Deficiency using Optical See-Through HMD

Shun MIZUKOSHI[†] Masahiro TOYOURA[†] Xiaoyang MAO[†] and Kenji KASHIWAGI[†]

[†] University of Yamanashi 4-4-37 Takeda, Kofu-shi, Yamanashi, 400-8511 Japan

Abstract 250 million people in the world are suffering from Color Vision Deficiency(CVD). CVD causes troubles for job selection and communication in daily life. Most cases of CVD are caused by genetics, and currently no effective treatment has been established. In this study, we propose to support CVD people with See-Through Head-Mounted Display(OST-HMD). The images captured by an outward camera installed on the OST-HMD are processed to generate images for compensating the formation loss caused by CVD. CVD users can achieve better discrimination over scenes by superimposing the displayed compensation images over the real world scenes. In this paper, we introduce the implementation results using daltonization method for generating compensation images and discuss about the future challenges of the project.

Keyword Color Vision Deficiency, Optical See-Through HMD, Daltonization Method

1. あらまし

Wong ら[1]の報告によれば2011年時点で世界中に2億5千万もの人が色覚障がい(Color Vision Deficiency, CVD)であると推定されている。CVDは色の弁別性(ある2色間の違いがわかる)を低下させ、職業選択や日常のコミュニケーションに支障をきたす。

2017年現在治療法が確立されておらず、偏光グラスや画像処理によって色覚を補償する支援がなされてきた。近年ではスマートフォンの普及に伴い、カメラで撮影した映像に対して色覚補償処理をするアプリケーションも提供されている。しかし日常生活においては“歩きスマホ”と呼ばれるように、歩行中や運転中、料理中などスマートフォンを利用することで手が塞がる、視界が狭まるなど副次的な危険を伴う場面も多い。

本研究では光学透過型ヘッドマウントディスプレイ(OST-HMD)を利用し、ユーザ本来の視界を保持した上で、そのユーザの色覚を補償する支援を試みる。本稿では既存の色覚補償方法を OST-HMD に拡張する方

法を提案する。OST-HMD を利用した色覚補償支援は少なく、OST-HMD 特有の課題も多いため、これらに対するアプローチについても議論する。

2. 関連研究

2.1. OST-HMD を利用した色覚障がい支援システム: Chroma

Tanuwjdjaja ら[2]は GoogleGlass を利用した色覚補償システム Chroma を提案した。任意の色を白画素に置き換える、混乱しやすい2色間のコントラストを変化させる、Daltonization 法による補償、補償領域の輪郭強調といった4種類の機能を実装している。

GoogleGlass は単眼カメラとプロジェクタ型の片眼 OST-HMD であり、補償画像は視界の右上に半透明で表示される。ユーザは現実世界と視界右上に表示された補償画像とを交互に見比べる必要があり、原理として歩きスマホと同様の危険を伴う。

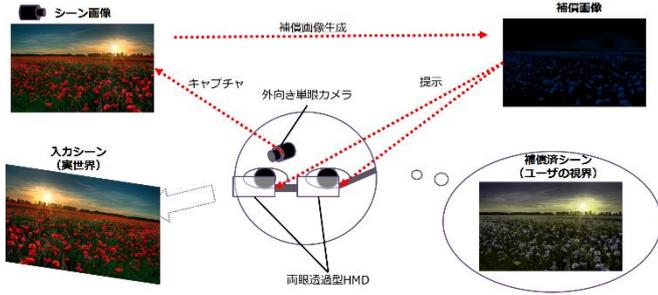


図 1 提案システムの概要.

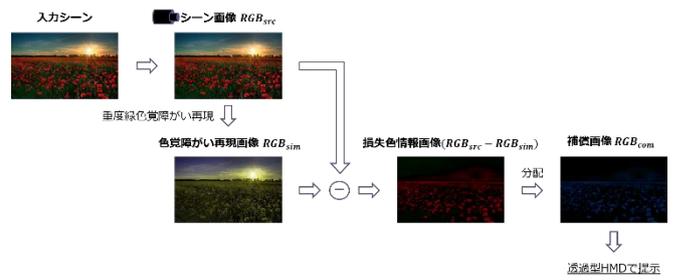


図 2 Daltonization 法と OST-HMD による色覚補償

2.2. Daltonization 法

Daltonization 法は Woods[3]が提案した画像処理による色覚補償の方法である. CVDによって元画像から失われる色情報を予め他の色チャンネルへ分配し元画像へ重畳することで弁別性の向上を試みる. しかし OST-HMD での実装までは考慮していない.

3. 提案手法

3.1. 概要

図 1 に示すように, 本研究では外向きの単眼カメラが眉間部分に 1 つ, OST ディスプレイが両眼の前にそれぞれ 1 枚ある OST-HMD を使用する. ユーザの視界中央にコンテンツが半透明に表示されるため, ユーザの視界を遮蔽せず, GoogleGlass のように視線を動かして見比べる必要もない. 色覚補償を行うために, 外向き単眼カメラで撮影した入力シーンに対して Daltonization 法により補償画像を生成して OST-HMD に提示する.

3.2. 補償画像の生成

Woods が提案した Daltonization 法では, 元画像 RGB_{src} と CVD 再現画像 RGB_{sim} (色覚障がい者が見えている画像をシミュレーションにより再現したもの) の差 (損失色情報) を分配係数によって正常に機能するほかのチャンネルに分配する. これにより生成した補償画像 RGB_{com} を元画像 RGB_{src} に重畳して補償済画像 RGB_{new} を生成する.

重度の緑 CVD (2 型二色覚) を仮定した場合, Daltonization 法は以下のように定式化される.

$$\begin{pmatrix} R_{new} \\ G_{new} \\ B_{new} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{src} \\ G_{src} \\ B_{src} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & .7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & .7 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_{src} - R_{sim} \\ G_{src} - G_{sim} \\ B_{src} - B_{sim} \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで, R_{src} , G_{src} , B_{src} と R_{sim} , G_{sim} , B_{sim} はそれぞれ元画像と CVD 再現画像の赤, 緑, 青成分であり, R_{new} , G_{new} , B_{new} は緑色の損失情報を赤と青チャンネルに分配し元画像に重畳して得られた補償済画像である. CVD 再現画像は Viénot ら [4]が提案した再現モデルを用いて算出する. まず式(2) を用いて画像を RGB 色空

間から LMS 色空間に変換する. 次に式(3) より LMS 空間における CVD 再現画像を生成する. 最後に式(2) で使用した変換行列の逆行列を用いて CVD 再現画像を再び RGB 色空間に変換する.

$$\begin{pmatrix} L_{src} \\ M_{src} \\ S_{src} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 17.8824 & 43.5161 & 4.11935 \\ 3.45565 & 27.1554 & 3.86714 \\ 0.02996 & 0.184309 & 1.46709 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_{src} \\ G_{src} \\ B_{src} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} L_{sim} \\ M_{sim} \\ S_{sim} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.494207 & 0 & 1.24827 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} L_{src} \\ M_{src} \\ S_{src} \end{pmatrix} \quad (3)$$

図 2 に示すように, 提案システムでは, 単眼カメラで捉えた画像が元画像 RGB_{src} であり, 元画像と CVD 再現画像の差分を正常に機能するチャンネルへ分配した画像 RGB_{com} が OST-HMD に提示され, 実空間のシーンと重畳され, 補償済画像 RGB_{hmd} としてユーザの視界となる.

3.3. シーン画像のキャリブレーション

提案システムでは OST-HMD に装着しているカメラが捉えた元画像に対して Daltonization 処理を施した後, OST-HMD に表示させて, ユーザの視界に入る実空間シーンと重畳させることで色覚補償を行う. OST-HMD に表示されている補償画像と実空間シーンとのシームレスな重畳を実現するためには, ユーザの視界パラメータとカメラの撮影パラメータとのキャリブレーションを行うことが必要不可欠である. OST-HMD における仮想物体と実空間とのキャリブレーション方法として Itou ら [5]はマーカーボードを利用している.

本稿では簡易的な手法によってユーザの視界に合わせてカメラの撮影パラメータをキャリブレーションする方法を提案する. 撮影の対象が平面と仮定すると, 撮影による投影変換は 3×3 のホモグラフィ行列で表すことができる. 図 4 に示すように, OST-HMD に点 $P(X_{HMD}, Y_{HMD})$ を提示し, ユーザが OST-HMD 越しに観察する点 P と重畳する実空間の平面上の位置が $P'(X_{world}, Y_{world})$ とすると, 点 P は P' をユーザの視界に対応したホモグラフィ行列により OST-HMD に投影して得られる点であると仮定できる:

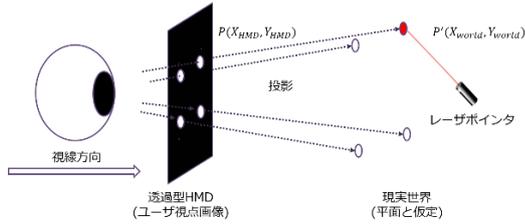


図 3 キャリブレーション概要

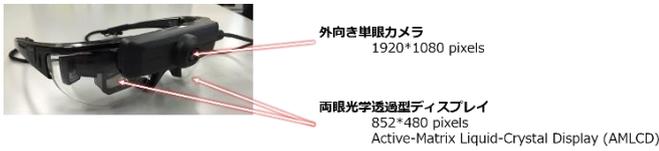


図 4 Vuzix STAR 1200

$$\begin{pmatrix} X_{HMD} \\ Y_{HMD} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{world} \\ Y_{world} \\ 1 \end{pmatrix}$$

ホモグラフィ行列には 8 個のパラメータがあるため、このような対応点が 4 組あれば、ホモグラフィ行列を求めることができる。本研究では OST-HMD に白い点を 4 つ配置されている黒い画像を提示し、ユーザに OST-HMD 越しにこれらの点と重畳する実空間平面上の位置を観測し、レーザポインタで指し示してもらう。これをカメラが捉え、Hough 変換を利用したレーザポインタ追跡で座標を得る。これを両目に対して一度ずつ行い、得られたホモグラフィ行列によってカメラで捉えたシーン画像を変換することで補償画像と実世界シーンとのシームレスな重畳を実現する。

4. 実装と考察

両眼にそれぞれ OST ディスプレイをもつ Vuzix 社の STAR1200 (図 4) を使用して提案システムの実装を行った。実験は実世界シーンとして壁に立てかけた A4 サイズの印刷物を用いる (図 5(a))。キャリブレーションは印刷物まで 30cm の位置で行い、観察も同じ距離で行う。観察には OST-HMD の右眼の位置に Web カメラ logicool Pro 9000 を設置し撮影を行った。

4.1. Daltonization 法の実装と考察

図 5 に Daltonization 法による補償画像を提示した結果を示す。図 5(c)は図 5(b)より OST-HMD の明るさを高くしている。図 5(a)の画像に対して PC 上で Daltonization 法を適用した結果が図 5(d)である。図 5(c)をみると、中央の赤い領域は図 5(d)のように赤紫色に見える。OST-HMD による重畳表示で Daltonization 法が実現できているといえる。一方 OST-HMD が明るいことで本来は色を変える必要がない領域においてディスプレイの光が重なって白く見えてしまう (図 5(c))。

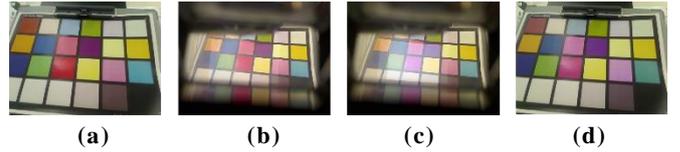
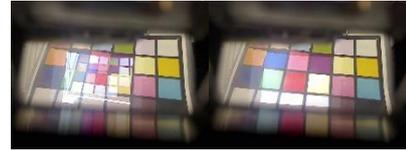


図 5 OST-HMD における実装:

(a)入力シーン RGB_{src} , (b)補償済シーン RGB_{hmd} (OST-HMD の明るさ:低), (c) RGB_{hmd} (OST-HMD の明るさ:高), (d)Woods による Daltonization 法結果画像 RGB_{new} . (いずれも右目の位置から別カメラで撮影)



(a) (b)

図 6 キャリブレーション結果:

(a)キャリブレーションなし RGB_{hmd} , (b)キャリブレーション済み RGB_{hmd} . (どちらも右目の位置から別カメラで撮影)

OST-HMD の利用にはいくつかの制約を受けることが知られている。Gabbard ら [6]は背景の色とディスプレイ上の色が混ざり第三の色となることで設計者が意図しない色となる問題を指摘し Color Blending 問題としてモデル化した。Sridharan ら [7]は色プロファイルの違いからレンダリング時にも色に歪みが起こると指摘し Gabbard らのモデルにディスプレイの特性による歪みを取り入れた。Sridharan らも Itou ら [8]もユーザの目の位置にカメラを置き、色補正を行っている。本研究では今後色の歪みについて調査し、補正方法を検討する必要がある。

また、今回は重度の緑 CVD(2 型二色覚, Deuteranopia)を対象としたが、CVD はその型、重症度において多様であり、個人差を測定し、それを考慮した損失分配パラメータの設定を行わなければならない。医療現場で最も信頼が高い測定方法はアノマロスコープを用いた測定である。Shen ら [9]は二対比較法によって個人差の獲得を行っている。本研究ではアノマロスコープによって測定された型・強度別に損失分配パラメータを適用することを検討する。一方で軽度の CVD には個人差が顕著であるため、Shen らの方法も検討したい。

4.2. キャリブレーション

図 6 にキャリブレーションの結果例を示す。キャリブレーションを行っていない場合 (図 6(a))と比較して、キャリブレーションを行うことにより補償画像と実空間シーンとの間で輪郭がほぼ一致していることが分かる。(図 6(b)).

本研究では単眼カメラを用いているため奥行き情報がなく、ユーザの視界もターゲットシーンも平面であると仮定した。その平面上、つまりレーザポインタを当てた位置の距離でもっとも良く輪郭が一致し、それよりも近い位置の物体においては輪郭の不一致が生じてしまう。Itouらは眼球追跡による距離測定結果に事前計算されたパラメータを適用する。本研究でも眼球追跡デバイスといった装置の追加を今後検討する。

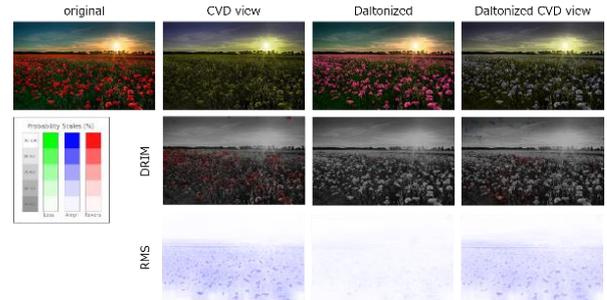


図 7 Daltonization 法における評価の結果

4.3. 評価方法の検討

補償画像生成における評価にはコントラスト比較による定量的評価と実際の色覚障がい者による定性的評価が挙げられる。本研究においては現時点で色覚障がい者の協力を得ておらず、また現時点で実際の視界についての評価には至っていない。

知覚エラー評価

Aydinら[10]のダイナミックレンジに依存しない画質メトリック (DRIM) とは、人間の視覚システムモデルを利用し、画像間における目に見える変化を可視化する評価方法である。知覚エラーの種類によって赤、緑、青の色分けで表される。Machado[11]らは DRIM に加え、各画素とその周辺画素間の二乗平均平方根 (RMS) 誤差をメトリックとして利用した。青色領域が濃いほどコントラストに変化が生じていることとなる。図 7 は Daltonization 法の結果画像に対する評価結果である。健常者にとっても色覚障がい者にとっても知覚エラーが起きづらいことを示しているが、OST-HMD 上での評価は今後の課題である。

色覚障がい者による評価

色覚障がい者の支援を目指す上で、実際の色覚障がい者を対象に評価を行う必要がある。Tanuwjdjajaらは大学内にポスターを設置することで色覚障がい者を 23 名募集し、事前調査や評価を行った。本研究においても山梨大学内にポスターを設置し実験者を募集することを検討する。

5. まとめと今後

色覚障がい者は色の弁別性を引き下げる。近年スマートフォンアプリケーションとして色覚補償が提供されているが視界が狭まるなど危険を伴う場面も多い。本研究では OST-HMD を利用した色覚補償を試みる。本稿では弁別性を改善する方法の一つである Daltonization 法を OST-HMD に拡張する方法を提案した。OST-HMD での実装において、現実物体との輪郭合わせや、色補正をモデル化した。今後はパラメータの調整や結果画像の評価を行う予定である。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 JP17H00738 の助成を受けたものである。

文 献

- [1] Wong, B.: "Points of view: Color blindness", nature methods, Volume 8, No.6, pp.441(June 2011)
- [2] Tanuwidjaja, E., Huynh, D., Koa, K., Nguyen, C., Shao, C., Torbett, P., Emmenegger, C. and Weibel, N.: "Chroma: a wearable augmented-reality solution for color blindness", Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, pp.799-810 (Sept.2014)
- [3] Woods, W.: "Modifying Images for Color Blind Viewers", Electrical Engineering Department Stanford University Stanford
- [4] Viénot, F., Brettel, H. and Mollon, J.D.: "Digital Video Colourmaps for Checking the Legibility of Displays by Dichromats", Color Research and Application, Volume 24, Issue 4, pp.243-252 (June 1999)
- [5] Itoh, Y. and Klinker, G.: "Interaction-free calibration for optical see-through head-mounted displays based on 3d eye localization", 2014 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI), pp.75-82 (Mar. 2014)
- [6] Gabbard, J.L., Swan, J.E., Zedlits, J. and Winchester, W.W.: "More than meets the eye: An engineering study to empirically examine the blending of real and virtual color spaces", 2010 IEEE Virtual Reality Conference (VR), pp.79-86 (Mar. 2010)
- [7] Sridharan, S.K., Hincapié-Ramos, J.D., Flatla, D.R. and Irani, P.: "Color correction for optical see-through displays using display color profiles", Proceedings of the 19th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, pp.231-240 (Oct. 2013)
- [8] Itoh, Y., Dzitsiuk, M., Amano, T. and Klinker, G.: "Semi-parametric color reproduction method for optical see-through head-mounted displays", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Volume 21, Issue 11, pp.1269-1278 (July 2015)
- [9] Shen, W., Mao, X., Hu, X. and Wong, T.: "Seamless visual sharing with color vision deficiencies", Proceedings of ACM SIGGRAPH 2016, Volume 35, Issue 4, No.70 (July 2016)
- [10] Aydin, T.O., Mantiuk, R., Myszkowski, K. and Seidel, H.-P.: "Dynamic range independent image quality assessment", Proceedings of ACM SIGGRAPH 2008, Volume 27, Issue 3, No.69 (Aug. 2008)
- [11] Machado, G.M. and Oliveira, M.M.: "Real-Time Temporal-Coherent Color Contrast Enhancement for Dichromats", Computer Graphics Forum, Volume 29, Issue 3, pp.933-942 (June 2010)