

カラーチャネル事前知識を用いた水中画像の色補正

井上, 光平
九州大学大学院芸術工学研究院

張, 子涵
九州大学大学院芸術工学研究院

原, 健二
九州大学大学院芸術工学研究院

<https://hdl.handle.net/2324/4783644>

出版情報 : 2021-12-15. 映像情報メディア学会
バージョン :
権利関係 :



カラーチャネル事前知識を用いた水中画像の色補正 Color Correction of Underwater Images Using Color Channel Prior

井上光平 張 子涵 原 健二

Kohei Inoue Zihan Zhang Kenji Hara

九州大学 大学院芸術工学研究院

Faculty of Design, Kyushu University

Abstract: We propose a prior that the minimum and maximum values of each of RGB color channels in a scene under a white light source are almost the same as the minimum and maximum values of possible pixel values, and use it for color correction of underwater images.

1 はじめに

この世界は多様な色にあふれており、白色光源下では多数の鮮やかな色が撮影される。本論文では、このことを事前知識として画像処理に応用する方法を提案する。さらに、シーンの平均色が灰色であるという灰色仮説に基づく γ 補正を組み合わせた色補正法を示し、Underwater Image Enhancement Benchmark (UIEB) [1] の水中画像を用いた実験でその効果を確認する。

2 カラーチャネル事前知識

白色光源下で撮影されたカラー画像が n 枚与えられるとし、その i 枚目の画像を $F_i = [\mathbf{f}_{ij}]$ ($i = 1, 2, \dots, n$) とする。ここで $\mathbf{f}_{ij}$ は画像 F_i の第 j 画素の RGB カラーベクトルであり、その RGB 値を r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} とし、各値のとり得る範囲を $[0, 1]$ とする。画素数は画像ごとに異なってもよく、画像 F_i の画素数を m_i とする。各画像の RGB 各チャネルの最小値、最大値をそれぞれ

$$\begin{aligned} r_i^{\min} &= \min_j \{r_{ij}\}, & r_i^{\max} &= \max_j \{r_{ij}\} \\ g_i^{\min} &= \min_j \{g_{ij}\}, & g_i^{\max} &= \max_j \{g_{ij}\} \\ b_i^{\min} &= \min_j \{b_{ij}\}, & b_i^{\max} &= \max_j \{b_{ij}\} \end{aligned} \quad (1)$$

とする。白色光源下で適度に広い領域を撮影した場合、1枚の画像でも多様な色が高いコントラストで記録される可能性が高い。このことを、(1) 式の記号を用いて表現すると、

$$\begin{aligned} r_i^{\min} &\approx g_i^{\min} \approx b_i^{\min} \approx 0 \\ r_i^{\max} &\approx g_i^{\max} \approx b_i^{\max} \approx 1 \end{aligned} \quad (2)$$

となる。多くの画像でこのような傾向がみられるという経験則をカラーチャネル事前知識 (Color Channel Prior: CCP) と呼ぶことにする。

任意のカラー画像を $F = [\mathbf{f}_j]$, $\mathbf{f}_j = [r_j, g_j, b_j]$ とし、この画像 F が CCP の条件 (2) を満たすようにするには、 $\mathbf{f}_j$ の各成分 $x_j \in \{r_j, g_j, b_j\}$ を

$$\hat{x}_j = \frac{x_j - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3)$$

と変換すればよい。

3 灰色仮説の併用

上記の (3) 式で変換した画像を $\hat{F} = [\hat{\mathbf{f}}_j]$, $\hat{\mathbf{f}}_j = [\hat{r}_j, \hat{g}_j, \hat{b}_j]$ とする。この画像 $\hat{F}$ は、一般には灰色仮説 $\bar{r} = \bar{g} = \bar{b}$ を満たさない。ここで $\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$ はそれぞれ画像 $\hat{F}$ の RGB 各チャネルの平均値である。そこで、画像 $\hat{F}$ に $f(\hat{x}_j) = \hat{x}_j^\gamma$ という γ 補正をかけて灰色仮説を満たすような画像を求める。すなわち、目標とする灰色を $v = \max\{\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}\}$ とすると、 $\hat{x}_j \in \{\hat{r}_j, \hat{g}_j, \hat{b}_j\}$ について、

$$\min_{\gamma} \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \hat{x}_j^\gamma - v \right)^2 \quad (4)$$

を解いて γ 補正の γ 値を求める。ここで m は画像 $\hat{F}$ の画素数である。(4) 式の目的関数を $E(\gamma)$ とおくと、

$$\frac{\partial E}{\partial \gamma} = 2 \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \hat{x}_j^\gamma - v \right) \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \hat{x}_j^\gamma \ln \hat{x}_j \right) \quad (5)$$

を用いた勾配法

$$\gamma^{(t+1)} = \gamma^{(t)} - \alpha \frac{\partial E}{\partial \gamma} \Big|_{\gamma=\gamma^{(t)}} \quad (6)$$

により、 $E(\gamma)$ が最小になる γ を求める。ここで t は (6) 式を反復計算するときの反復回数を表す変数である。

4 実験例

The VOC 2005 Database: Testset 2 [2] に含まれる 859 枚の画像を用いて CCP の条件 (2) がどの程度満たされているかを調べた。図 1 は RGB 各チャネルの最小値、最大値の存在確率をグラフにしたものである。グラフの縦軸は確率であり、横軸は画素値である。RGB 各チャネルの最小値のグラフ (a), (c), (e) では画素値 0 の位置にピークがあり、最大値のグラフ (b), (d), (f) では画素値 255 (画素値を 8 ビットで表したときの最大値) の位置にピークがあることから、(2) 式が成り立つことが示唆される。

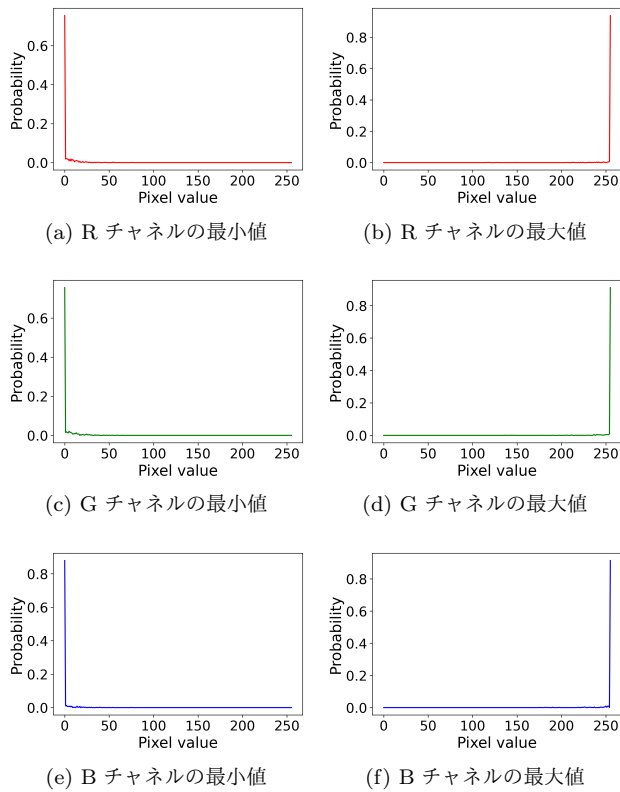


図 1: RGB チャンルの最小値、最大値の存在確率

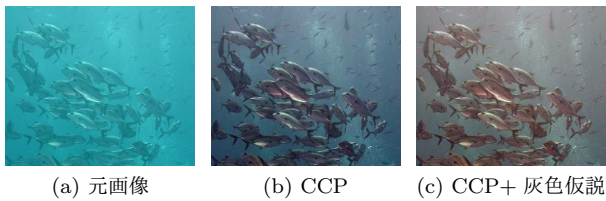


図 2: 水中画像の色補正

次に、Underwater Image Enhancement Benchmark (UIEB) [1] の水中画像に色補正をかけた例を図 2 に示す。図 2(a) は元画像であり、これを (3) 式で変換した結果が同図 (b) である。この画像は CCP 条件を満たしているが、やや青みが残っている。そこでこの画像に、灰色仮説に基づく γ 補正をかけたると、同図 (c) のように青みがとれる。(6) 式による γ 値の収束の様子を図 3 に示す。グラフの縦軸は γ 値であり、横軸は反復回数 t である。赤と緑の曲線はそれぞれ RG チャンルの γ 値の変化を表しており、この例では B チャンルの平均画素値が目標値に選ばれた。(6) 式の α は 1 とし、 γ の初期値は $\gamma^{(0)} = 1$ とした。各 γ 値は 10 回程度の反復でほぼ収束した。

図 2 の各画像の平均画素値を表 1 に示す。図 2(a) の元画像では R 成分が大きく減衰していることがわかる。図 2(b) の CCP による結果では各成分の差は小さくなっているが、灰色仮説を満たすには至っていない。図 2(c) の灰

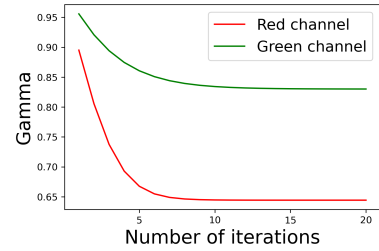


図 3: (6) 式による γ 値の変化

表 1: 各画像の平均画素値

	$\bar{r}$	$\bar{g}$	$\bar{b}$	灰色仮説
図 2(a)	45.9	162.8	171.4	×
図 2(b)	77.6	100.3	116.6	×
図 2(c)	116.6	116.6	116.6	○

色仮説を併用した結果では各成分の平均値が一致し、灰色仮説が満たされた。

5 おわりに

本論文では、白色光源下で撮影されたカラー画像の RGB 各チャンネルの最小値と最大値がそれぞれとり得る値の最小値と最大値に一致するというカラーチャンネル事前知識 (CCP) を提案し、水中画像の色補正に応用した。さらに、CCP と灰色仮説に基づく γ 補正を併用する方法を示し、灰色仮説を満たす水中画像が得られることを実験で確認した。CCP を他の色補正問題に応用することが今後の課題である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP21K11964 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] C. Li et al., "An Underwater Image Enhancement Benchmark Dataset and Beyond," in IEEE Transactions on Image Processing, vol. 29, pp. 4376-4389, 2020, doi: 10.1109/TIP.2019.2955241.
- [2] M. Everingham et al. The 2005 PASCAL Visual Object Classes Challenge. In Machine Learning Challenges. Evaluating Predictive Uncertainty, Visual Object Classification, and Recognising Textual Entailment., LNAI 3944, pages 117-176, Springer-Verlag, 2006.