

灰色仮説を考慮したコントラスト変換による水中画像 の強調

井上, 光平
九州大学大学院芸術工学研究院

平岡, 透
長崎県立大学情報システム学部

原, 健二
九州大学大学院芸術工学研究院

<https://hdl.handle.net/2324/4783568>

出版情報 : 2021-11-15. PCSJ/IMPS 実行委員会
バージョン :
権利関係 : 電子情報通信学会

灰色仮説を考慮したコントラスト変換による水中画像の強調

Underwater Image Enhancement by Contrast Transform Considering Gray World Assumption

井上光平[†] 平岡 透[‡] 原 健二[†]

Kohei Inoue[†] Toru Hiraoka[‡] Kenji Hara[†]

[†]九州大学 大学院芸術工学研究院

[‡]長崎県立大学 情報システム学部

[†]Faculty of Design, Kyushu University

[‡]Faculty of Information

Systems, University of Nagasaki

Abstract: 水中で撮影された画像は全体的に青みがかったことが多い。そのような色の偏りを補正するときの指針の一つに灰色仮説がある。この仮説は、シーンの平均色が灰色である、というものである。この仮説が成り立つように、与えられた画像の色を補正することによって、色の偏りを取り除くことができる。しかし、典型的な方法では色域問題が生じる場合がある。そこで本論文では、色域問題が生じないような色補正・強調法を提案し、水中画像を用いた実験でその有効性を確認する。

1 はじめに

水中で撮影された画像は青みがかって見える。これは水が長波長の赤い光を、短波長の光よりも多く吸収するためである。そのような色の偏りを補正する方法の一つに、シーンの平均色は灰色である、という灰色仮説がある。これは、空気中での撮影を想定した仮説である。したがって、水中画像ではこの仮説は成り立たないが、仮説が成り立つように画像を補正すれば、色の偏りを取り除くことができると考えられる。そのため、灰色仮説は水中画像の強調の研究において、比較手法の一つとしてよく利用される [1]。しかし、この方法は画像によっては、補正後の色が色空間からはみ出す色域問題を生じる場合がある。そこで本論文では、そのような色域問題が生じない色補正法を提案する。Underwater Image Enhancement Benchmark (UIEB) [2] の水中画像を用いた実験で、灰色仮説を満たし、かつコントラストの高い画像が得られることを示す。

2 提案手法

カラー画像を $F = [f_{ij}]$ と表す。ここで f_{ij} は F の第 i 行、第 j 列の画素 (i, j) の RGB 値 r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} を要素とするベクトルである。 F の行数、列数をそれぞれ m, n とする。RGB 値それぞれの平均値を $\bar{r} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r_{ij}$, $\bar{g} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_{ij}$, $\bar{b} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij}$ とすると、灰色仮説は $\bar{r} = \bar{g} = \bar{b}$ と表される。灰色仮説が成り立たない画像を成り立つようにする方法の一つは、例えば R 値を、

$$r'_{ij} = \frac{\max\{\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}\}}{\bar{r}} r_{ij} \quad (1)$$

と変換するものである (GB 値についても同様にする)。そうすると、 $\bar{r}' = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r'_{ij} = \max\{\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}\}$ となることから、変換後の画像 $F' = [f'_{ij}]$, $f'_{ij} = [r'_{ij}, g'_{ij}, b'_{ij}]$ は灰色仮説 $\bar{r}' = \bar{g}' = \bar{b}'$ を満たす。しかし実際には、画素



図 1: 水中画像の例 [2]

値のとり得る範囲は有限であり、変換後の値がその範囲に収まらない場合、灰色仮説は厳密には成り立たない。

水中画像は、図 1 に示すように、全体的に青みがかったことが多い。このような画像では灰色仮説は成り立たない。そこで、灰色仮説が成り立つように画像を補正、強調することを考える。まず、式 (1) 内の分数の分子を $\bar{x} = \max\{\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}\}$ とおき、それに対応する色成分を X 成分とする。残りの二つの色成分をそれぞれ Y, Z 成分とし、各成分の最小値、最大値を $y_{\min} = \min\{y_{ij}\}$, $y_{\max} = \max\{y_{ij}\}$ および $z_{\min} = \min\{z_{ij}\}$, $z_{\max} = \max\{z_{ij}\}$ とする。 Y 成分の値 y_{ij} を、次式のように線形変換し、その平均値を \bar{x} に一致させる。

$$y'_{ij} = \frac{y'_{\max} - y'_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} (y_{ij} - y_{\min}) + y'_{\min} \quad (2)$$

ここで y'_{\min}, y'_{\max} は変換後の Y 成分の最小値、最大値を表し、次のように設定する。 Y 成分の平均値 \bar{y} は \bar{x} 以下であるから、 $y'_{ij} \geq y_{ij}$ となるように y'_{\min}, y'_{\max} を設定する必要がある。前者は $y'_{\min} = y_{\min}$ と固定する。後者は、 y'_{ij} の平均値 \bar{y}' が \bar{x} に一致するように定める。 \bar{y}' は次式のように表せる。

$$\begin{aligned} \bar{y}' &= \frac{y'_{\max} - y'_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} (\bar{y} - y_{\min}) + y'_{\min} \\ &= \alpha y'_{\max} + (1 - \alpha) y'_{\min} \end{aligned} \quad (3)$$

ここで $\alpha = (\bar{y} - y_{\min}) / (y_{\max} - y_{\min})$ である。 $\bar{y}' = \bar{x}$ よ

表 1: 各画像の平均画素値

	\bar{r}	\bar{g}	\bar{b}	灰色仮説
図 1	45.9	162.8	171.4	×
図 2(a)	171.4	171.4	171.4	○
図 2(b)	169.3	171.4	171.4	×
図 2(c)	171.4	171.4	171.4	○
図 2(d)	116.6	116.6	116.6	○



(a) 式 (1) の結果

(b) クリッピング



(c) 提案手法 (式 (4) なし)

(d) 提案手法 (式 (4) あり)

図 2: 灰色仮説に基づく処理結果

り、 $y'_{\max} = [\bar{x} - (1 - \alpha)y_{\min}]/\alpha$ を得る。画素値のとり得る範囲を $[0, L]$ とすると、 $y'_{\max} > L$ となる可能性がある。その場合、 $y'_{\max} = L$ と固定し、 $\bar{y}' = \bar{x}$ となるように、 $y'_{\min} = (\bar{x} - \alpha y'_{\max})/(1 - \alpha)$ とする。以上のようにして求めた y'_{\min} と y'_{\max} を式 (2) に代入し、 y_{ij} を y'_{ij} に変換する。 Z 成分についても同様の変換を施し、 z_{ij} の変換後の値 z'_{ij} を得る。このようにして求めた画素値の最小値、最大値をそれぞれ $v_{\min} = \min\{x_{\min}, y'_{\min} z'_{\min}\}$ 、 $v_{\max} = \max\{x_{\max}, y'_{\max} z'_{\max}\}$ とすると、画素値の範囲は $[v_{\min}, v_{\max}] \subset [0, L]$ に制限されている。これを、 $v \in [v_{\min}, v_{\max}]$ から v' への変換

$$v' = L \frac{v - v_{\min}}{v_{\max} - v_{\min}} \quad (4)$$

によって $[0, L]$ に引き伸ばす。

3 実験例

図 1 の水中画像に灰色仮説に基づく方法を適用した結果を図 2 に示す。図 2(a) は式 (1) による結果であり、画素値が $L = 2^8 - 1 = 255$ を超えた画素で不自然な色が生じている。この不自然さを緩和するために、255 を超える値を強制的に 255 にした結果が図 2(b) である。図 2(a) のような不自然さは見られないが、その代わりに白飛びが生じている。図 2(c), (d) はそれぞれ提案手法の式 (2) および式 (4) による結果である。図 2(c) はコントラストが低いが、同図 (d) では改善している。

各画像の平均画素値を表 1 に示し、灰色仮説の成立性を確認する。図 1 の元画像は \bar{r} , \bar{g} , \bar{b} の値がすべて異なり、

灰色仮説を満たしていない。図 2(a) については、計算結果を画像ファイルに書き出す直前の平均画素値を示している。この段階では灰色仮説を満たしている。図 2(b) では、クリッピングの結果、 \bar{r} の値がわずかに減少し、灰色仮説は厳密には成り立たない。提案手法による図 2(c) では灰色仮説が成り立っている。図 2(d) ではコントラストを強調した結果、平均画素値が減少したが、灰色仮説は成り立っている。図 2(b), (c), (d) の Michelson コントラストはそれぞれ 0.55, 0.35, 0.77 であり、提案手法 (d) によってコントラストが改善した。

4 おわりに

本論文では、灰色仮説が成り立つように色を補正する典型的な方法では色域問題が生じる場合があることを例示し、色域問題が生じない方法を提案した。提案手法を水中画像に適用し、灰色仮説を満たしながらコントラストを改善できることを実験で確認した。さらに彩度を強調して、水中画像の鮮やかな色を再現することが今後の課題である。

謝辞 本研究のきっかけを頂いた九州職業能力開発大学 岡田正之教授に感謝致します。本研究は JSPS 科研費 JP19K12664, JP21K11964 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Song, H.; Wang, R. Underwater Image Enhancement Based on Multi-Scale Fusion and Global Stretching of Dual-Model. *Mathematics* 2021, 9, 595. <https://doi.org/10.3390/math9060595>
- [2] C. Li et al., "An Underwater Image Enhancement Benchmark Dataset and Beyond," in *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 29, pp. 4376-4389, 2020. <https://doi.org/10.1109/TIP.2019.2955241>