

データベース参照によるカラー画像の色収差補正処理

日大生産工 (院) ○中川 祐喜
日大生産工 目黒 光彦

1 まえがき

色収差は、様々な波長の光が同一のレンズを通過するとき、波長の違いにより異なる屈折率でレンズを通過するため、同じ場所に結像しないことによって生じる。このため、色収差はエッジの周辺で目立ちやすい。また、レンズシステムの違いによっても、異なる色収差を生じることが知られている。代表的な色収差にパープルフリッジがある。これは一部のエッジの周辺が紫色になるもので、本来の色とは異なっているため、色収差の程度によっては、かなり目立つこととなる。そのため、色収差の補正処理が重要である。

色収差を補正する方法として、イメージセンサの前面に光学的ローパスフィルタを設置する手法が採用される。しかしながら、解像度の低下を生じる要因ともなる。その他の光学的補正による手法もある。これは、異なる屈折率の複数枚のレンズを組み合わせて、複数の異なる波長の光を同じ平面で結像させる手法である。しかしながら、完全に全ての波長の光に対して色収差をなくすことは困難である。また、このような手法はレンズが重くなり、かつ、高価になる欠点もある。そのため、画像処理による後処理での色収差補正も重要である。

画像処理による色収差補正手法にはグローバル手法とローカル手法がある。グローバル手法では、事前に固定パターンの模様を撮影し、その画像から色収差の程度を計算し補正する手法である¹⁾。しかしながら、このような手法では、特定のレンズシステムにしか対応できず、局所的な色収差を補正することも困難である。

ローカルな手法の一つとして、Changらの手法²⁾が提案されている。これは、緑成分の輝度値変化に沿うように、赤と青の輝度値を補正した画像と、原画像を高域強調した画像を、コントラストを元に求めた重みで足し合わせて色収差を補正するアルゴリズムである。この手法では、灰色の色収差補正画像と原画像を高域強調した画像を足し合わせるため、色収差補正画

像の重みが大きい場所では、彩度が落ちやすくくすみがちである。また、すべての画素に対して色収差補正処理や重みの計算を行うため、計算負荷が大きくなっている。

本稿では、色収差が生じていると思われるエッジ部分の最大二方向に対して補正処理を行うChungらの手法³⁾を改良し、エッジに対して三方向で前処理を行うことで、色収差補正の精度を向上させた。さらに、エッジを含んだカラー画像データベースを用意し、処理対象のカラー画像から、色収差の生じている領域と類似度の高い、色収差の生じていない画像ブロックをデータベースから検索し、埋め込むことで、色収差の補正を実現させる手法を提案する。様々な種類の色収差を発生させた複数の画像を用意することで、適切な補正がなされたことを明らかにする。

2 既存の手法

原理的に色収差はすべてのエッジで発生し、平坦部では色収差が生じていないとみなせる。そのため、エッジ領域を求め、その部分にのみ処理を行う。これにより、色収差が生じていない場所で間違った画素値に補正してしまうことを避け、色収差を補正することができる。また、色収差が生じていると思われる箇所にのみ処理を行うので、計算負荷が小さくなる。このような手法に、Chungらの手法³⁾がある。以下にそのアルゴリズムを示す。

まず、ソーベルフィルタを適用し、各色の勾配値を求める。この際、横方向と縦方向それぞれに同様に求める。横方向の勾配値は以下のように求められる。

$$E(i,j)=C(i-1,j-1)+2C(i,j-1)+C(i+1,j-1) \\ -C(i-1,j+1)-2C(i,j+1)-C(i+1,j+1) \quad (1)$$

ここで、 $E(i,j)$ は画素 (i,j) での勾配値を表し、 C は R,G,B 各色の輝度値を表す。以降、水平方

Removal of Chromatic Aberration for Degraded Color Image
by Referring to Image Block Database
Yuuki Nakagawa and Mitsuhiro Meguro

向と垂直方向で別々に同様の処理を行うこととする。そのため、ここでは水平方向のみの計算手順を記す。

まず、エッジを求めるため、(1)式で求めた G の勾配値の絶対値が閾値以上になるまでラスタスキャンを行い、閾値以上になった点を p と置く。式に表すと以下になる。

$$\begin{aligned} j &\leftarrow j+1 \quad \text{while } |E_G(j)| < T \\ \text{set } p &= j \quad \text{if } |E_G(j)| \geq T \end{aligned} \quad (2)$$

E_G は G の勾配値を表し、 T は閾値を表す。垂直方向の処理を行う時は、縦方向の G の勾配値を使う。(2)式よりエッジだと思われる画素 p が求められる。

エッジの幅を求めるため、画素 p から左右に探索していく。画素 p における G がエッジということは、画素 p 周辺の R, G, B いずれかの勾配値が閾値 T 以上の画素もエッジであると考えられる。そのため、 H を以下のように定義すると、 H が閾値 T 以上の場合、エッジ領域であると推定される。

$$\begin{aligned} H(x) &= \max\{\text{sgn}[E_G(p)] \cdot E_R(x), \\ &\quad \text{sgn}[E_G(p)] \cdot E_G(x), \text{sgn}[E_G(p)] \cdot E_B(x)\} \end{aligned} \quad (3)$$

x は画素 p の周辺画素を表す。符号関数 sgn により、正の勾配と負の勾配を区別する。 $H(x) \geq T$ の場合、少なくとも一色は画素 p の G と同じ符号で G の勾配値以上の勾配値を持つとわかる。そのため、 $H(x) \geq T$ を満たさなくなるまで左右に探索し、 $H(x) \geq T$ を満たした最後の画素を、画素 p の左右でそれぞれ $l(p), r(p)$ とおく。これにより、画素 p のあるエッジ領域は $l(p)$ から $r(p)$ の範囲であるとわかる。次のエッジ領域の探索は $r(p)+1$ の画素からラスタスキャンを始めていく。

以上より求めた領域に対し色収差補正を行っていく。色収差補正の手法に R, B の画素値を G の画素値と同じにするという手法を行うと、色収差はなくなるが補正した場所の色味が無くなり、灰色になってしまい、本来の色とはかけ離れた色になってしまう。エッジ領域での R, B と G との大きな輝度値差が色収差の生じる原因となっている。そのことより、エッジ領域の R, B と G との輝度値差を適切に

抑えることで、色収差を補正していく。 R, B と G との輝度値差の値は、画素 $l(p)$ と画素 $r(p)$ における R, B と G との輝度値差の範囲内とした。 R, B と G との輝度値差の上限を画素 $l(p)$ と画素 $r(p)$ における最大差とすることで、エッジ領域周辺の色と大きく変わることなく輝度値差が小さくなり、色収差の度合いが小さくなる。また、 R, B と G との輝度値差の下限を画素 $l(p)$ と画素 $r(p)$ における最小差とすることで、補正処理後が灰色に近くなってしまうことを避けられる。この処理を R, B 別々に行う。これにより、本来の色とかけ離れてしまうことを防ぎつつ色収差を補正することができる。最終的な画素値は以下ようになる。

$$R_{out}(j) = \begin{cases} \min\{D_R[l(p)], D_R[r(p)]\} + G(j), & \text{if } D_R(j) < \min\{D_R[l(p)], D_R[r(p)]\} \\ \max\{D_R[l(p)], D_R[r(p)]\} + G(j), & \text{if } D_R(j) > \max\{D_R[l(p)], D_R[r(p)]\} \\ R(j) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$D_R(\cdot)$ は $R(\cdot) - G(\cdot)$ で求められる G との輝度値差を表す。式(4)によりエッジ領域に一定量の R, B と G との輝度値差を残し、また大きすぎる輝度値差にならないようにしている。 B_{out} も同様にして求める。 G は色収差が生じていないと仮定しているので、特に処理は行わない。この後、縦方向の勾配値を用いて同様に垂直方向にも処理を行う。その結果を出力画像とする。

3 提案手法

まず、Chung らの手法³⁾を水平垂直の二方向から 0,45,90,135 度の四方向に改良した手法で前処理を行う。その結果に対し、色収差の生じている範囲内で画像データベースと比較する。画像データベースとの比較はブロックで行い、最も類似度の高いブロックの中心値に対応する、色収差の生じていない画像の画素値に置き換える。

データベースには、パラメータを変えて種々の色収差を発生させた画像を用意する。それらに対してソーベルフィルタを適用し、その横方向もしくは縦方向の傾きが閾値以上

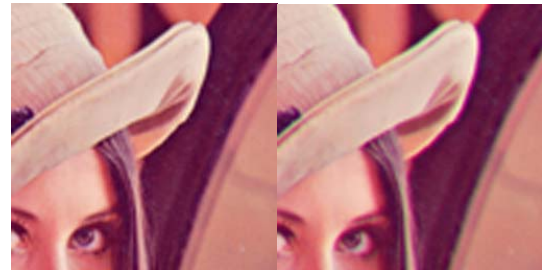
の画素周辺の画素値を保存した。そして、対応する色収差が生じていない画像の画素値を関連付けた。

4 適用例

まず、人工的に色収差を発生させるため、赤、青を縦横 1 画素拡張し、それに対し赤は $\sigma=0.5$ 青は $\sigma=1$ のガウシアンフィルタをかける。その後、右端と下端を除いたものを使い、色収差を発生させた。原画像と、色収差を発生させた画像を図 1 に示す。

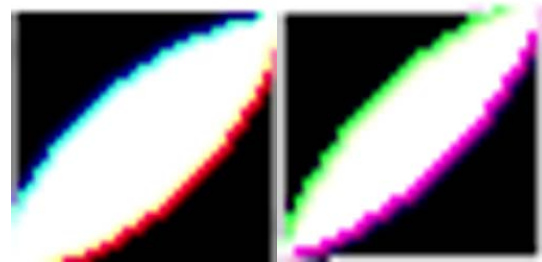
データベースを作成するにあたり、エッジ検出のための閾値は 10 とし、保存するブロックは対象画素の周辺 7×7 画素とした。パラメータは画像拡張と取り除く位置を変えた。図 2 にパラメータの違いにより発生する色収差の違いの例を示す。白い円の左上と右下に生じた色収差を切り取った。

色収差を発生させた画像に従来手法を適用させた結果を図 3 に示す。エッジ検出のための閾値はそれぞれ 30、10 とした。図 3 より閾値を低くすることでより色収差をより低減できているのがわかる。しかし、画像によっては明らかにおかしい色に補正してしまっている領域が増えてしまう。色収差を発生させた画像に提案手法のプレ処理を適用させた結果が図 4 である。エッジ検出のための閾値 T はそれぞれ 30、10 とした。図 4 より、閾値を小さくしてもおかしい色に補正してしまっている領域が少なく、程度も軽くなっているのが分かる。各閾値での前処理画像に提案手法を適用させた結果を図 5 に示す。色収差の生じている領域を求めるための閾値を 30 とした。また、補正能力のみを測るため原画像と色収差画像の差の絶対値が 10 以上の画素を色収差が生じている領域とし補正処理を行った。色収差領域を図 6 に示す。図 6 より、差分が 0 ではなくある程度大きな値が必要なことがわかる。図 6(b)の色収差領域に提案手法を適用させた結果を図 7 に示す。



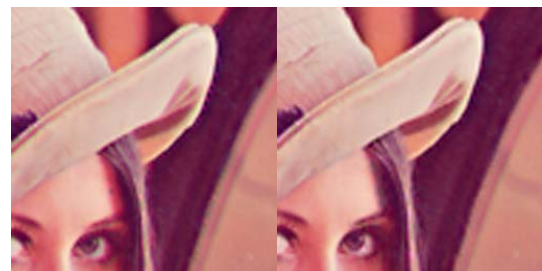
(a)原画像 (b)色収差画像

図 1 原画像と色収差画像



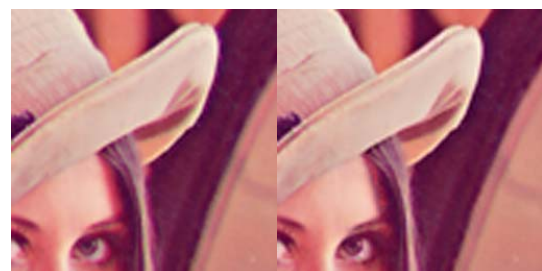
(a)パラメータ 1 (b)パラメータ 2

図 2 発生する色収差の違い



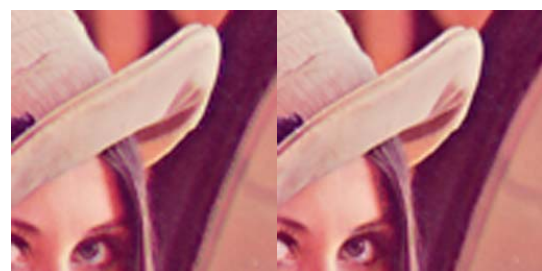
(a)閾値 30 (b)閾値 10

図 3 従来手法による結果



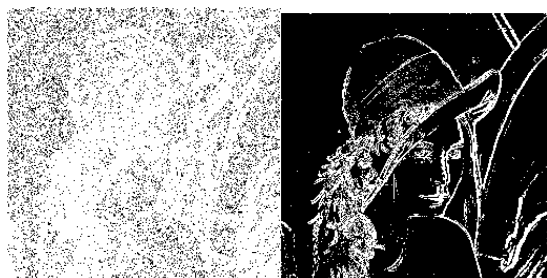
(a)閾値 30 (b)閾値 10

図 4 前処理による結果

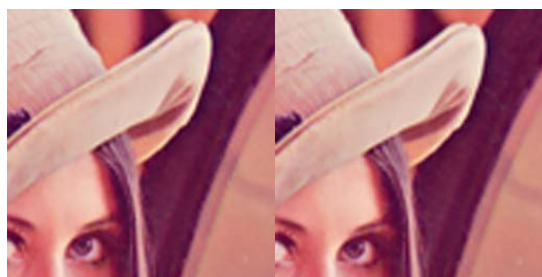


(a)図 4 の(a)に適用 (b) 図 4 の(b)に適用

図 5 提案手法による結果



(a)差分値 0 以外 (b)差分値 10 以上
図 6 差分値切替による色収差領域



(a) 図 4 の(a)に適用 (b) 図 4 の(b)に適用
図 7 色収差領域が既知の補正処理結果

定量的評価には式(5)で求められる MSE を用いた。 M, N は画像の縦横の各画素数を示し、 X は処理結果画像、 Y は原画像である。また、色収差補正能力を正確に評価するため、原画像と色収差画像との各 RGB 値の差の絶対値が 10 より大きい画素を色収差補正が必要な領域とし MSE を求めた。さらに、10 以下の画素を色収差補正の必要のない領域とし MSE を求め、誤補正值とする。表 1 に補正処理結果の MSE を示す。表 1 より、前処理では既存手法と比べ、誤補正を抑えつつ色収差補正が出来ているのがわかる。また、提案手法では、より色収差が補正できていることがわかる。表 2 に色収差領域が既知の提案手法の結果を示す。色収差領域が未知の場合を GT なし、既知の場合を GT ありとする。表 2 より、色収差領域が既知の場合、より色収差を補正できていることがわかる。

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X(i, j) - Y(i, j))^2, \quad (5)$$

5 まとめ

本報告では、最大二方向の色収差補正を行っていた Chung らの手法³⁾を、三方向で修正する

表 1 補正後の処理結果(MSE)

		R		B	
		要補正	誤補正	要補正	誤補正
色収差画像		734.39	11.41	579.24	12.92
T=30	従来 ³⁾	451.03	11.93	450.04	13.27
	提案 pre	453.02	11.49	463.46	13.02
	提案	347.67	10.50	306.58	12.05
T=10	従来 ³⁾	275.79	19.54	291.20	14.14
	提案 pre	241.22	13.74	278.96	12.92
	提案	184.22	12.16	191.07	11.85

表 2 色収差領域が既知の補正処理結果(MSE)

		R		B	
		要補正	誤補正	要補正	誤補正
T=30	GT なし	347.67	10.50	306.58	12.05
	GT あり	167.08	10.92	92.77	12.21
T=10	GT なし	184.22	12.16	191.07	11.85
	GT あり	130.70	12.82	92.72	12.27

よう改良した前処理を行った後、用意した様々な色収差画像を有する画像データベースと比較することで、最も類似している色収差パターンの理想的な画素値に置き換える手法を提案した。適用例を通じて、提案手法が既存手法より良い補正結果となることを確認した。

「参考文献」

- 1) John Mallon and Paul F Whelan, "Calibration and Removal of Lateral Chromatic Aberration in Images", *Pattern Recognition Letters*, VOL.28, NO.1, pp125-135, 2007.
- 2) Joonyoung Chang, Hee Kang, and Moon Gi Kang, "Correction of Axial and Lateral Chromatic Aberration With False Color Filtering", *IEEE Transactions on Image Processing*, VOL.22, NO.3, pp.1186-1198, 2013.
- 3) S.-W. Chung, B.-K. Kim, and W.-J. Song, "Removing chromatic aberration by digital image processing", *Optical Engineering*, VOL.49, NO.6, pp.0670021-06700210, 2010.