

一般論文

統計的な画質評価に基づく Retinex を用いた写真画像の画質改善

竹松祐紀^{*} , 中口俊哉^{*} , 津村徳道^{*} , 三宅洋一^{*, **}

(*) 千葉大学大学院自然科学研究科

(**) 千葉大学フロンティアメディカル工学研究開発センター

住所 : (*, **) 〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

Paper

“Improvement of Image Quality using Retinex Theory Based on the Statistical Image Evaluation”

Yuki TAKEMATSU^{*} , Toshiya NAKAGUCHI^{*} ,

Norimichi TSUMURA^{*} and Yoichi MIYAKE^{*, **}

(*) Graduate School, Science and Technology, Chiba University

(**) Research Center for Frontier Medical Engineering, Chiba University

Address : (*, **) 1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi, 263-8522, Chiba, Japan

要旨

視覚の色恒常性と空間特性を考慮した Retinex 理論はカラー画像の画質改善に有効であり多くのアルゴリズムが提案されている．しかしながら，これらの手法は画質劣化の少ない画像領域に適用した場合，逆に画質低下を生じる欠点があった．そこで本論文では，統計的画質評価法を適用し，その評価値を基に Retinex の係数を決定し画質改善を行う新しい手法を提案する．この結果，画質が劣化した画像領域に対して集中的かつ効果的な処理を行うことが可能となり，従来の Retinex 処理に比べ大幅に画質の改善を行うことができた．

キーワード：色恒常性， Retinex， 統計的画質評価法， 画質改善

Abstract

SSR (Single Scale Retinex model) and MSR (Multi Scale Retinex model) based on the Retinex theory for lightness and color constancy of human visual characteristics have been widely used to correction of image with color and tone failures. These methods, however, entire region of image is

transformed to same direction of color and tone then the regions with good image quality is sometimes changed to unwanted quality. In this paper, we propose a new algorithm of Retinex model to improve the image quality by introduction of statistical image evaluation method. It is shown that the method is significant to correct the color and tone of image by comparison with SSR and MSR methods.

Keywords: correction of image, SSR, MSR, Retinex, image quality, statistical image evaluation

1. はじめに

露光の過不足，ぶれやぼけ，ノイズ，照明光源の不適切さなどにより劣化した写真画像を補正するため多くの手法が提案されてきた．この中で，色や階調再現の補正に関しては古くからガンマ補正，マスキング，ヒストグラム変換，色域変換など多くの手法が用いられてきた．特に多様な画像システムの開発により異なる画像デバイス間での色変換，いわゆるカラーマネジメントや多様な視環境下での色の見えに関しても多くの研究が行われている．しかしながら，これまで行われてきたこれらの色補正のアルゴリズムでは空間的な画素情報を用いるのではなく単一画素での演算によるものでありその限界が指摘されてきた．

1971年にLandらは人間の視覚特性である色恒常性をモデル化したRetinex理論¹⁾を提案した．Retinex理論によると視覚は各物体の反射率の比

によって色を知覚する．従って，人間は異なる照明光源下においてもある色を一定色として認識することができる．すなわち，視覚は隣接した色を参照しつつ色の識別を行っている．例えば，図 1 (a) の林檎部分に青色フィルタを挿入した結果を図 1(b)に示す．一方，図 1 (c)は同一のフィルタを画面全体に挿入したものである．図から明らかなように図 1 (b)では林檎は赤色と認識できないが，画面全体に同一フィルタを挿入した画像(c)では林檎は赤と認識できる．このような色恒常特性を用いた色補正が D. J. Jobson によって提案された．この手法は Center/Surround Retinex^{2), 3)}と名づけられ画質改善に非常に有効な手法として知られている．Center/Surround Retinex では，SSR(Single Scale Retinex)とMSR(Multi Scale Retinex)と呼ばれるモデルがあり，MSR が一般に広く用いられている．SSR，MSR モデルは簡単なモデル式により定義されて

Fig.1 挿入

おり，これらの処理を画像に適用した場合，階調再現の改善つまり画像内のコントラストの強調，また明度の上昇が顕著に見られる．しかしこれらの手法では，画像によっては非常に良い結果が得られる反面，不自然な色再現がなされてしまう場合も多く，幅広い種類の画像に適用するためには多くの問題点が指摘されている．そこでこれらの問題点を改善するために MSR モデルの改良が進められてきた^{4), 5), 6)}．我々も前報⁴⁾において MSR におけるフィルタへの重みを変えることにより劣化画像のトーン補正や陰影の除去，コントラスト強調などの画質改善が有効であることを報告した．しかし，これらの手法では画質改善の定義が不明確なため，処理により逆に画質が劣化するなどの問題があった．

そこで本研究では，画質の統計的評価法を明確にし，その評価に基づいた色補正を行う手法を提案する．すなわち，入力画像の画質を処理前に定

量化し，その評価値に応じ MSR 処理アルゴリズムを適用する．これにより，画質の劣化した領域に対して集中的かつ効率的に画質改善を行うことが可能となった．

統計的な画質評価法に関してこれまで数多くの研究がなされているが，本研究では Jobson によって提案されたコントラストと明度に着目した統計的画質評価^{7),8)}を使用し，コントラスト，明度に関する係数を用いて画質を定義し，それらの空間的画質情報と MSR モデルのアルゴリズムを組み合わせた手法で画質改善を行った．

2 .SSR (Single-Scale Retinex)による画質改善

Jobson らは Retinex 理論を応用し Center/Surround Retinex を提案した^{2),3)}．このモデルを用いた画質改善手法は，ある画素 (x,y) の画素値 $p_i(x,y)$ ($i=R,G,B$) と周辺画素平均値 $\bar{p}_i(x,y)$ の比率は照明に影響されない値であると仮定し，こ

の比率から画素値を変換し Retinex 出力値を得る .
 この処理は各画素に対して円形の非線形フィルタを掛けることと同等である . このモデルでは 1 つの画素に対して , 1 つのフィルタを用いるため SSR(Single-Scale Retinex)と呼ばれている . すなわち , 図 2 に示すように中心画素 $p(x, y)$ に対し Fig.2 挿入
 てその周辺画素を (1) 式で示されるようにガウスフィルタ $F(x, y)$ で近似して (2) 式のように新たな画素を求める .

$$F(x, y) = Ke^{-(x^2+y^2)/c^2} \quad (1)$$

ここで K は次式を満たすように定める .

$$\iint F(x, y) dx dy = 1$$

このフィルタを用いて次のように SSR 処理が与えられる .

$$S_i(x, y) = \log \frac{p_i(x, y)}{F(x, y) * p_i(x, y)} \quad (2)$$

ここで $S_i(x, y)$ は SSR 処理後の画素値 , $p_i(x, y)$ は

入力画像 (8bit/channel, RGB, 72dpi) の画素値であり、 $(*)$ はコンボリューション積分を表している。

(1) 式におけるガウスフィルタの面積は定数 c の大きさに影響される。本研究では説明を容易にするためフィルタの大きさを論じる際に、円形領域の半径 $h(\text{pixel})$ を尺度として用いる。半径 h を変化させることにより、周辺情報量が変化するため SSR による処理効果が異なった画像が得られる。図 3 は、(a) の画像を異なるフィルタサイズ (b) $h=10$, (c) $h=30$, (d) $h=50$ で処理した SSR 出力画像の例である。

Fig.3 挿入

3 . MSR (Multi-Scale Retinex) による画質改善

図 3 に示したように SSR 処理ではフィルタ半径 h のサイズにより、写真画像の補正効果が異なる。従って、エッジ強調と良好な色再現を同時に実現するために 1 つの画素に対して大きさの異なる N

個のフィルターを使い，それぞれのフィルタにより得られた値を加算し平均化することで最終出力値を得ることができる．このような処理を **MSR(Multi-Scale Retinex)** という．いま，

h_n ：第 n 番目 SSR のフィルタサイズ，

N ：フィルタの個数，

$S_{n,i}(x,y)$ ：SSR 出力値

$w_{n,i}$ ：フィルタの重み

とすれば MSR 出力値 $m_i(x,y)$ は次のように表すことができる．

$$m_i(x,y) = \sum_{n=1}^N w_{n,i} S_{n,i}(x,y) \quad (3)$$

ここで $w_{n,i} = 1/N$ と定義する． $N=3$ とし， $h_1=10$, $h_2=30$, $h_3=50$ の 3 つのフィルタを用いてそれぞれ図 4 (a),(c) の画像を MSR 処理した結果を (b), (d) に示す．図から明らかなようにこの例では Fig.4 挿入 Retinex 処理によって逆に画質が劣化していることがわかる．その原因として画質の改善目標が未

定義であるため過剰な補正が行われたものと考えることができる．そこで画質改善の目標を定める必要がある．

4．統計的画質評価法を考慮した Retinex モデル

画質改善の目標を明確にすることにより，先ほど述べた MSR 手法の問題を解決することが可能となる．そこで，Jobson らによって提案された統計的画質評価法⁷⁾を応用し入力画像の画質を定量化し，そこで得られた画質評価値を MSR 処理アルゴリズムの係数として適用した．この手法の導入により入力画像の空間情報と統計的画質評価値を結び付け，従来の MSR では改善できなかった画像に対しても有効な画質改善を行うことができると考えられる．

画像評価のためのパラメータは古くからきわめて多く提案されているがそれらの多くは画面中に各種評価用チャートを記録することにより

行われている．しかしながら一般の画像ではそのようなチャートを記録してはいない．そこで，チャートを用いずに画像の統計的な特性から計算される明度とコントラストを用いて評価を行った．本手法では，入力カラー画像 R, G, B を (4) 式で示される YIQ 変換式を用いて明度画像 $Y(x, y)$ に変換し，その画像に対して 50×50 ピクセル領域ごとに処理を行った．

$$Y(x, y) = 0.299R(x, y) + 0.587G(x, y) + 0.114B(x, y) \quad (4)$$

次に各領域内における画素の平均値 I ，標準偏差 σ および平均値と標準偏差の積を計算する．平均値はその領域内の明度，標準偏差はコントラストを表している．計算方法として図 5 に示すように一画素ごとに領域を移動し，その領域内部の中心画素において領域内の画素平均値 $I(x, y)$ ，標準偏差 $\sigma(x, y)$ ，及びそれぞれの積 $I(x, y) \sigma(x, y)$ を画像の全領域

Fig.5 挿入

にわたり計算する．これらの値を用いて画質は図 5 のように評価できる．そこで，これら 3 つの評価値を MSR アルゴリズムに適用した．

すなわち，コントラストが不十分である領域に対してコントラストを強調するために MSR に重み付け加算を適用する．つまりコントラストが低い領域に対しては半径の小さいフィルタに重みを付加し，コントラストが十分に高い領域に対しては半径の大きいフィルタの重みを強くする．文献 7 によると 値が 37 を境界にしてコントラストが不十分な領域と十分な領域とに分割することができる (図 6) ．そこで $0 \leq \sigma \leq 37$ に対してコントラストを強調する処理を行い， $\sigma > 37$ の領域に関しては良好な色再現を保つよう係数を変化させる．これを数式で表すと式 (5) のように表すことができる．(5) 式において， $m'_i(x,y)$ は出力結果， $s_f(x,y)$ ($f=10,30,50$) をサイズ f のフィルタで処理した SSR 出力とする．

Fig.6 挿入

$$m'_i(x, y) = w_1 s_{10} + w_2 s_{30} + w_3 s_{50}$$

$$w_1 = w_2 = \frac{1 - a(x, y)}{2}, w_3 = a(x, y) \quad (5)$$

$$a(x, y) = \begin{cases} \sigma(x, y) / 37, & 0 \leq \sigma(x, y) \leq 37 \\ 1, & 37 < \sigma(x, y) \end{cases}$$

ここでフィルタサイズの決定については、まず、フィルタサイズを $f > 50$ にして様々な画像に適用したところ有効な変化が得られず、またフィルタ数 $N > 3$ としても同様に大きな変化が得られなかった。よって本研究では $N=3$, $f=10, 30, 50$ のフィルタを用いることとする。またここで w_n に関しては様々なモデル式を適用して経験的に最も良い結果が得られるモデルを与えた。

Retinex 理論の基本原理は、人間の色恒常性メカニズムを用いることにより昼光下での色再現に近づけることである。そこで、入力画像を見た時に昼光下の色再現が既に行われているような場合には Retinex 処理を施さなくても十分な画質が得られていると考えることができる。そこで本

研究では文献 7 の結果を参考に $I > 200$ の領域に対しては補正処理を行う必要がないと考えた。一方， $0 \leq I \leq 200$ までの値をとる時，明度が低い場合には MSR 処理結果を強く，また明度が高い部分では入力画像の割合を強くし，新たな出力 m'' を以下式 (6) のように定義した。ここで， $O_i(x, y)$ を入力画素値， b を明度による重み係数とする。

$$m''_i(x, y) = O_i(x, y) \times b(x, y) + m'_i(x, y) \times (1 - b(x, y))$$

$$b(x, y) = \begin{cases} I(x, y) / 200 & , \quad 0 \leq I(x, y) \leq 200 \\ 1 & , \quad 200 < I(x, y) \end{cases} \quad (6)$$

また文献 7 より平均値と標準偏差の積 $I(x, y)\sigma(x, y) > 6000$ の領域は高画質であるという結果が得られている。そこで入力画像の高画質部分は改善を行う必要がないと考え，入力画素値を保持しそのまま最終出力に用いる。一方， $0 \leq I(x, y)\sigma(x, y) \leq 6000$ のときは画質改善の余地があると考え (7) 式で表されるように MSR 処理画像の値に重み付け出力することにより画質改善を行

った．ここで $P_i(x, y)$ は本手法による最終出力画像， d は重み係数である．

$$P_i(x, y) = O_i(x, y) \times d(x, y) + m'_i(x, y) \times (1 - d(x, y))$$
$$d(x, y) = \begin{cases} I(x, y)\sigma(x, y)/6000, & 0 \leq I(x, y)\sigma(x, y) \leq 6000 \\ 1, & 6000 < I(x, y)\sigma(x, y) \end{cases} \quad (7)$$

5 . 画質の補正結果

提案手法を用いて下記の４種類の画像各 10 枚計 40 枚に対して処理を行った．

(1) 適正露光画像 (well exposed)

(2) 光源の影響により色かぶりがある画像 (turbid)

(3) 露光不足な画像 (under exposed)

(4) 逆光画像 (backlight)

適正露光画像と逆光画像に対する処理結果の一例を図 7 , 8 に示す．(a) は入力画像，(b) に従来

Fig.7 挿入

の MSR , (c) に提案手法での処理結果を示す．

Fig.8 挿入

適正露光画像を従来の MSR モデルで処理した結果では，現画像で高画質であった領域が露光オー

バーとなり劣化している．一方，提案手法による処理結果では，高画質領域では入力画像の画素値が保持され良好な結果が得られている．さらに陰影部分などのコントラストが強調されており，高画質な入力画像と比較した場合，同等もしくはそれ以上の高い評価値を得ることができた．逆光画像において，従来の MSR 手法では顔やテーブル下などで陰影の除去は可能であり改善が見られるが，空やテーブルの上など明度が高い領域では色味が失われるなど不自然な色再現がなされ画質が劣化しているのが分かる．一方，提案手法では，明度が高い領域の自然な色再現及び適度なコントラストを保持しつつ，暗部に対しては陰影の除去がなされ画像全体の画質改善を行うことができた．

6．MSR と提案手法の比較実験

入力画像を従来の MSR と提案手法で処理し，

処理結果の優劣を一対比較法によって評価した．被験者は暗室にて視距離 60cm のモニタ上に左右一対に表示された画像を評価する．ここで評価項目は総合的画質である．各画像に対し入力画像（補正処理しない画像），従来の MSR，提案手法により処理された画像の 3 種で比較実験を行った．

研究室の学生 10 名による 4 種類各 10 枚の評価画像の主観評価実験の結果を Table 1 から Table 4 に示す．主観評価値は評価者 10 人の平均値を $[0, 1]$ に正規化しており，1 が最も評価が高い．これらの結果からほぼ全ての画像に対して提案手法の有効性を確認することができた．特に逆光画像においては，入力画像内の画質に応じて局所的に処理を変化させることにより，明度が高い領域に対する自然な色再現，暗部に対する陰影の除去およびコントラストの強調を同時に実現した．これは従来の MSR では実現できなかった点であり，

本手法の有効性が明らかとなっている．また Table2 の色かぶりがある画像数点に対しては従来の MSR 手法が最良の結果を得ているが，提案手法も十分高い評価値を得ており，ほぼ同等の性能を有することがわかる．以上主観評価結果を総合的に判断して提案手法の有効性が確認できた．

8 . まとめ

劣化した画像に統計的画質評価法を適用することにより画像内の画質を局所的に判別し，その評価値に応じて Retinex 理論に基づく画像の補正処理を行った．すなわち高画質な領域に対しては入力画像の画素値を保持し，低画質な領域に対し集中的かつ効率的に画質改善を行った．その結果，従来手法の利点を生かしつつ，従来法では不可能であった画像に対しても有効な画質改善を行うことができた．しかし，本アルゴリズムでは従来の MSR と比較して評価が低くなる画像も幾分残されている．また本研究では画質評価パラメータと

して明度とその分散およびそれらの積を用いているが，画質はより多くの尺度により定義されるものであり今後さらに適切なパラメータを検討する必要がある．今後より幅広い評価画像に適用することで，問題点を解明しあらゆる画像に対して有効な画質補正手法を提案することが必要である．

参考文献

- 1) E. H. Land , J. J. McCann, J. of the Optical Society of America, **61(1)**, 1-11(1971).
- 2) D. J. Jobson, Z. Rahman, G. A. Woodell, IEEE Trans. on Image Processing, **6(3)**, 451-462 (1997).
- 3) Z. Rahman, NASA-CR198194, 15(1995).
- 4) 柏潔，高清，津村徳道，三宅洋一，日本写真学会誌，**64(6)**，352-357 (2001).
- 5) B. Thompson, Z. Rahman, S. Park, SPIE

International Symposium on AeroSense,
Visual Information Processing IX, Proc. SPIE
4041, (2000).

6) Z. Rahman, D. J. Jobson, G. A. Woodell, G. D.
Hines, Visual Information Processing XI,
Proc. SPIE 4736 (2002).

7) D. J. Jobson, Z. Rahman, G. A. Woodell,
Visual Information Processing XI, Proc. SPIE
4736, (2002).

8) D. J. Jobson, Z. Rahman, G. A. Woodell,
Visual Information Processing XII, Proc.
SPIE 5108, (2003).

Figure captions

Fig. 1

Color constancy of human eye, (a) original image, (b) blue filtered image only apple region, (c) blue filtered image.

Fig. 2

Relationship between central pixel and surround pixel.

Fig. 3

Examples of processed images by SSR with different surround size.

Fig. 4

Example of processed images by MSR with different surround size, (a) and (c) are original images and (b) and (d) are processed images.

Fig. 5

Sampling of image by 50x50 pixels window.

Fig. 6

Image quality curve proposed by Jobson.

Fig. 7

Examples of processed image by (b) MSR and (c) proposed method. (a) is original image taken by exact exposure.

Fig. 8

Examples of processed image by (b) MSR and (c) proposed method. (a) is original image taken by back light.