

疑似的奥行き知覚に基づくノンフォトリアリスティックリカラリング

于子涵[†] 井上光平[†] 原健二[†] 小野直樹[†] 浦浜喜一[†]

[†]九州大学芸術工学研究院 〒815-8540 福岡市南区塩原 4-9-1

E-mail: †{k-inoue,hara,ono,urahama}@design.kyushu-u.ac.jp

あらまし 視覚心理での疑似的奥行きに基づいて、入力画像の色相を変化させるノンフォトリアリスティックリカラリング法を提案する。入力画像の明度をバイラテラルフィルタで平滑化変調したものを高さとして陰影を求め、その陰影を CIELUV や CIELAB の u^*, v^* や a^*, b^* に変換する。明度を入力画像のままにする場合と一定明度にする等明度 NPR 画像も示す。本提案法は光源の仮想的な位置を変えることで、1 枚の入力画像からいろいろな色変化の画像が生成される。

キーワード ノンフォトリアリスティックレンダリング, リライティング, リカラリング, 等明度画像

1. まえがき

写真を非写実的な画像に変換するノンフォトリアリスティックレンダリング (NPR) では、これまで主にジオメトリックな変換 (ストロークの生成, 点描画, ポロノイ分割など) が開発されてきたが、本稿では陰影や色などのフォトメトリックな変換について考える。

陰影を変えるには何らかの 3D 形状復元が必要であるが、1 枚の画像から形状を復元するのは不良設定問題であり、また NPR では正確に形状を復元しなくても済むものと考えられる。そのような NPR アプローチとして、人間は明度を奥行きと感じる (暗いほど奥) という心理実験 [1] の知見に基づいて画像の編集 [2] やリライティング [3] を行う手法が提案されている。Lopez-Moreno ら [3] の例を図 1 に示す。これらの手法では疑似的奥行きに基づいて入力画像の明度を変化させ、色相は変化させない。

一方、3DCG では図 2 のように物体に寒暖色を塗って奥行き (暖色が手前、寒色は奥) や陰影を表示する NPR 手法も提案されている [4]。この NPRCG では物体形状



図 1 NP リライティングの例

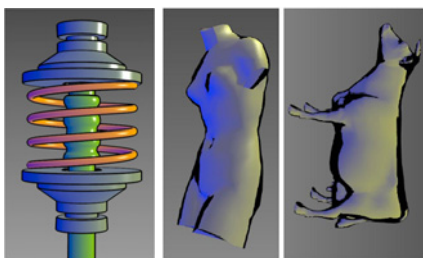


図 2 寒暖色による 3DCG の NPR 陰影表現

は既知であり、明度は変化せず、色相が奥行きや陰影に基づいて変調される。このような寒暖の配色は絵画 (ゴッホなど) ではよく見られる。図 3 の左はゴッホのアルルの跳ね橋で、右は手描きのアニメの例であり、これらでは明度の変化は小さく色相の変化で物体を塗り分けて奥行き感を出している。

本稿では、視覚心理での疑似的奥行きに基づいて色相を変化させる NPR 法を提案する。入力画像の明度を平滑化変調したものを高さとして陰影を求め、その陰影を CIELUV や CIELAB の u^*, v^* や a^*, b^* に変換する。本提案法は光源の仮想的な位置を変えることで、1 枚の入力画像からいろいろな色変化の画像が生成される。

2. 疑似的高さ画像の生成

視覚心理での疑似的奥行きでは入力画像の明度を高さとするればよいが、Lopez-Moreno ら [3] に倣って、入力画像を基調成分と詳細成分にマルチスケール分解して細かい濃淡変化を変調した明度を高さ画像とする。マルチスケール分解にはバイラテラルフィルタ (BF) を使う。

入力画像の画素 (x, y) の明度を c_{xy} とする。バイラテラルフィルタ (BF) の出力は

$$f_{xy} = \sum_{l=-p}^p \sum_{m=-p}^p v_{xylm} c_{x+l, y+m} / \sum_{l=-p}^p \sum_{m=-p}^p v_{xylm} \quad (1)$$

である。ここで $v_{xylm} = e^{-(l^2+m^2)/2\sigma_s^2} - (c_{xy} - c_{x+l, y+m})^2 / 2\sigma_r^2$ である。以下の実験では $p = 5$ とした。BF を n 回かけ

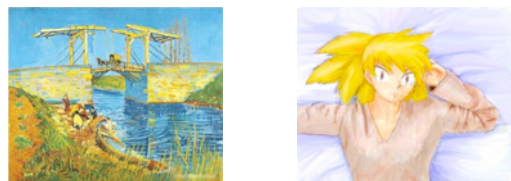


図 3 手描きの準等明度絵画

るのを $BF(\sigma_s, \sigma_r, n)$ と書き表し、基調成分 B とする。2 つの基調成分の差 $BF(\sigma_{s1}, \sigma_{r1}, n_1) - BF(\sigma_{s2}, \sigma_{r2}, n_2)$ を詳細成分 D と呼ぶ。

画素 (x, y) の高さを

$$z_{xy} = w_b B_{xy} + w_{d1} D_{1xy} + w_{d2} D_{2xy} \quad (2)$$

とする。 D_1 は第 1 詳細成分、 D_2 は第 2 詳細成分である。 w_{d1} や w_{d2} は負の値も取り得るとする。すなわち、明度の細かい変化成分を部分的に反転させるような人工的な操作も含める。高さ画像の生成例を図 4 に示す。(a) は入力、(b) は明度、(c) は基調成分、(d) は第 1 詳細成分、(e) は第 2 詳細成分、(f) が高さ画像である。

パラメータは

1) 基調成分

$$w_b = 2, \sigma_s = 100, \sigma_r = 1000, n = 5$$

2) 詳細成分 1

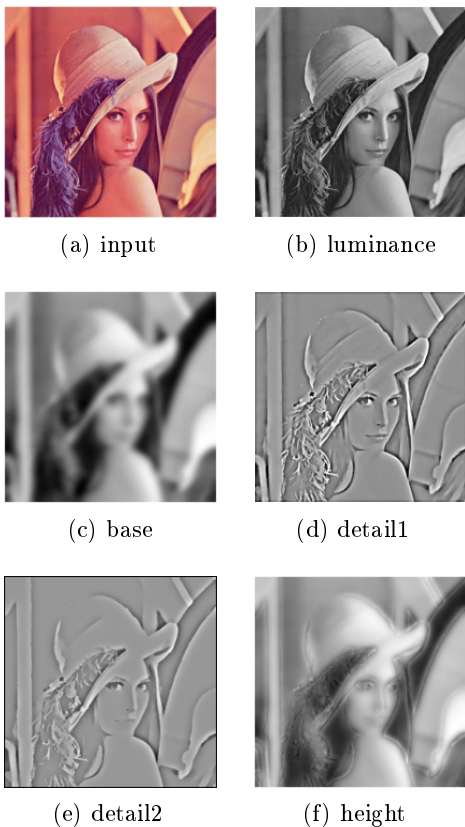


図 4 高さ画像の生成例

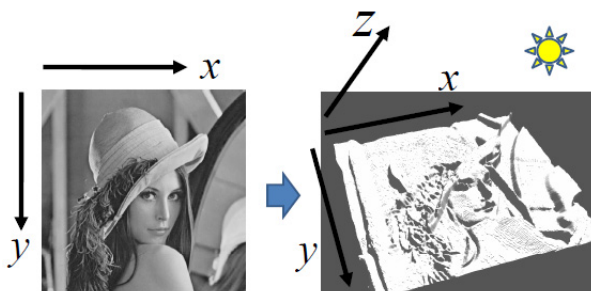


図 5 座標

$$w_{d1} = 0.5, \sigma_{s1} = 100, \sigma_{r1} = 5, n_1 = 2, \sigma_{s2} = 100, \sigma_{r2} = 1000, n_2 = 5$$

3) 詳細成分 2

$$w_{d2} = -1, \sigma_{s1} = 100, \sigma_{r1} = 5, n_1 = 4, \sigma_{s2} = 100, \sigma_{r2} = 10, n_2 = 5$$

とした。

3. 陰影

式 (2) の z_{xy} を物体表面の高さとみなし、各画素 (x, y) において z が z_{xy} より小さいボクセルを物体内部とする。 $z > 0$ が手前(視点に近い)である。座標は図 5 のように、画像の (x, y) 座標は左上の画素を原点 $(0, 0)$ とし、 z は手前を正とする。

手前の 3 次元空間中に点光源を仮想的に配置し、物体表面の陰影を拡散反射の反射輝度 $I = I_d \cos \theta$ で求める。 θ は入射光線と物体表面の法線のなす角であり、 I_d は入射光線の輝度である。光は影になっている所にもある程度当たるものとする。すなわち点光源から発した光は物体表面で完全反射するのではなく、物体内部にも侵入し、ボクセルを 1 個通過する度に ϵ だけ減衰するとする(以下の実験では $\epsilon = 0.005$ とした)。そのようにして物体を透過した光は再び物体表面に達して拡散反射を生じる。光は点光源から放射状に発し、空気中では減衰しないものとする。図 4(f) の高さ画像から求めた陰影画像の例を図 6 に示す。光源位置は、図 6(a) が $(x, y, z) = (500, 300, 300)$ 、(b) が $(50, 50, 300)$ 、(c) が $(500, 500, 200)$ である。

4. NP リライティング

前節で得られる陰影画像を q とする。本節では、入力画像の明度を q に置き換えることによって、知覚される光源方向を変えた画像を生成する。例えば入力画像の RGB を HSV に変換し、明度 V を q に置き換え、 H と S はそのままとし、 HSq を RGB に戻したものを出力す

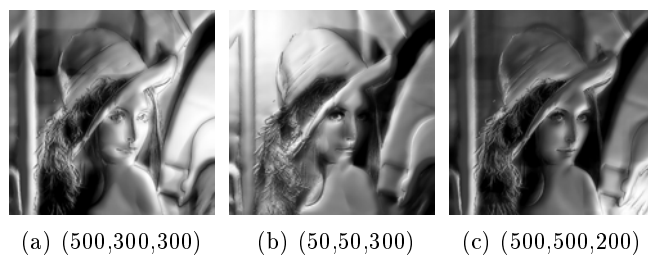


図 6 陰影画像

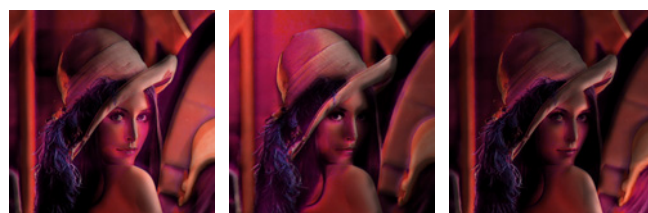


図 7 NP リライティング画像 (HSV)

る．CIELAB でも同様に， $L^*a^*b^*$ の明度 L を q に置き換えてから RGB に戻す．そのようにして図 6 の 3 つの陰影画像から得られたリライティング結果を図 7 と図 8 に示す．図 7 は HSV によるもの，図 8 は $L^*a^*b^*$ によるものである．

他の画像例の結果を図 9 から図 11 に示す．図 9 は，左が入力画像で右が高さ画像である．リライティング画像を図 10 と図 11 に示す．一番左が陰影画像，中央が HSV

によるリライティング，右は $L^*a^*b^*$ によるものである．図 10，図 11 とも上段と下段では光源の場所が異なる．

5. NP リカラリング

前節では陰影画像を明度としたが，本節では陰影画像を色相の寒暖軸にする．すなわち，陰影画像の明るい所を暖色とし，暗い所を寒色にする．これは，暖色を手前に，寒色を奥に感じる視覚認知特性による．

5.1 CIELAB 色座標系

CIELAB でのリカラリングでは，入力画像を $L^*a^*b^*$ に分解し， L^* はそのままとし， a^*, b^* を

$$\begin{aligned} \tilde{a}^* &= (2 + T)a^*, \tilde{b}^* = (2 + T)b^* \quad (T \geq 0) \\ \tilde{a}^* &= 0, \tilde{b}^* = 0 \quad (T < 0) \end{aligned} \quad (3)$$

のように変える．ここで

$$T = (q - \bar{q}) / \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (4)$$

である． q は 3 節で求めた陰影画像であり， $\bar{q} = 125$ とした．結果を図 12 に示す．

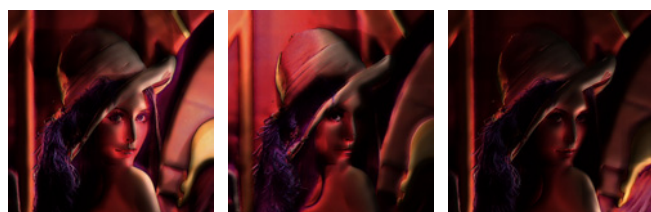
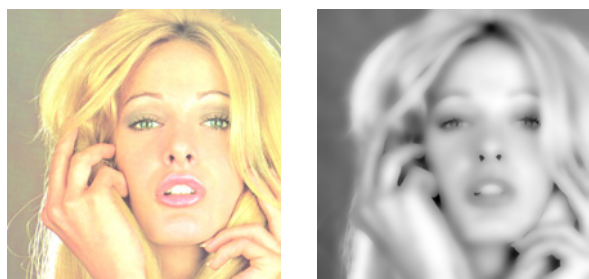
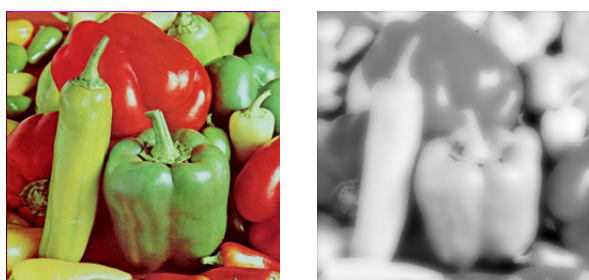


図 8 NP リライティング画像 ($L^*a^*b^*$)

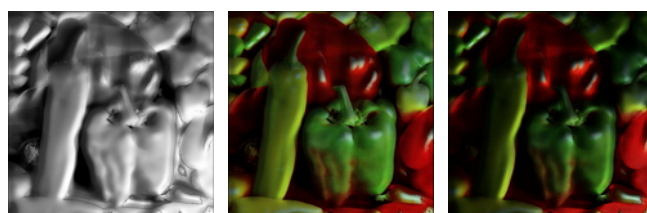


(a) Tiffany

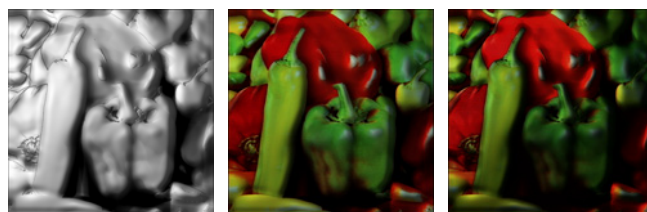


(b) peppers

図 9 他の画像例

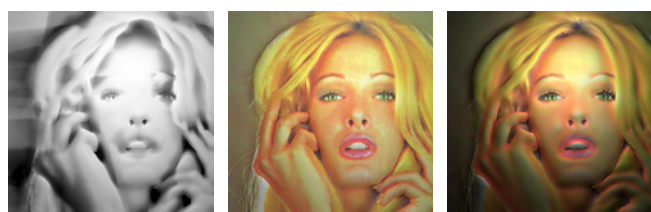


(a) light=(500,500,300)

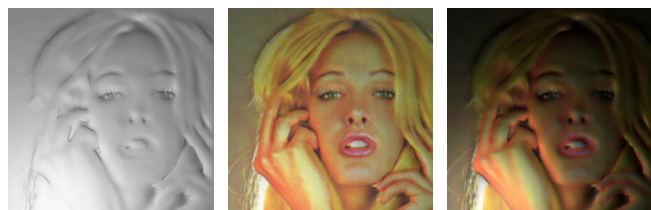


(b) light=(0,150,300)

図 11 NP リライティング画像 (peppers)



(a) light=(300,150,300)



(b) light=(100,500,300)

図 10 NP リライティング画像 (Tiffany)

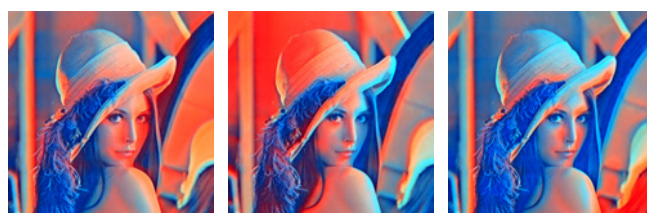


図 12 NP リカラリング画像 ($L^*a^*b^*$)

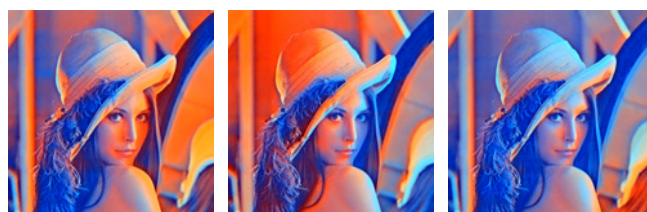


図 13 NP リカラリング画像 ($L^*u^*v^*$)

5.2 CIELUV 色座標系

CIELUV でのリカラリングでは、入力画像を $L^*u^*v^*$ に分解し、 L^* はそのままとし、 u^*, v^* を

$$\begin{aligned} \tilde{u}^* &= u^* + \alpha F(q - \bar{q}) \\ \tilde{v}^* &= v^* + \alpha F(q - \bar{q}) \end{aligned} \quad (5)$$

のように変える．ここで $f = F(x)$ は $x < -100$ なら $f = -100$ ， $-100 \leq x < 100$ なら $f = x$ ， $x \geq 100$ なら $f = 100$ である打ち切り関数である． $\alpha = 0.5$ とした．結果を図 13 に示す．図 12 よりも少し黄色味がかっている．他の画像例を図 14 に示す．

5.3 NPR 等明度画像

これらのリカラリングでは明度は入力画像のままにしたが、次に等明度 NPR [5] に倣って、明度を画像全体で同じ値 (ここでは 127) にして、陰影画像を色相の寒暖軸に変換する．結果を図 15 と図 16 に示す．明度が一定なので淡い感じの色合いになっている．なお、これらの等明度画像ではエッジを上描きしている．エッジは詳細画像を 2 値化して求めた．

6. む す び

視覚心理での疑似的奥行きに基づいて、入力画像の色相を変化させるノンフォトリアリスティックリカラリ

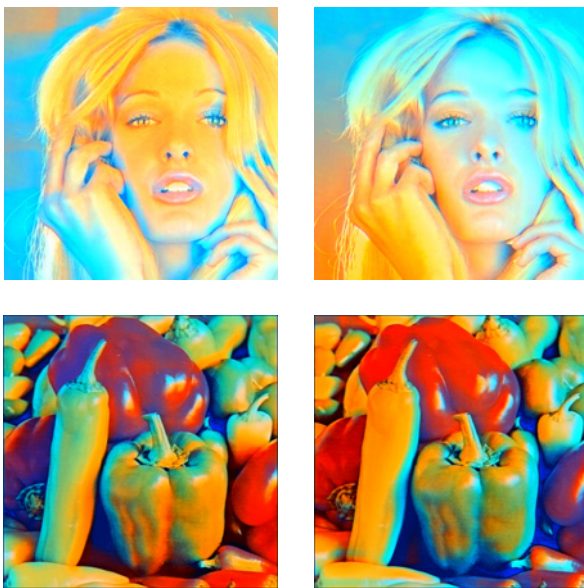


図 14 NP リカラリング画像 ($L^*u^*v^*$)



図 15 等明度 NP リカラリング



図 16 等明度 NP リカラリング

ング法を提案し、光源の仮想的な位置を変えることで、1 枚の入力画像からいろいろな色変化の画像が生成できることを確認した．本提案法では色相だけを変化させたが、彩度も変化させる (彩度が高いほうが手前) ほうが効果が高められると思われる今後の課題とする．またストローク生成などのジオメトリックな NPR 技法と組合せて絵画風なタッチと色合いの画像を生成するのも今後の課題とする．

文 献

- [1] M. Langer and H. H. Bülthoff, "Depth discrimination from shading under diffusive lighting", *Perception*, 29, 6, pp.649-660, 2000.
- [2] B. M. Oh, M. Chen, J. Dorsey and F. Durand, "Image-based modeling and photo-editing", *Proc. SIGGRAPH*, pp.433-442, 2001.
- [3] J. Lopez-Moreno, J. Jimenez, S. Hadap, E. Reinhard, K. Anjyo and D. Gutierrez, "Stylized depiction of images based on depth perception", *Proc. NPAR*, pp.109-118, 2010.
- [4] A. Gooch, B. Gooch, P. Shirley and E. Cohen, "A Non-photorealistic lighting model for automatic technical illustration", *Proc. SIGGRAPH*, pp.447-452, 1998.
- [5] T. Luong, A. Seth, A. Klein and J. Lawrence, "Isoluminant color picking for non-photorealistic rendering", *Proc. Graphics Interface*, pp.233-240, 2005.