

## 3次元および分光情報を用いた顔画像の高画質化 Face Image Enhancement Based on 3D and Spectral Information

塚田 正人<sup>†</sup>      Dubout Charles<sup>‡</sup>      石山 塁<sup>†</sup>      舟山 知里<sup>†</sup>  
Masato Tsukada      Dubout Charles      Rui Ishiyama      Chisato Funayama

### 1. はじめに

カラー画像機器にとって、画質は重要な要素である。特に顔画像は人の注意を引きやすく、高い画質が要求される。顔画像の高画質化手法として、肌色を人間の記憶色に近づける手法が提案されている[1]。従来手法の多くは、RGBなど3次元色空間において色補正が行われる。近年、様々な顔や肌の再現モデル[2]が提案されており、これらの再現モデルを応用し、分光特性などよりプリミティブな物理特性を算出し補正することで、顔画像の高画質化のさらなる性能の向上が期待される。実際、筆者らは、カラー画像中の顔領域から復元された分光特性を補正することで、顔画像の効果的な高画質化が実現できることを示した[3]。

本論文では、顔画像の見えの印象、すなわち、画質に影響を与える鏡面反射成分や陰影についても考慮した高画質化手法を提案する。本手法では、カラー画像中の顔領域の3次元形状を復元し、顔領域における色情報を、陰影を含んだ完全散乱成分、鏡面反射成分に分解する。そして、本来の肌の色情報を表すアルベドを算出し、これを補正する。補正されたアルベドに、上記鏡面反射成分、陰影を加算して、顔領域の画像情報を再構成する。アルベドの補正は、アルベドから復元された表面反射率を予め設定された肌の参照表面反射率に近づけることで肌の色再現を向上する。主観評価実験により本手法の有効性を示す。

### 2. 鏡面反射成分とアルベドの推定

顔画像の高画質化に関し、従来法では肌色は改善されるものの、顔領域における陰影や鏡面反射成分が考慮されていないため、これらの成分にも同様の補正が掛かり、顔の見かけの印象に影響を与えてしまう。つまり、色補正により肌の再現性は改善されるが、顔領域の陰影による明暗コントラストが抑制され、顔の見えに重要な立体感が失われる問題があった。

この問題を解決するためには、顔領域において、陰影や鏡面反射成分を含まない、本来の肌の色情報を表すアルベドに対して色補正を適用することである。

今、画像の位置  $x$  におけるチャンネル  $k$  における画素値を  $I(x)$  とし、照明照度、すなわち陰影を含んだ完全散乱成分を  $E(x)$ 、アルベドを  $\rho(x)$ 、鏡面反射成分を  $\delta(x)$  とすると、肌の反射モデルは以下のように表される。

$$I(x) = \rho(x)E(x) + \delta(x) \quad (1)$$

照明条件が未知の顔画像において、キャストシャドウおよび近接照明の影響が無視できるのであれば、陰影を含んだ完全散乱成分は法線ベクトルの球面調和関数で近似される[4]。つまり、顔領域における陰影を含んだ完全散乱成分を得るためには、顔の3次元形状が必要となる。

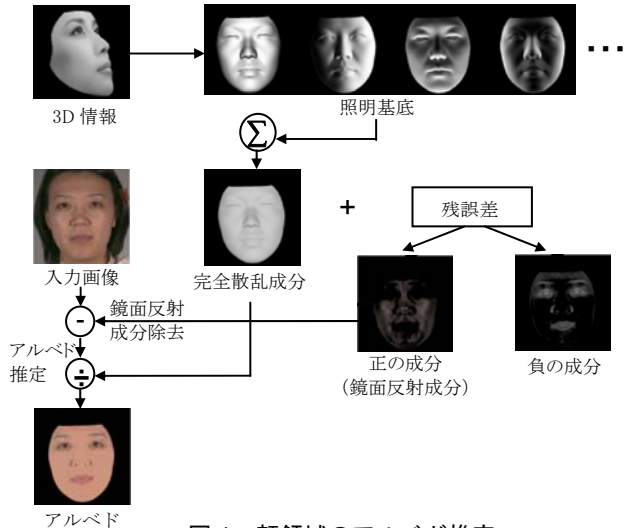


図1 顔領域のアルベド推定

本研究では、1枚の顔画像から顔の3次元形状の推定する方法として、3次元モーファブルモデル[5]を用いた。

今、アルベドは、低周波で一定であるという仮定に基づき最小自乗法を用いて球面調和係数を計算する[6]。ここで、球面調和係数は、真の輝度を得るように設定された一定値を有するアルベドでスケールされる。こうして、陰影を含んだ完全散乱成分を得る。

一旦、完全散乱成分が得られれば、鏡面反射成分  $\delta(x)$  を取り除いた画像の輝度からアルベドを算出することができる。ここで、復元された  $E(x)$  よりも大きい値の画素値  $I(x)$  について、その値から  $E(x)$  を取り除いた残りの部分が鏡面反射成分となる。

$$\delta(x) = \max(I(x) - \rho(x)E(x), 0) \quad (2)$$

$$\rho(x) = (I(x) - \delta(x)) / E(x) \quad (3)$$

実際にはカラー画像に対して行うため、各チャンネルに上記処理を当てはめればよい。図1にアルベドを推定する過程をまとめた。

### 3. 表面反射率の推定

今、カラー画像を表示するディスプレイのRGB蛍光体および白色の色度、ガンマ特性に関する色特性が既知であるとすると、ディスプレイ上の再現色の三刺激値XYZは、RGB値から算出できる。第2章にて算出された、カラー画像中の肌領域のアルベドの三刺激値XYZは、情景中の光源の分光分布  $L(\lambda)$  と肌の表面反射率  $O(\lambda)$  を用いて以下のように表される。

$$X = \int L(\lambda)O(\lambda)x(\lambda)d\lambda \quad (4)$$

ここで  $x(\lambda)$  は、等色関数で既知である。Y、Zも同様である。カラー画像のシーン中の照明の分光分布  $L(\lambda)$  は、文献[7]の手法で復元できる。

<sup>†</sup>NEC 共通基盤ソフトウェア研究所

<sup>‡</sup>Idiap Research Institute

次に、肌の表面反射率  $O(\lambda)$  を得るために、カラーコンスタンシ理論でよく利用される有限次元線形モデルを用いて、 $O(\lambda)$  を少ないパラメータで表現する。

$$O(\lambda) = o_0(\lambda) + \sum a_i o_i(\lambda) \quad (5)$$

ここで、 $o_i(\lambda)$  は基底ベクトルで既知である。重み係数  $a_i$  は、肌色を表現する未知特性パラメータである。式(5)を式(4)に代入することにより、式(4)は  $a_i$  に関する一次方程式となり、 $a_i$  を解くことができる。

以上により、入力画像中の顔領域における全ての画素について表面反射率が算出される。

#### 4. 高画質化処理

顔領域のアルベドから算出された表面反射率を補正することにより、顔画像の高画質化を実現する方法を述べる。

肌色が好ましい色で再現されるようあらかじめ設定された参照表面反射率  $O_{ref}(\lambda)$  を参照して補正する。まず、入力画像中の顔領域の平均表面反射率  $O_{avg}(\lambda)$  を求める。そして、波長  $\lambda$  に関する関数  $F(\lambda)$  を以下のように定義する。

$$F(\lambda) = O_{ref}(\lambda) / O_{avg}(\lambda) \quad (6)$$

入力画像中の顔領域の画素位置  $x$  における表面反射率  $O(x, \lambda)$  を、以下のように補正して、好ましい色を再現する表面反射率  $O_{md}(x, \lambda)$  を算出する。

$$O_{md}(x, \lambda) = \alpha F(\lambda) O(x, \lambda) + (1 - \alpha) O(x, \lambda) \quad (7)$$

ここで、 $0 \leq \alpha \leq 1.0$  の実数である。

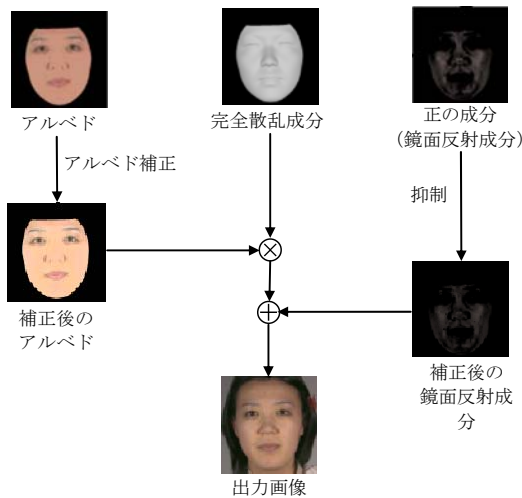


図2 高画質化処理の過程

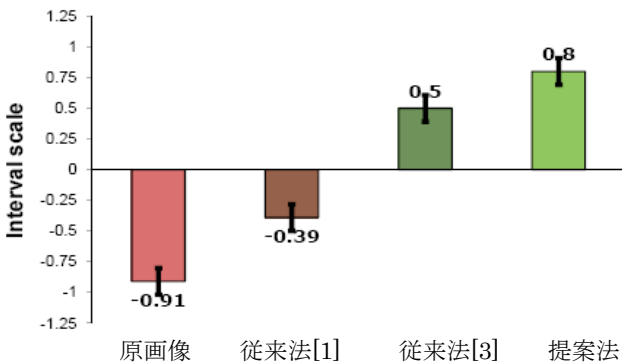


図3 主観評価結果

補正後の表面反射率  $O_{md}(x, \lambda)$  を式(4)の  $O(\lambda)$  に代入し、補正後の三刺激値 XYZ を計算する。そして、ディスプレイの色特性に基づいて RGB 値を算出する。

以上は、図1におけるアルベドに対する色補正の説明である。色補正されたアルベドに陰影を含んだ完全散乱成分を乗算し、そして、鏡面反射成分を加算して出力画像を生成する。図2は、高画質化処理の過程を表したものである。ここで、出力画像の再構成において、肌表面の脂質や汗に起因する鏡面反射成分[8]を抑制することで、画質を改善することもできる。

#### 5. 実験

本手法の有効性を確認するため、10種類の異なる顔画像について、原画像、従来法[1](RGBによる色補正)、従来法[3](分光特性による色補正)および本提案手法を適用した4種類の画像について画質に関する主観評価実験を行った。ここで、従来法[3]は、アルベドを算出せずに、画像データから直接算出された肌の分光特性を補正したものである。提案手法は、陰影および鏡面反射成分を取り除いたアルベドから肌の分光特性を復元し補正したものである。

評価方法は対比較法を採用し、被験者14名が評価した。評価結果を分散分析した結果、原画像、従来法[1]、従来法[3]、提案手法の4つの刺激の差、すなわち色補正の効果の差が、有意水準1%で有意であることが確認された( $F(3,36):4.38, P<0.01$ )。

主観評価結果を、Thurstoneの比較判断の法則を用いて間隔尺度に変換した。図3は、その間隔尺度を示したグラフであり、間隔尺度が高いほど、画質が良好であることを意味する。実験結果から、提案手法により画質補正の性能が向上することが確認できる。

#### 6. まとめ

顔画像の画質に影響を与える鏡面反射成分や陰影を考慮した高画質化手法について述べた。本提案手法では、カラー画像中の顔領域の3次元形状を復元し、顔領域における陰影および鏡面反射成分を取り除いたアルベドを得る。そしてアルベドを分光特性空間で補正することで、顔の見えに重要な立体感を損なうことなく、顔画像の高画質化を実現する。主観評価実験により本手法の有効性が確認された。

#### 参考文献

[1] M. Tsukada, et al., "Automatic color preference correction for color reproduction," Proc. SPIE, Vol.4300, pp.216-223, 2000.  
 [2] T. Weyrich, et al., "Analysis of human faces using a measurement based skin reflectance model," ACM Trans. on Graphics, vol.25, pp.1013-1024, 2006.  
 [3] 塚田ら, "分光特性に基づく肌色再現とその評価," 電子情報通信学会総合大会講演論文集, D-11-100, 2009.  
 [4] R. Basri, et al., "Lambertian reflectance and linear subspaces," Proc. ICCV, vol.25, pp.383-390, 2001.  
 [5] R. Ishiyama, et al., "Fast and accurate facial pose estimation by aligning a 3d appearance model," ICPR, vol.4, pp.388-391, 2004.  
 [6] Z. Wen, et al., "Face relighting with radiance environment maps," Proc. CVPR, pp.158-165, 2003.  
 [7] 塚田ら:"記憶色に基づく色再現とその高画質化応用,"映像情報メディア, Vol.60, No.3, pp.348-357 (2006).  
 [8] T. Igarashi, et al., "The appearance of human skin," Tech. Rep. CUCS-024-05, Columbia Univ., 2005.