

画像に輝きを与える光沢制御技術

Specular Reflection Control Technology to Increase Glossiness of Images

小曳 尚 野中 亮助 馬場 雅裕

■ KOBIKI Hisashi ■ NONAKA Ryosuke ■ BABA Masahiro

3,840×2,160画素の高解像度ディスプレイや、有機EL (Electroluminescence) を用いた自発光型ディスプレイの登場により、これまで以上に高精細で高コントラストな画像を楽しむことが可能になった。それに伴い、これらの次世代ディスプレイの特長を生かす高質感画像処理が求められている。

東芝は、物体の質感を表す“光沢”に着目し、画像処理によって画像の“輝き”を高める光沢制御技術を開発した。この技術は、入力画像に対してノイズを考慮して鏡面反射画像と拡散反射画像に高精度に分解し、鏡面反射画像を用いて画像の光沢感を向上させることによって、次世代ディスプレイの表示能力を最大限に発揮させた高質感画像を表示させることができる。

The emergence of next-generation displays for televisions including 4K ultra-high-definition (Ultra HD: 3,840 x 2,160 pixels) displays and self-luminous displays using organic electroluminescent devices has enabled viewers to enjoy higher-resolution and higher-contrast contents than ever before. Under these circumstances, image processing technologies realizing images with a high-quality texture are becoming essential to take advantage of the features of these devices.

With this as a background, Toshiba has developed a specular reflection control technology to enhance the glossiness of objects in an image by using a specular reflection image separated from the input image. This technology makes it possible to optimize the required image quality for next-generation displays by incorporating our image processing technologies including a texture restoration technology.

1 まえがき

東芝は、民生市場向けに、3,840×2,160画素の次世代テレビ〈レグザ〉55X3を2011年12月に世界で初めて^(注1)商品化した。フルHD (High Definition) の約4倍の画素数となる約829万画素の解像度があり、その精細度の違いは歴然である。更に、次世代のディスプレイとして有機ELディスプレイも注目されている。自発光表示であるためコントラストが高く、引き締まった黒や鮮やかな色彩を表示できるという特徴がある。このようなディスプレイの高精細化や高コントラスト化に伴い、画像の質感を更に高める画像処理技術への期待が高まっている。

そこで当社は、物体の質感を表す要素の一つである光沢に着目した。水面の反射や果物の艶のような、高精細で高コントラストな光沢を自在に制御することで、次世代ディスプレイの特性を十分に生かした、輝きのある高質感画像を表示できると考えられる。

画像表示技術の一つとして、光沢領域のコントラストを画像処理によって強調することで、画像の光沢感が向上することが知られている⁽¹⁾。しかし、コントラストの強調に伴って光沢領域以外の色まで変化してしまい、物体の質感が不自然に変化する場合がある。これは、光沢領域とそれ以外とを区別せず

(注1) 2011年12月時点、民生市場向けテレビにおいて、当社調べ。

に画像のコントラストを強調することが原因である。

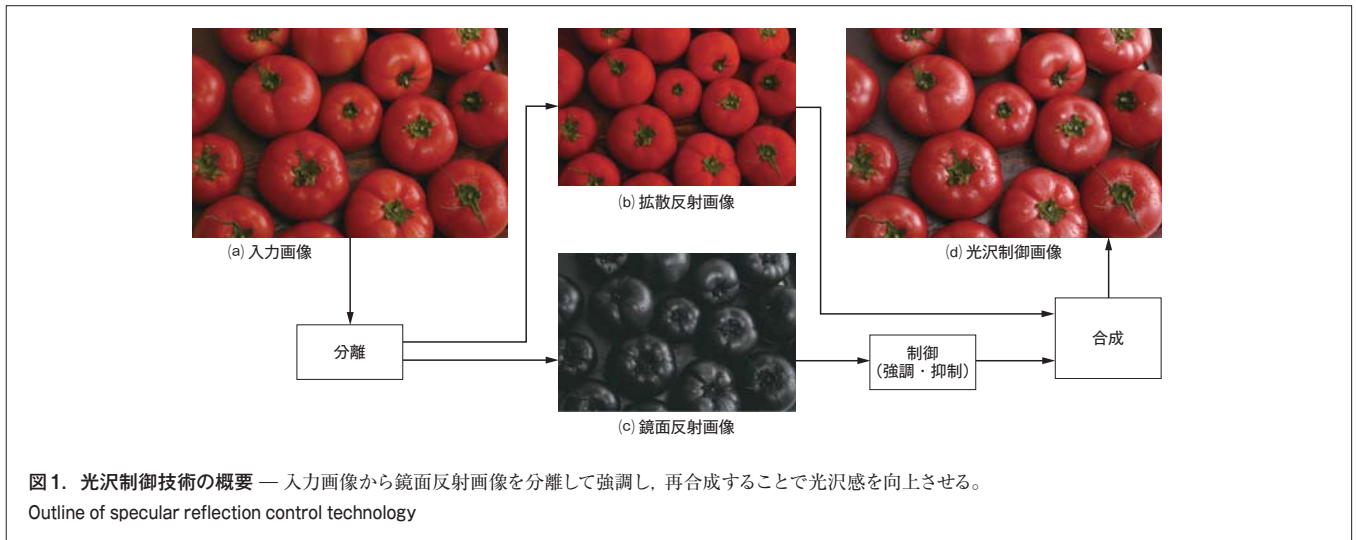
一方、画像内の光沢領域とそれ以外とを区別する手法として、入力画像の色を、照明光が物体の表層で鏡のように反射することで生じる鏡面反射 (光沢) 色と、物体表層で内部拡散した後に表面へ出てくることで生じる拡散反射 (物体表面) 色に分離する技術が提案されている⁽²⁾。

当社は、入力画像を鏡面反射画像と拡散反射画像に分離し、鏡面反射画像を強調することで、画像の光沢感を向上させる光沢制御技術を開発した。更に、この技術は、画像に含まれるノイズを考慮して分離することで、ノイズを含む画像に対しても高精度に光沢感を向上できる⁽³⁾。ここでは、開発した光沢制御技術の概要とその効果について述べる。

2 光沢制御技術の概要

光沢制御技術は、次の画像処理から成る。

- (1) 鏡面反射画像の分離と強調 入力画像を鏡面反射画像と拡散反射画像に分離し、鏡面反射画像だけを強調し、それを拡散反射画像と再合成することで光沢感を向上させる (図1)。
- (2) ノイズを考慮して高精度に鏡面反射画像を分離 鏡面反射画像と拡散反射画像を分離する際に、画像に含まれるノイズを考慮して物体表面の色を解析することで分離



精度を向上させ、より高精度に光沢感を向上させる。
それぞれについて以下で詳しく述べる。

2.1 鏡面反射画像の分離と強調

S.A.Shaferは、“物体表面の反射光の色は、鏡面反射色と拡散反射色の線形和で表すことができる”という、2色性反射モデルを提唱した⁽⁴⁾。このモデルに基づくと、物体表面の反射光の色 C は式(1)のように表される。

$$C = \alpha \times D + \beta \times S \quad (1)$$

ここで、 D は拡散反射色度^(注2)、 S は鏡面反射色度、 α は拡散反射強度、 β は鏡面反射強度であり、 $\alpha \times D$ が拡散反射色を、 $\beta \times S$ が鏡面反射色を表す。

2色性反射モデルでは、照明色度と鏡面反射色度が等しくなるので、 S には照明色度が設定される。例えば、白色照明の場合は白色となる。一方、 D は物体表面によって様々に変わるが、連続した同一の組成から成る表面（以下、同一表面と呼ぶ）であれば、理論的に同じ色度を取る。そのため、ある表面について何らかの方法で同一表面が検出できれば、そこから代表的な D を推定できる。 D が決まれば、式(1)を連立して解くことで拡散反射色と鏡面反射色を分離できる。入力画像内の全ての画素について同様の計算を行うことで、図1(b)と(c)のように、拡散反射画像と鏡面反射画像が得られる。

分離した鏡面反射画像は、図1(c)のように、光沢の明るさ情報を持っている。そのため、鏡面反射画像の明るさを強調又は抑制することで、物体の光沢の明るさだけを制御できる。この技術では、鏡面反射画像の明るさを k 倍 ($k > 1.0$) することで光沢を強調する。

最後に、強調した鏡面反射画像と拡散反射画像を合成する。ここでは、2色性反射モデルに基づき、両画像を線形加算する

ことで、図1(d)のように、光沢感を向上させた画像が得られる。

以上のように、光沢制御技術によれば、入力画像を鏡面反射画像と拡散反射画像に分離し、鏡面反射画像を強調することで、物体の質感を変えずに光沢感を向上できる。

2.2 ノイズを考慮した高精度な鏡面反射画像の分離

テレビの放送波のようにノイズが加わった画像では、鏡面反射画像の分離・強調精度が低下する場合がある。これは、画素値にノイズが加わることで、同一表面の画素群が正しく検出しにくくなるためである。

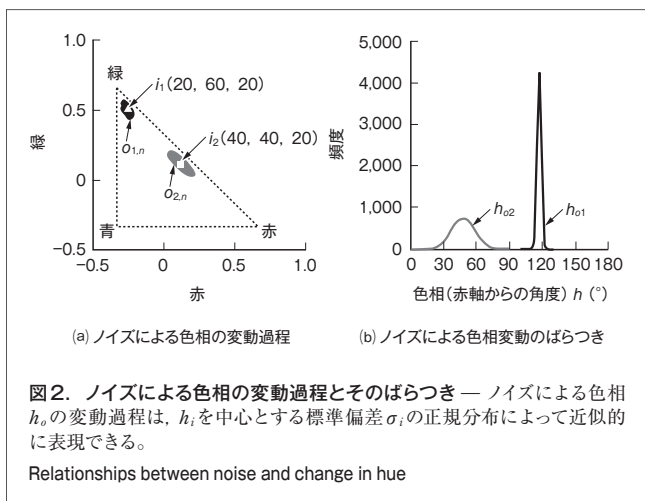
そこで、同一表面であれば反射光の色相^(注3)が等しいという仮定を基に、ノイズによる色相の変動をモデル化して、ある二つの画素が本来同一色相であったかどうかの確からしさを計算する技術を開発した。これによって、同一色相すなわち同一表面の画素群を検出することで、鏡面反射画像を高精度に分離し強調できる。

まず、ノイズによって画素値の色相がどのように変動するかをモデル化する。ノイズが加わった後の画素値 $i (R_i, G_i, B_i)$ とその色相を h_i 、ノイズが加わる前の画素値 $o (R_o, G_o, B_o)$ とその色相を h_o とするとき、各チャンネルに対してランダムにガウシアンノイズ（標準偏差0.15）を加えた結果、 $i_1 (20, 60, 20)$ 又は $i_2 (40, 40, 20)$ が得られるような o の分布 ($n: 20,000$ 点分のサンプル) について考える (図2)。

図2(a)は、線形赤・緑の色度図上における i_1 と $o_{1,n}$ 及び i_2 と $o_{2,n}$ の分布であり、図2(b)は $o_{1,n}$ の色相（赤軸からの反時計回りの角度） $h_{o,1}$ と $o_{2,n}$ の色相 $h_{o,2}$ の出現頻度グラフである。図2から、ノイズによる h_o の変動過程は、 h_i を中心とする標準偏差 σ_i の正規分布によって近似的に表現できることがわかる。また、撮像系の代表的なノイズとして知られているポアソンノイズを加えた場合でも、同様の傾向が見られた。

(注2) ある色を赤・緑軸や青・黄軸のような特定の軸に沿って区分したときの、各々の成分の度合い。

(注3) 黄、だいだい、紫のように色を区別するよりどころとなる色の特徴。色相の差が大きい(小さい)ほど色が遠い(近い)。

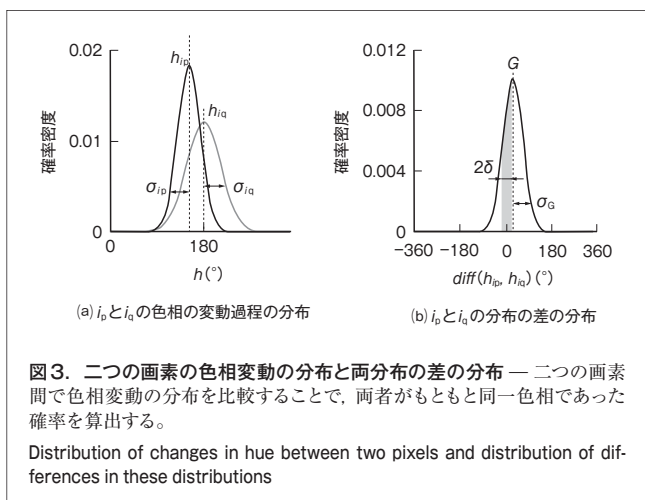


次に、様々な i について、ノイズによる h_o の変動過程とその σ_i の大きさを解析した。その結果、 i の色純度^(注4)が高いほど σ_i が小さくなる傾向と、 h_i が赤、緑、青の原色に近いほど σ_i が小さくなる傾向を見いだした。このことから、任意の i に対して σ_i を推定する回帰式として式(2)を導いた。

$$\sigma_i = \frac{X}{\max(R_i, G_i, B_i) - \min(R_i, G_i, B_i)} + Y \times \text{hue}(h_i) + Z \quad (2)$$

ここで、 $\max()$ は要素の最大値を、 $\min()$ は要素の最小値を算出する関数、 $\text{hue}()$ は h_i によって変動する高次関数、 X, Y, Z は回帰係数である。式(2)から、第1項により i の色純度が高い程 σ_i が小さく、第2項により h_i が原色に近いほど σ_i が小さくなる傾向を説明できる。

式(2)を用いることで、入力画像中の二つの画素値 i_p と i_q が与えられた際に、図3(a)のように、各々の色相の変動過程の分布が推定できる。このとき、 h_{ip} と h_{iq} は i_p と i_q の色相、 σ_{ip}



(注4) ある色を構成する赤、緑、青の光の強さの割合によって表される色の純粋さ、色の鮮やかさ。

と σ_{iq} は i_p と i_q の分布の標準偏差である。これら二つの分布のずれを比較することで、ノイズが加わった二つの画素がもともと同一色相であった確率が計算できる。開発技術では、両分布の差の確率密度分布を式(3)により算出する。

$$f(G, \sigma_G) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_G} \exp\left[-\frac{G^2}{2\sigma_G^2}\right] \quad (3)$$

$$G = \text{diff}(h_{ip}, h_{iq}) \quad \text{ただし } \sigma_G = \sqrt{\sigma_{ip}^2 + \sigma_{iq}^2}$$

ここで、 $\text{diff}()$ は二つの色相の差を算出する関数である。図3(b)は、式(3)によって算出された両分布の差の確率密度分布であり、 σ_G はその色相変動の分布の標準偏差である。この分布を $G = 0 \pm \delta$ の範囲(図3(b)の網掛け部)で区間積分することにより、両分布の差が $\pm \delta$ 以内である確率、すなわち二つの画素が同一色相である確率が算出できる。

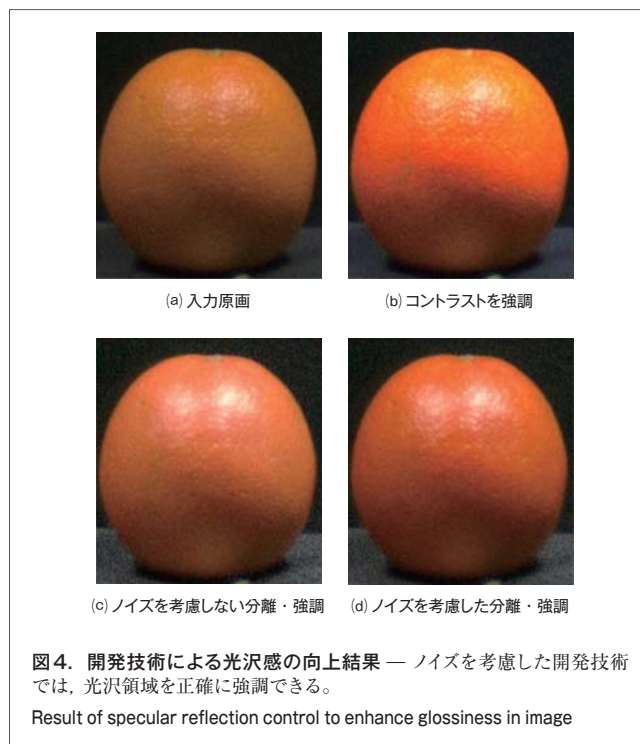
この手法では、以上の処理により自画素と同一色相である確率が高い画素群を検出し、その中から代表的な D を算出する。これにより、ノイズを考慮して高精度に鏡面反射画像を分離できる。

3 効果の検証

ここでは、光沢制御技術による光沢感の向上効果と、ノイズを考慮した鏡面反射画像の分離精度について述べる。

3.1 光沢感の向上効果

コントラストの強調により画像の光沢感を強調した結果と、開発技術を用いて画像の光沢感を向上させた結果を図4に示



す。図4(a)が入力した原画, (b)がコントラストの強調による結果, (c)がノイズを考慮しないで分離し強調した結果, (d)がノイズを考慮して分離し強調した結果である。このとき, (c)及び(d)は鏡面反射画像の明るさを2倍に強調し, (b)は光沢部が(c)及び(d)と同程度の明るさになるようコントラストを調整した。

(b)ではコントラストの強調に伴って光沢以外の色まで変化してしまうのに対し, 開発技術による(c)及び(d)では, 大きな色の変化はなく, 光沢感を向上できていることがわかる。

(c)と(d)を比較すると, (c)では光沢ではない周辺領域まで明るく強調されるのに対して, (d)では光沢領域だけが明るくなっていることがわかる。これは, 後述するように, ノイズを考慮することで鏡面反射画像の分離精度が向上したためと考えられる。

3.2 鏡面反射画像の分離精度

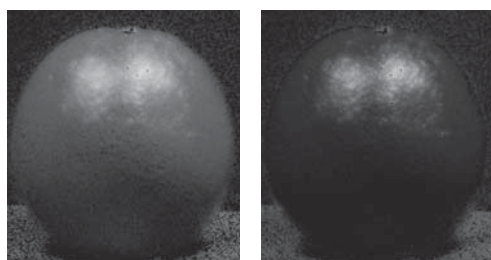
分離精度を評価するために, 人工画像にノイズを加えた入力画像から分離した鏡面反射画像と, その正解画像との間で, PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) を算出した。入力画像は, 6種類のCG (コンピュータグラフィックス) 画像に対し, ガウシアンノイズ (標準偏差0.15) とポアソンノイズ (標準偏差 \sqrt{x} , x は信号値) をそれぞれ付与した計12枚を用いた。それらの結果を表1に示す。ノイズを考慮した分離では, ノイズを考慮しない分離に対して, PSNRが平均で5.87 dB向上した。

図4(a)の原画を入力した際の鏡面反射画像を図5に示す。

表1. 鏡面反射画像の分離精度

Peak signal-to-noise ratio (PSNR) between specular reflection images with and without noise consideration

付与ノイズ	分離	PSNR (dB)						
		1	2	3	4	5	6	平均
ガウシアンノイズ	ノイズ考慮なし	46.13	46.16	44.60	34.07	34.03	36.61	40.27
	ノイズ考慮あり	46.67	46.80	40.84	43.63	43.73	43.61	44.21
ポアソンノイズ	ノイズ考慮なし	39.46	39.12	38.04	34.35	34.27	35.94	36.86
	ノイズ考慮あり	43.86	47.30	45.46	43.74	43.77	43.80	44.66



(a) ノイズ考慮なし

(b) ノイズ考慮あり

図5. ノイズに対する考慮の有無による分離結果 — ノイズ考慮ありの分離では, ノイズ考慮なしに比べて高精度に鏡面反射画像が分離できる。

Results of separation of specular reflection images with and without noise consideration

図5(a)がノイズを考慮しないで分離した結果, (b)がノイズを考慮して分離した結果であり, 鏡面反射が強い部分は白く, 弱い部分は黒く示されている。(a)では, 本来黒く示されるはずの領域が, ノイズの影響で鏡面反射部分として誤って分離されているためにグレーに見えるのに対し, (b)では, 本来の鏡面反射部分だけが白く, それ以外の部分は黒く示されていることがわかる。

以上の結果から, ノイズを考慮して鏡面反射画像を分離することで, ノイズを考慮しない場合よりも高精度に光沢感を向上できることが示された。

4 あとがき

2色性反射モデルに基づいて鏡面反射画像を分離し光沢感を向上させる, 新たな高画質化技術として当社が開発した光沢制御技術について述べた。この技術により物体のきらめきや輝きを高めることで, 高精細で高コントラストな表示能力を持つ次世代ディスプレイの特性を十分に生かした, 輝きのある高質感画像を表示することができる。

光沢制御技術は, テレビ用LSI向けに最適化され, 輝き復元技術として大画面で3,840×2,160画素の高画質を楽しめる〈レガザ〉Z8Xシリーズに搭載された。同時に搭載された質感復元技術^[5]や, そのほかの高画質化技術と組み合わせることで, よりいっそう質感の高い画像が表示できる。

文献

- (1) インプレスブック, プロとして恥ずかしくないPhotoshopの大原則 (第四版). MDC コーポレーション, 2007, 127p.
- (2) 肥後智昭 他. “二色性反射モデルに基づくリアルタイム鏡面反射成分除去”. CVIM 研究会. 福岡, 2006-09. 情報処理学会, 2006, p.211-218.
- (3) 小曳 尚 他. “光沢制御のためのノイズを考慮した鏡面反射の分離”. 2012年映像情報メディア学会年次大会予稿集. 広島, 2012-08. 映像情報メディア学会, 2012, p.4-5.
- (4) Shafer, S.A. Using color to separate reflection components. COLOR Research and Application. 10, 4, 1985, p.210-218.
- (5) 齊藤佳奈子 他. 映像の失われた質感をリアルに復元する質感復元技術. 東芝レビュー. 67, 10, 2012, p.44-47.



小曳 尚 KOBIKI Hisashi

研究開発センター マルチメディアラボラトリー。
ディスプレイシステム及び画像処理技術の研究・開発に従事。
Multimedia Lab.



野中 亮助 NONAKA Ryosuke

研究開発センター マルチメディアラボラトリー研究主務。
ディスプレイシステム及び画像処理技術の研究・開発に従事。
Multimedia Lab.



馬場 雅裕 BABA Masahiro

研究開発センター マルチメディアラボラトリー主任研究員。
ディスプレイシステム及び画像処理技術の研究・開発に従事。
電子情報通信学会, SID 会員。
Multimedia Lab.