

単一画像上での鏡面反射成分の編集手法

櫻井快勢（正会員）

大日本印刷株式会社

Editing Specular Component on a Single Image

Kaisei Sakurai (Member)

Dai Nippon Printing Co., Ltd.

Sakurai-K10 @ mail.dnp.co.jp

アブストラクト

本論文では、画像中の鏡面反射成分を所望の強度と色に編集する手法を提案する。鏡面反射成分は、カタログや Web コンテンツの画像の制作において、全体の印象を決める重要な要素であり、簡単な編集方法が望まれる。提案手法は、簡単な編集のために、鏡面反射成分と拡散反射成分を分離し、鏡面反射成分のみを編集できるようにする。鏡面反射成分のみを編集するために、Specular-free 画像の生成が必要であるが、既存手法では、カメラのパラメーターが不明で、露出過度（白とび）の領域を含む画像から所望の Specular-free 画像を得ることができない。本手法は、実用を考慮して、カメラのパラメーターが不明な画像にも適用できるように、入力画像の明度を保持し、露出過度の領域にてラプラス方程式を解き、使用に十分な Specular-free 画像を得る。実験により、本手法が実用的であることを確認した。

Abstract

This paper proposes a method that edits intensity and color of the specular component on a single image. Because specular components on images in web contents and catalogs are important to impress people favorably, creators require a method to edit those specular components easily. To edit the specular component on an image, our method generates a specular free image; however, previous methods cannot remove the specular component from an image having unknown camera parameters, such as tone curves or gamma, and regions of overexposure. To generate the specular free image, our method preserves its brightness and fills its overexposure regions with applicable colors using Laplace's equation. Our experiment confirms that the method produces sufficient results to edit specular components of public images on a web site.

1. はじめに

カタログやWebコンテンツの制作で使用する写真では、ハイライト、もしくは、鏡面反射成分は、被写体の見た目の印象を決める重要な要素となる。そのため、撮影者は、照明の調整に時間を費やす。しかしながら、多くの場合において、制作者と撮影者は異なり、撮影者の照明は、制作者の所望の照明ではない。そのため、制作者は、鏡面反射の編集を試みる。制作者の主な鏡面反射成分の編集方法は、手動での二値化やトーンカーブの編集である。手動であるため、短時間で、高品質に仕上げることは困難である。

この問題に対して、本論文では、鏡面反射成分の編集を簡単にする方法のひとつとして、図 1に示すように、入力画像から反射成分を分解して、鏡面反射成分のみを編集する方法を提案する。この図で示されているSpecular-free画像(以後、SF)とは、鏡面反射成分を省いた画像である。2章に後述するように、これまでもSFを生成する手法は提案されてきたが、対象画像の撮影環境が限定されており、実用的ではない。

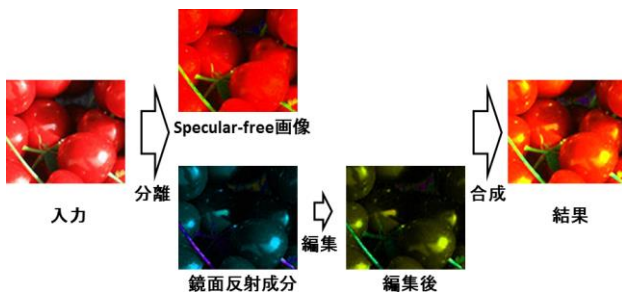


図 1. 提案手法の概要。

提案手法では、実用を考慮し、1枚の8ビットRGB画像を扱う。一般的に制作者に入稿されるデータは、8ビットRGB画像であり、カメラの生データやハイダイナミックレンジイメージではない。また、撮影の対象として凝集された物体を扱うことも頻繁であるため、手作業での領域指定はなく、パラメーターのみによる操作でSFを生成する手法が好ましい。これらを踏まえて、本研究では、一枚の画像に対して、パラメーターを与えることで、鏡面反射成分を分離する手法を模索する。

さらに、利便性を考慮し、画像処理で、鏡面反射成分を分離する。画像処理は、制作者にとって編集操作が手軽である。画像から形状を推定[1,2]し、照明を付け直すことで、鏡面反射成分のみを編集できると考えられるが、推定のための理想的な環境で撮影されることは少ない。

先述したように、撮影者と画像を扱う制作者は別であることが多く、制作者が撮影環境を知ることは少ない。そのため、多くの場合で、制作者の手元にある画像は、撮影時のカメラのガンマ値やトーンカーブ、ホワイトバランスなどのパラメーターが不明である。これらのパラメーターが不明であると、2章で後述する画像処理では、鏡面反射成分に不要なノイズが含まれる。提案手法では、パラメーターによる補正はせずに、ノイズを含まない画像を得るように設計する。

2. 関連研究

一般的に、鏡面反射成分を分離するには、鏡面反射成分と拡散反射成分の二色性反射モデルに基づき、SFを生成する手法を用いる[3]。二色性反射モデルは、画像上の各画素での両反射成分の合計が描画された色になると仮定しており、両反射成分の割合を推定することでSFを生成する。また、二色性反射モデルは、両反射成分の割合を簡単に推定するために、照射される光は白色に限定し、鏡面反射成分の色は白色とする。

Park と Lee は、照明環境を変えた複数の画像から鏡面反射成分を推定する手法を提案した[4]。Tan と Ikeuchi は、色度が最も高くなる領域を鏡面反射成分として定義し、解析的に鏡面反射成分を抜き出しSFを生成した[5]。Mallick らは、SUV色空間において閾値を定め、鏡面反射成分を推定し、その領域に対して補間することで、SFを生成した[6]。また、二色性反射モデルで、鏡面反射成分と拡散反射成分をそれぞれ編集できることを示した。Tan らは、指定された鏡面反射の領域を参考に、カラーヒストグラムから鏡面反射成分を抜き出し、最も近い拡散反射成分を割り当てることでSFを生成した[7]。Shen らは、文献[5]を再考し、SFを式(1)のように簡潔な記述で求めた[8]。

$$V_{sf} = V - \min(V) \quad (1)$$

ただし、 V_{sf} はSFの画素値、 V は入力画像の画素値、 $\min()$ はRGB値の最小値を求める関数とする。式(1)から鏡面反射成分は、 $\min(V)$ で得ることがわかる。鏡面反射成分の色となる白色が当たることで、拡散反射成分に加算されていると考えるため、鏡面反射成分を $\min(V)$ で表現している。しかしながら、鏡面反射成分の割合が安定して得られる保証がないため、鏡面反射成分が強い領域に対して、最も信用できる拡散反射成分を持った画素での割合を適用して、信頼できる値を得た。さらに、文献[8]では V_{sf} に鏡面反射成分の全画素の平均を加えることで明度の低下を防いだ。

Shen と Zheng は、各画素の鏡面反射成分を含む割合が形状にのみ依存するとして、鏡面反射成分の似ている画素では、鏡面反射成分と拡散反射成分の割合が同一であることを観察から仮定した[9]。この仮定から、鏡面反射成分の似ている画素で分類してから、鏡面反射成分を抽出することで、頑健に、かつ高速にSFを得ることを示した。

以上に記したように、頑健さと計算速度の面が向上するように研究が進んでいる。しかしながら、撮影時のカメラのパラメーターが既知であり、補正されたことを前提としているため、対象外の画像では、図 2に示すような二つの問題が現れる。まず、(a) トーンカーブが線形ではない等、カメラのパラメーターが不明である領域を含む画像では、鏡面反射成分が所定の量より強く検出され、引かれる鏡面反射成分の量が多くなり、



図 2. 既存手法でのSF。

該当する領域が暗くなる。つぎに、(b) 露出過度で白とびした領域では、各画素が有する鏡面反射成分の割合が大きくなり、拡散反射成分が得られず、該当する領域は黒くなる。

これらの問題を解決するために、筆者は、明度を保存し、露出過度の領域をラプラス方程式で補間する手法を提案した[10]。この手法では、所望の SF を得られたが、編集後の画像の明度が上昇しすぎた。この問題を解決するために、本手法では、得られる鏡面反射成分を調整し、編集後の画像の明度の差を無くし、編集の操作性を向上させる。

別のアプローチであるが、Perez らはポアソン方程式で鏡面反射成分の編集が可能であることを示した[11]。この手法では、文献[11]の式(16)に示されるパラメーター α と β で補間の関数を調整でき、所望の結果を得られる。しかし、被写体の境界で露出過度があるとき、いかなるパラメーターであっても図 3 に示すように被写体は消失する。たとえば、図 3(a)は、桜桃の茎を覆うように鏡面反射が強い。この入力に対する結果は、図 3(b,c)に示すように茎は視認できない。図 3(b)でのパラメーターは経験的に最も良好に見える $\alpha=0.01 \cdot d$, $\beta=0.50$ を用いた。 d は勾配のノルムの平均値とする。図 3(c)では $\alpha=0.0$, $\beta>0.0$ として、本手法と同様のラプラス方程式を用いた。本手法では、局所的に補間することで、このような被写体の消失を防ぐ。



(a)入力. (b)ポアソン方程式. (c)ラプラス方程式.

図 3. 文献[11]での茎が消失した例.

3. 鏡面反射成分の編集

先述のようにカメラのパラメーターの補正なしでは、SF に暗い領域が現れる。これを解決するために、本手法では、入力画像の明度を SF に代入することで、暗い領域を明るくする。

また、既存手法では、露出過度もしくは鏡面反射成分が強い領域から拡散反射成分は得られない。本手法では、その領域の各画素から拡散反射成分を計算せずに、周辺の画素から補間することで SF を得る。

本手法は、所望の SF を得るまでに、3種類の SF を生成する。それぞれの画素値を V_{sf} , V_r , V_d とする。画素値 V_{sf} と V_r を持つ画像は処理中の SF であり、 V_d を持つ画像は結果の SF になる。本手法の過程を図 4 に示す。まず、3.1 節に後述するように入力画像(図 4(a))から鏡面反射成分を抽出(図 4(b))し、画素値 V_{sf} を持つ SF(図 4(c))と分離する。このとき、SF の明度が低いため、入力(図 4(a))の明度を SF に代入し、明度を整え、画素値 V_r を持つ SF (図 4(d)) を得る。次に 3.2 節に後述する SF の露出過度の領域を補間し、画素値 V_d を持つ SF(図 4(e))を得る。その後、入力画像から SF を差し引き、鏡面反射成分を得る(図 4(f))。得られた鏡面反射成分を編集し、SF に再付与することで所望の鏡面反射を持つ画像を生成する。以後、8 ビット画素値を 0.0 から 1.0 までの実数で表記する。

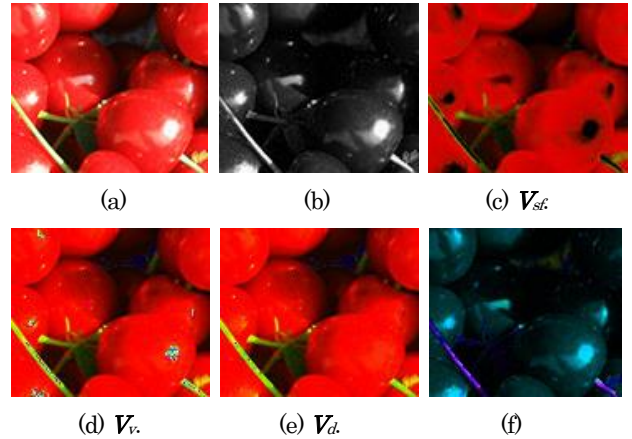


図 4. SF 生成過程と結果の例.

3.1 鏡面反射成分の分離

2章に先述した式(1)により、各画素で鏡面反射成分と SF の画素値 V_{sf} を分離するが、図 2 と図 4(c)に示すように、暗い領域が現れる。これを解決するために、入力画像から明度を代入する。結果、図 4(d)に示すような画素値 V_r を持つ SF が得られる。ただし、露出過度の領域は、無彩色であるため明度を付与すると色が不定となる。たとえば、図 4(d)の露出過度の領域では、シアンと緑のノイズが生じた。

3.2 鏡面反射成分領域の色補間

露出過度の領域を補間するために、領域周辺の色と合うような色を付与する。滑らかに領域を補間するためには、一般的に、周辺の色から偏微分方程式を解く方法が用いられる[12]。代表的な方程式として、2章に先述した文献[11]の手法が挙げられる。しかし、ポアソン方程式では、図 5 に示すように模様を残すため不都合である。文献[11]の式(16)のパラメーターには、図 3(b)と同様に $\alpha=0.01 \cdot d$, $\beta=0.50$ を用いた。図 4(c)の対象領域を補間すると、図 5(a)に示すように暗い領域が模様として保持される。図 4(d)では、図 5(b)に示すようにノイズが残る。本手法では、模様を消すために、パラメーターを $\alpha=0.0$, $\beta>0.0$ とするラプラス方程式を解き、画素値 V_r の不定の画素を補間する。



(a) 図 4(c)の結果. (b) 図 4(d)の結果.

図 5. 文献[11]による補間例.

ラプラス方程式を解くためには、補間対象の領域の境界に既知の値を定める必要がある。その値は、鏡面反射成分から決定する。あらかじめ決めた閾値以上を露出過度の領域を補間対象とする。図 6 に露出過度の領域の外形を青線で示す。経験的に、鏡面反射成分の画素値が 0.75 以上の領域を対象とすることで、露出過度の領域を覆うことができる。低い値で領域を区切ると、被写体の境界付近が補間され、高い値で領域を区切ると、不定な領域を覆わないため、適切な値を設定する必要がある。



図 6. 鏡面反射成分の閾値による露出過度の領域の違い.
左から 0.6, 0.75, 0.9 による領域.

RGBの各色成分で、ラプラス方程式である式(2)を解く.

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (2)$$

ただし、 ϕ は V_s 上の対象領域の拡散反射成分の各画素値とする. 解法は、反復法を用いる. 経験的に、ガウス=ザイデル法の20回の反復で、十分な結果を得られる. この処理で、露出過度の領域を補間した図 4(e)の画素値 V_d を持つSFが得られる.

3.3 鏡面反射成分の調整

この時点で、露出過度の領域を補間したSFが得られている. しかしながら、画素値 V_d は、画素値 V_s より明度が高いため、鏡面反射成分の合成により、入力画像より明るくなる[10].

鏡面反射成分とSFの画素値の総和を入力画像と同値にするために、画素値 V_d と入力画像の画素値 V から、式(3)を満たす鏡面反射成分の画素値 S を得る.

$$S = V - V_d \quad (3)$$

この処理により図 4(f)の画像が得られる. 既存手法での鏡面反射成分は、無彩色であったが、本手法では無彩色に限らない.

3.4 鏡面反射成分の再付与

前節で得られた画素値 S を持つ鏡面反射成分を編集し、画素値 V_d のSFに付与する. 本手法で得られた鏡面反射成分の編集は、強度と色を変更する. また、強度と色は独立して編集できるため、どちらも変更し、見た目を調整できる.

3.4.1 強度の編集

鏡面反射成分の強度の編集は、式(4)で記述されるように、鏡面反射成分の画素値 S に所定の係数 c を乗算する.

$$S' = cS \quad (4)$$

ただし、 S' は編集後の強度を持つ鏡面反射成分の画素値とする. 図 7に示すように、与える係数 c が1.0未満であっても、鏡面反射成分があった領域が暗くなることはない. さらに、係数を上げることで、直感的に強い鏡面反射を付与できる.

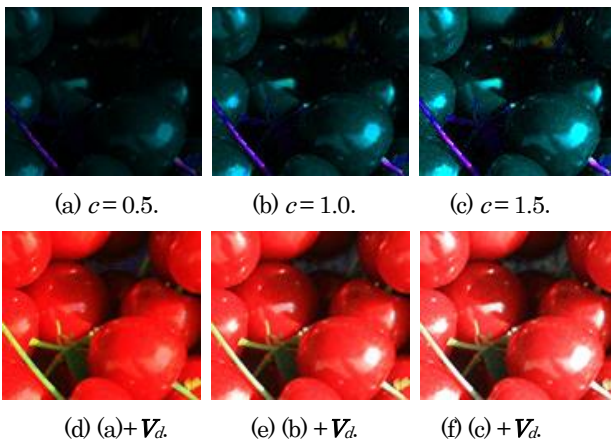


図 7. 強度の編集画像.

また、係数は、各画素に対して付与できるため、部分的に鏡面反射の強度を制御できる. たとえば、図 8(a)に示す画像を鏡面反射成分に乗算することで、異方性反射のような図 8(b)を生成する.

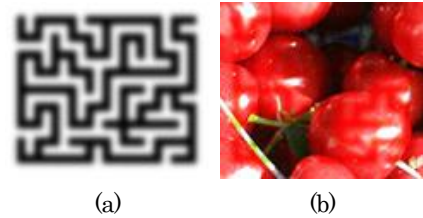


図 8. 強度の部分的な編集画像.

3.4.2 色の編集

鏡面反射成分の色の編集は、二種類の操作方法が考えられる. ひとつは、図 9に示すように、HSV色空間の色相を変更する. もうひとつは、図 10に示すように、無彩色にした後、着色することで、色を変更する. 無彩色は、任意の色空間上での一成分のみを抽出することで得られるが、本手法では、任意の色を扱えるようにするために、HSV色空間上の彩度を0にする. 前者は、明度と彩度が保存されるが、後者は、彩度を0にすることで各画素のRGB値の最大と最小の平均値になるため、RGB値の最大値である明度が下がる.

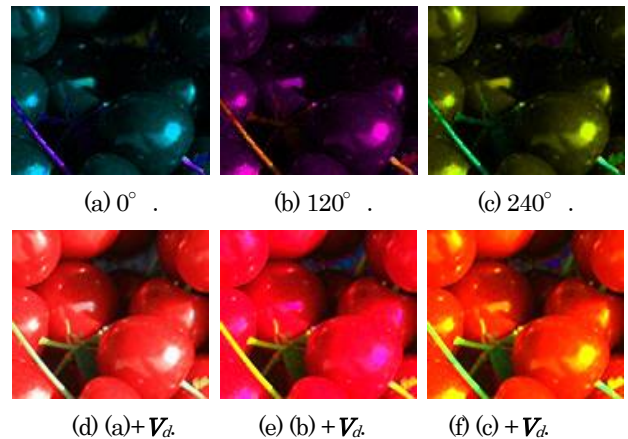


図 9. 色相での編集画像.

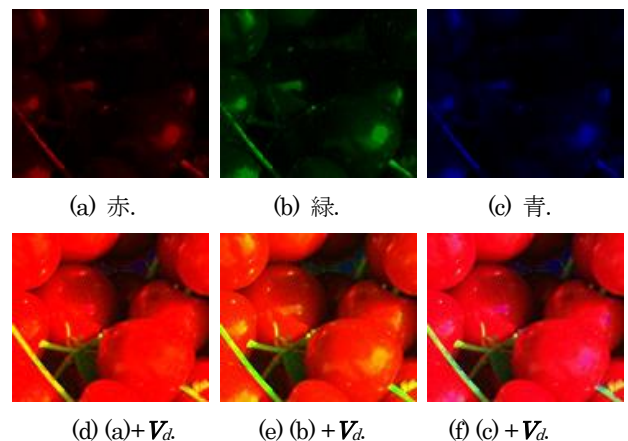


図 10. 着色による編集画像.

4. 結果

実験に本手法を一般的に公開されている画像に適用した。入力画像は、CG Texture (www.cgtextures.com)から鏡面反射成分が視認できる画像をランダムに選択した。色は編集せずに、画像のサイズを650x550画素に統一した。既存手法の中で、1枚の画像から自動的にSFを生成する文献[8]と文献[9]の手法と本手法を比較する。既存の2手法のパラメーターは、論文中で推奨された値を用いた。

4.1 SFの生成結果

鏡面反射成分と拡散反射成分の分離は、編集の品質に最も影響する処理である。各手法によって得られるSFとその鏡面反射成分を図 11に示す。入力は、図 11(a)とし、左から、桜桃と洋梨、唐辛子の画像を入力した。文献[8](図 11(b))では、いずれの例も鏡面反射成分が強い領域で、所望のSFを得られなかった。具体的には、桜桃と唐辛子の画像では、鏡面反射の強い領域は暗くなった。洋梨の画像では鏡面反射成分と拡散反射成分の適切な割合を見つけることができず、ノイズが現れた。文献[9](図 11(c))でも、SFで鏡面反射の領域が滑らかに得られなかった。具体的には、桜桃では、露出過度の領域が暗くなった。洋梨では、鏡面反射成分を拡散反射成分の一部とみなしたため、露出過度の領域が白くなった。唐辛子では、鏡面反射成分が分離できず、かつ、背景の無彩色の布地にノイズが現れた。これらの既存手法に比べて、本手法(図 11(d))では滑らかなSFが得られた。しかし、鏡面反射成分は、白色光を検出するため、間接光のような白色外の色は検出できなかった。たとえば、桜桃の影の部分にある白色以外の鏡面反射成分は検出されなかった。

4.2 強度の編集結果

強度の編集結果を図 12に示す。入力は、図 11(a)を用いた。比較対象となる文献[8]と文献[9]には、本手法と同様の手続きで、鏡面反射成分の強度を編集し、SFに再付与した。既存手法の結果(図 12(a)と(b))では、鏡面反射成分をSFに再付与しても、SFのノイズが残り、滑らかな画像が得られなかった。本手法のSFは、滑らかな画像を得られているため、鏡面反射成分の再付与後も滑らかであった。

本手法での鏡面反射成分は色がついているため、図 13に示すように強度を上げると、白色以外の鏡面反射が現れた。

本手法は、任意の強度を設定できるため、係数 c を指定して照明を変更したような処理が可能となる。図 14に示すように、係数 c を図 14(a)に依存するように設定することで、(b)-(d)のように部分的に照らしたような画像を作ることができた。

4.3 色の編集結果

鏡面反射成分の色の編集結果を図 15に示す。色の指定は、図 15(a)に示すSMPTEカラーバーを用いた。任意の色を付けるために、鏡面反射成分の彩度を下げて、着色した。彩度を下げると、視認性が低くなるため、強度の係数 $c=2$ として、鏡面反射成分を付与した。強度の編集と同様に、既存手法ではノイズが現れたが、本手法ではノイズは現れなかった。

4.4 空間フィルターの適用

鏡面反射成分に空間フィルターを適用することで、鏡面反射

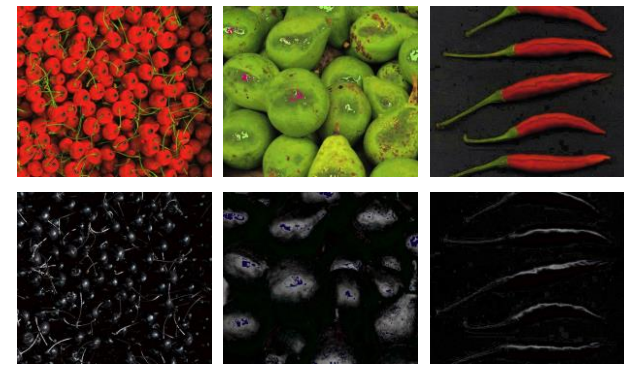
の印象を操作できる。たとえば、図 13(b)の洋梨は、局所的に強く鏡面反射成分のエッジが目立つが、ガウスぼかしを適用することにより、図 16に示すような滑らかな結果が得られる。

4.5 計算時間

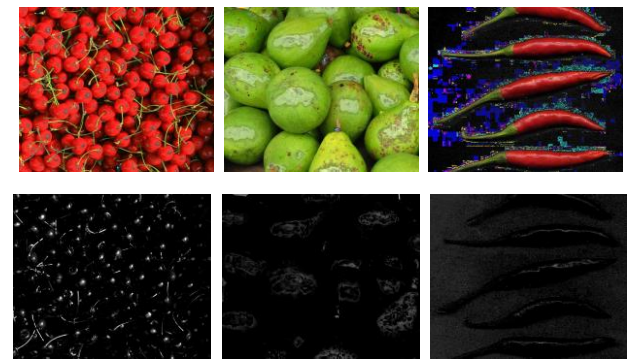
実験では、本アルゴリズムをIntel(R) Core(TM) i7 2.10GHz, 8GB RAM上にC++で実装した。本手法の全結果の平均計算時間は169msであった。文献[8]は16.12s, 文献[9]は810msであり、本手法が最速であった。



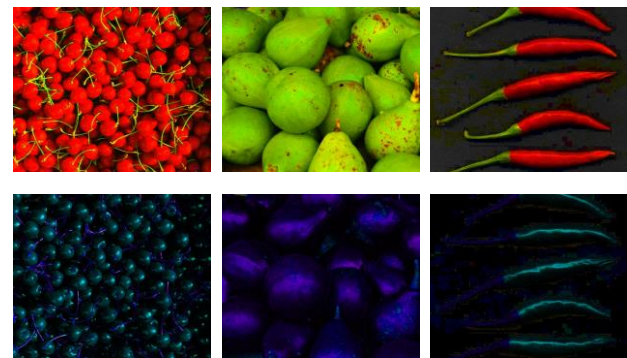
(a) 入力画像。桜桃と洋梨、唐辛子。



(b) 文献[8].



(c) 文献[9].

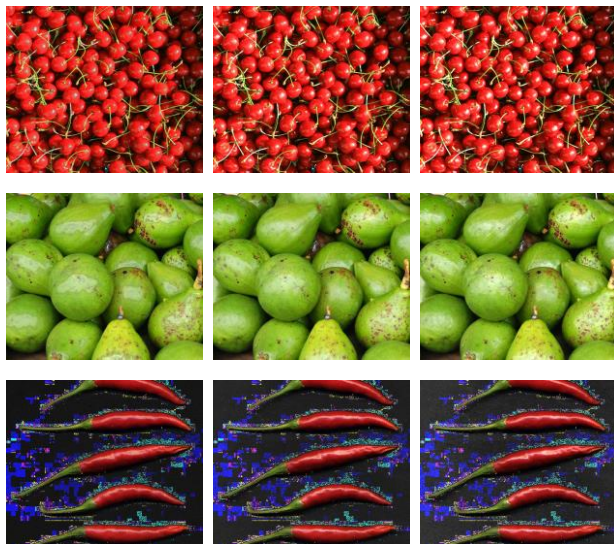


(d) 本手法の SF.

図 11. SF と鏡面反射成分の比較。上段が SF, 下段が鏡面反射。



(a) 文献[8].

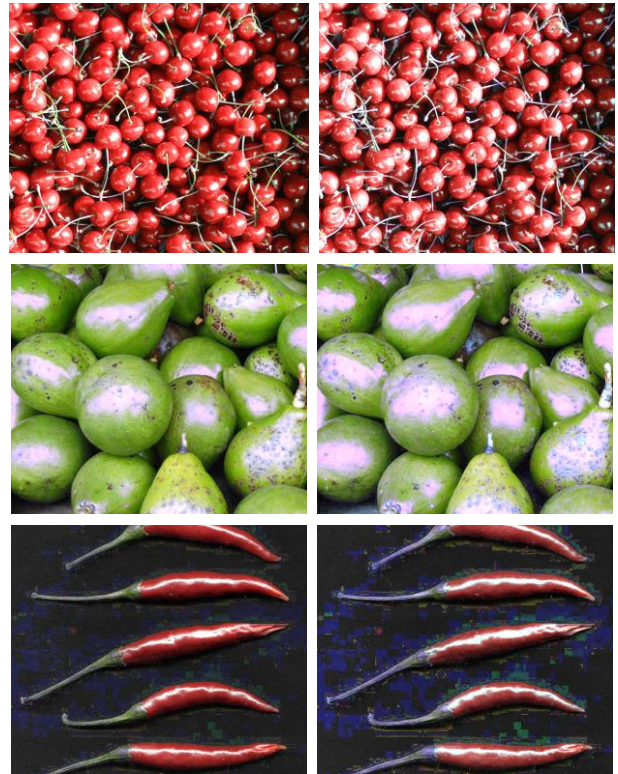


(b) 文献[9].



(c) 本手法.

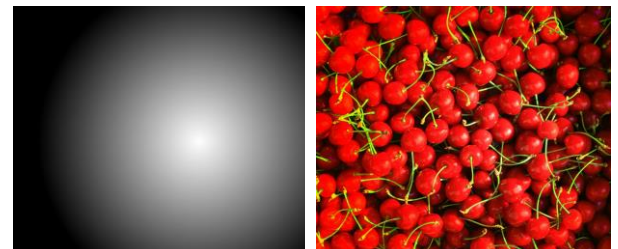
図 12. 鏡面反射成分の付与の比較.
左から係数 c に 0.5, 1.0, 1.5 を与えた画像



(a) $c = 2.0$.

(b) $c = 3.0$.

図 13. 高い係数を与えた結果.



(a)



(b)



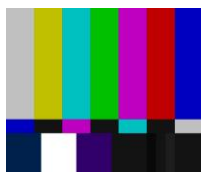
(c)



(d)

図 14. 係数を指定した結果.

(a) 係数の強度, (b)-(d) 適用結果.



(a) 指定の色.



(b) 文献[8].



(c) 文献[9].



(d) 本手法.

図 15. 色を編集した結果の比較.



(a) 10 画素.

(b) 30 画素.

(c) 50 画素.

図 16. 鏡面反射成分へのガウスぼかし処理の結果.
ガウスぼかしの半径をそれぞれに示す.

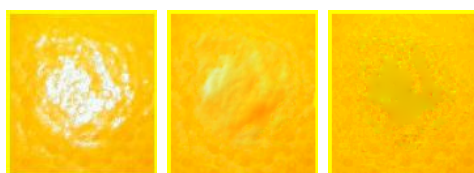
5. 考察

本研究では、二色性反射モデルに基づき反射成分を分離し、露出過度の領域を補間することで、鏡面反射成分の編集が可能となるSFを得る手法を提案した。実験により、強度と色の両者を変更できることを確認した。

本研究の貢献は、露出過度を含む画像からSFを得ることである。また、カメラのパラメーターが不明である画像に対しても、有効なことである。これらは、撮影者と制作者が異なる一般的な現場でも機能することを意味し、本手法が実用的であることを示す。

本手法では、露出過度の領域を補間するためにラプラス方程式を用いた。露出過度の領域に模様がある場合、適切に補間しない可能性はあるが、模様が付いた洋梨の画像では分離できた。

本手法は、2章に先述したように被写体の境界に露出過度がある画像で有効である。一方で、図17に示すように、露出過度の領域が被写体の境界から遠い画像では、文献[11]の手法は表面の陰影を保持でき、好ましい。図17(b)には、図3(b)と同様のパラメーターを用いた。



(a) 入力[11]. (b) 文献[11]. (c) 本手法.

図 17. オレンジに対する文献[11]と本手法の比較.

SFを生成する際に、明度を調整しているため、得られる鏡面反射成分の色と強度は、反射特性として正しくない。そのため、一般的なSFの生成手法と違い、物体の実際の色を推定する目的には適用できない。本手法は、鏡面反射成分を編集する目的のみアプローチしている。

補間する領域は、鏡面反射成分が0.75以上に限定したが、範囲が広い場合は、適宜変更することで、所望の画像を得られると予想する。露出過度の領域を0.75以上としたのは、経験的であるため、カメラパラメーターが著しく異なる場合には、適用できない可能性がある。今後、最適な値を自動で検出する手法を模索する。

鏡面反射成分の強度を強くすると、鏡面反射成分の色が視認できるようになる。鏡面反射成分の色を編集することで、調整可能であるが、自動で所望の色に編集しないため、今後、適切な色の調整手法を模索する。

本手法は、高速であり、最近発表された手法[9]の4倍速い。これは、反復なしで各画素の値を決めるためである。この応答の速さは、制作者には利便性が高い。

既存手法と同様に、唐辛子の画像の無彩色の背景は、適切な処理が施されなかった。所望の画像を自動的に得るためには、興味領域を抽出するか、二色性反射モデルの拡散反射成分に無彩色を適用できるようにする必要がある。この課題を解決することで、多くの画像への二色性反射モデルの適用が可能になる。

参考文献

- [1] Okatani, T. and Deguchi K., Shape Reconstruction from an Endoscope Image by Shape from Shading Technique for a Point Light Source at the Projection Center, *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 66, Issue 2, pp. 119–131, May 1997.
- [2] Miyazaki, D., Tan R. T., Hara K. and Ikeuchi K., Polarization-based Inverse Rendering from a Single View, *Proc. of the 9th IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV 2003)*, 2-Vol. set, 2003.
- [3] Tan, R. T., Nishino K. and Ikeuchi K., Separating reflection components based on chromaticity and noise analysis. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 26, Issue 10, pp. 1373–1379, 2004.
- [4] Park, J. W. and Lee K. H., Inpainting highlights using color line projection, *IEICE Trans. Inform. Syst. E90D*, pp. 250-257, 2007.
- [5] Tan, R. T. and Ikeuchi K., Reflection components decomposition of textured surfaces using linear basis functions, *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2005. *CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on* Vol. 1, pp. 125-131, 2005.
- [6] Mallick, S. P., Zickler T., Belhumeur P. N., Kriegman D. J., Specularity removal in images and videos: a PDE approach, *Computer Vision – ECCV 2006*, pp. 550-563, Springer, Berlin, 2006.
- [7] Tan, P., Lin S., Quan L., and Shum H.-Y., Highlight Removal by Illumination-Constrained Inpainting, *Proc. 9th IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV 2003) 2-Vol. Set*, 2003.
- [8] Shen, H.-L., Zhang H.-G., Shao S.-J., and Xin J. H., Chromaticity-based separation of reflection components in a single image, *Pattern Recognition*, Vol. 41, Issue 8, 2008.
- [9] Shen, H.-L. and Zheng, Z.-H.m Real-time highlight removal using intensity ratio, *Applied Optics*, Vol. 52, Issue 19, pp. 4483-4493, 2013.
- [10] 櫻井快勢, 単一画像上での鏡面反射の編集, *Nicograph 2013*, pp. 81-86, 2013.
- [11] Perez, P., Gangnet, M., and Blake, A., Poisson image editing, *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 22, Issue 3, pp. 313-318, 2003.
- [12] Elder, J., and Goldberg, R., Image Editing in the Contour Domain, *IEEE Trans. on Pattern analysis and machine intelligence*, Vol. 23, Issue 3, pp. 291-296, 2001.

櫻井 快勢



2013年 北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士後期課程修了。博士(知識科学)。大日本印刷(株)勤務。質感研究に従事。芸術科学会、情報処理学会、画像電子学会、ACM会員。