

曲面当てはめにより偽色発生を抑える 高精度デモザイキング

Advanced Demosaicing Method Based on Curvature Fitting to Suppress Color Artifacts

五十川 賢造 三島 直 伊藤 剛

■ ISOGAWA Kenzo ■ MISHIMA Nao ■ ITOH Goh

携帯電話などに搭載される小型カメラの需要が拡大している。これらで使用される単板式イメージセンサは小型ではあるが、各画素から1色の情報しか得られない。しかし、カラー画像は画素ごとに3色の情報から成っており、欠けた2色の情報を補うため、デモザイキングという処理が行われる。このデモザイキングにおいて、被写体が持たない色である偽色が出力画像中に発生することが問題となっている。

そこで東芝は、単板式イメージセンサの画質を高めるために、偽色が発生しにくい曲面当てはめによるデモザイキングの開発を進めている。

The demand for small cameras using a single-chip image sensor has been increasing in the field of mobile devices such as cellular phones. However, each pixel of the single-chip image sensor is filtered to detect only one of the three red-green-blue (RGB) color intensities. To interpolate the missing colors, so-called demosaicing method is used. In such cases, color artifacts on images processed by conventional demosaicing methods are a crucial issue.

To avoid this problem, Toshiba has been developing a new demosaicing method based on curvature fitting to suppress such artifacts. We have confirmed the effectiveness of this method through simulations using real images.

1 まえがき

携帯電話などに搭載される小型のデジタルカメラでは、デバイスを小型化するため、色のデータを間引いて取得する単板式イメージセンサが採用されている。このセンサからカラー画像を得るには、間引かれた色のデータを補うデモザイキングという処理が必要となる。デモザイキングでは被写体が本来持たない色(偽色)が画面中に発生してしまうことが問題となっている。

東芝は、偽色の少ない小型カメラを開発するため、曲面当てはめによる高精度なデモザイキングを開発した。ここでは、その詳細について述べる。

2 従来のデモザイキング

2.1 単板式イメージセンサの構造

カラーのデジタル画像では、各画素の色を赤(R)、緑(G)、青(B)の3色の光の強さで表す(図1)。しかし、イメージセンサ単体では画素に入射した光の強弱しか取得できず、色の情報を得ることはできない。カラー画像を得るため、光をプリズムでR、G、Bの3色に分けた後、各色を専用のセンサで取得する3板式が提案されているが、装置が大型化するため小型化には向かない。

そこで、図2に示すようなイメージセンサの前段にR、G、Bの各カラーフィルタを装着した単板式が利用される。単板式

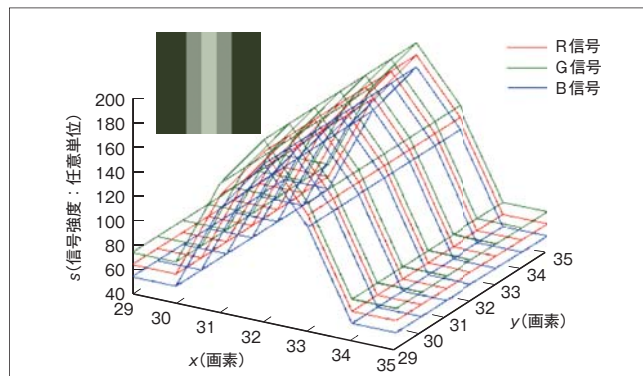


図1. デジタル画像データ—3次元プロットしたデータを画像にすると、左上の画像が得られる。
Representation of digital image

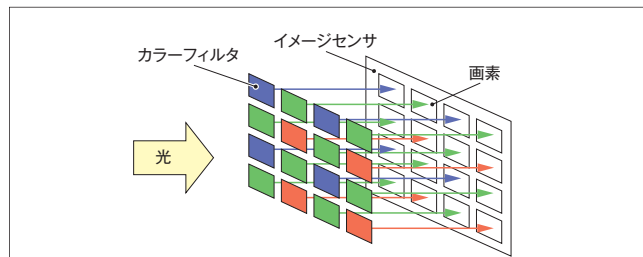
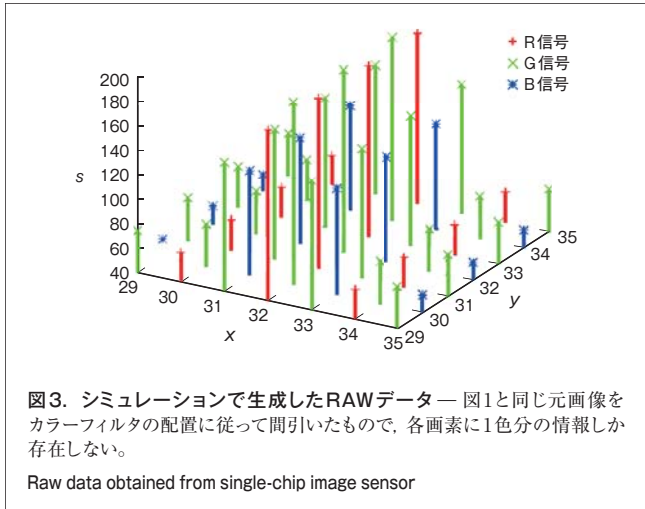


図2. 単板式イメージセンサの構造—イメージセンサの各画素にR、G、Bのカラーフィルタが装着されている。
Structure of single-chip image sensor



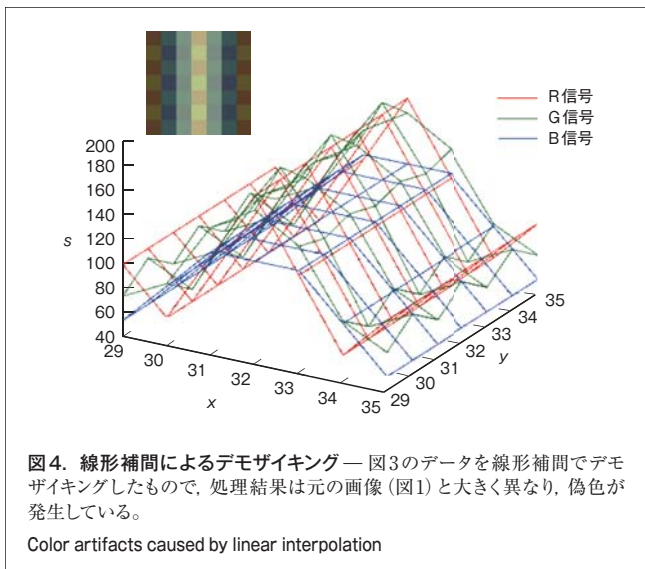
では3板式に比べてイメージセンサを二つ削減でき、更にプリズムが不要になるため装置を小型化できるが、1画素に対しカラーフィルタに対応した1色の情報しか得られない(図3)。

2.2 デモザイキングによる偽色の発生

図3に示す単板式イメージセンサから得られる撮像データ(RAWデータ)からカラー画像を得るには、欠けた2色の情報を補うデモザイキングが必要になる。色と明度が一様な領域であれば、色の情報を補う画素の近傍(ブロック)で得られた信号の平均を用いる線形補間でも十分であるが、細かな模様やエッジを撮像した場合に線形補間を行うと、画像中に被写体が本来持たない色である偽色が発生する(図4)。

偽色が発生する原因には以下の二つがある。

- (1) 各色の信号のサンプリング密度が低下したため、急峻(きゅうしゅん)なエッジのような高周波を再現できない。
- (2) 各色の信号のサンプリング点が異なるため、補間によって得られる信号のピークの位置がずれる。



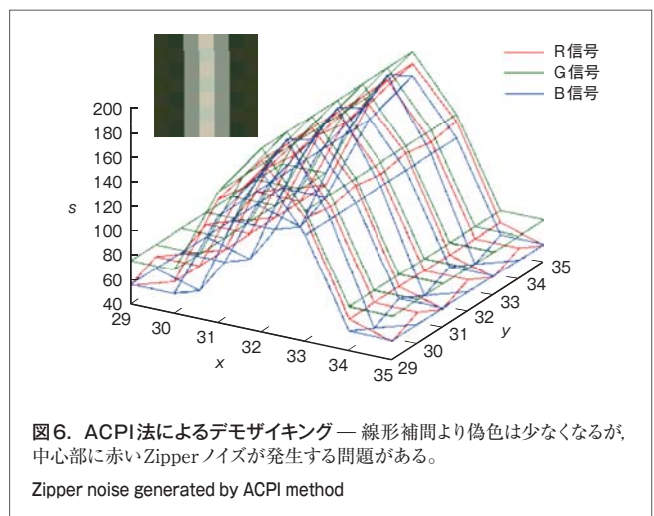
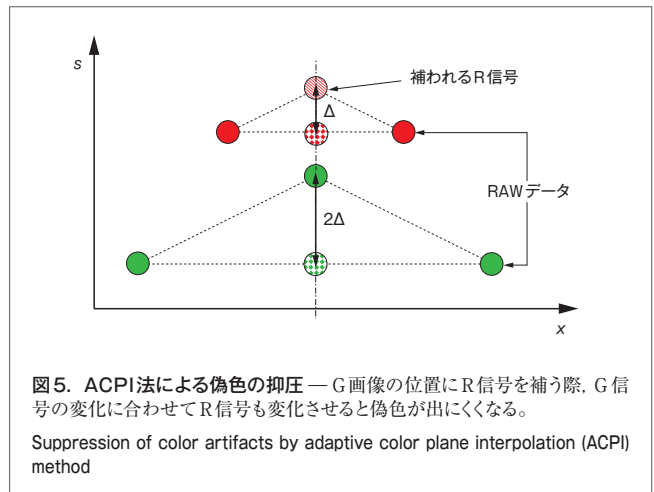
2.3 従来方式による偽色の抑圧

偽色を防ぐためには、エッジの方向に応じて補間係数を変えて高周波の復元性能を高め、更に画像中の色の急激な変化を抑えるアプローチが用いられる⁽¹⁾。

従来手法の一つであるACPI (Adaptive Color Plane Interpolation) 法⁽²⁾では、まず、ブロックの中心部分のRAWデータからエッジを検出し、信号の変化が少ない方向に並んだ画素だけを用いて補間を行うことで、高周波の復元性能を高める。更に、出力画像のRGB信号を連動させ偽色を防ぐ。

一例として、G画素の位置にR信号を補う場合を図5に示す。もし補間する位置のG信号が残りの部分の平均値より大きいならば、生成するR信号も近傍の値の平均より大きくする。このようにRGB信号を連動させれば、図4のように各色がばらばらに変化することはなくなり、偽色が出にくくなる。

しかし、ACPI法ではエッジの検出に2色の情報しか利用しないため再現精度が低く、例えば、B画素の位置ではR信号のエッジは無視される。更に、補間に用いる画素が少ないため元の信号を正確に再現できない。これらの影響から、ACPI法



では偽色ではなく、図6に示すようなZipperノイズと呼ばれる特有のノイズが発生する問題がある。

3 曲面当てはめ方式

3.1 エッジの検出

当社が開発した曲面当てはめ方式では、エッジ検出の精度を高めるため、エッジ検出に用いる色の数をACPI法の2色から3色に増やすとともに、更に、ブロックの中心部分だけでなくブロックの周辺部分のRAWデータも参照し、エッジの向きや大きさの統計的な偏りを検出する。

エッジの向きと強度を表す勾(こう)配ベクトルは、同じ色のカラーフィルタを持ち、同一直線状にはない隣接した3画素があれば定義できる。そのため、一つのブロックからは異なる色と位置に対応した勾配ベクトルを多数得ることができる。

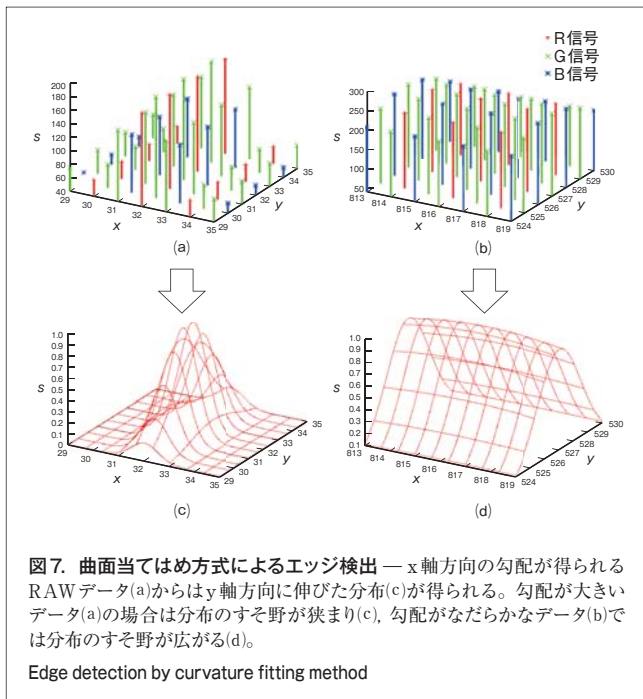
得られた勾配ベクトル $(\Delta x_i, \Delta y_i)$ ($i=0,1,\dots$) はテクスチャに応じて偏りを生ずるため、(1)式で表される2次元ガウス分布の形状はエッジの形状や性質によって変化する(図7)。

$$W(X,Y)=\exp\left(-\frac{(X,Y)}{h}\left(\frac{\Delta x_i^2}{\Delta x_i \Delta y_i} \quad \frac{\Delta x_i \Delta y_i}{\Delta y_i^2}\right)\right)\left(\frac{X}{Y}\right) \quad (1)$$

$$(X,Y) = (x - c_x, y - c_y)$$

ここで、 (c_x, c_y) はブロックの中心部分の座標、 (X, Y) はブロックの中心部分を原点とした座標系、及び h は正の実数である。

W の値が大きい画素は、中心画素と同じ色及び明るさを持つ



つ可能性が高いため、3.2節で述べる曲面当てはめ処理でも重視する。これは、ACPI法で言えば信号量変化が少ない方向の画素だけを利用することに対応している。

3.2 曲面の当てはめ

曲面当てはめ方式では、まず、画像のブロック内のRGB信号をそれぞれ定数項だけが異なる(2)式で示す三つの多項式でモデル化する。

$$f_c(X,Y)=\beta_c+f(X,Y) \quad C \in \{R,G,B\}$$

$$f(X,Y)=\beta_1 X+\beta_2 Y+\beta_3 X^2+\beta_4 XY+\beta_5 Y^2+\dots \quad (2)$$

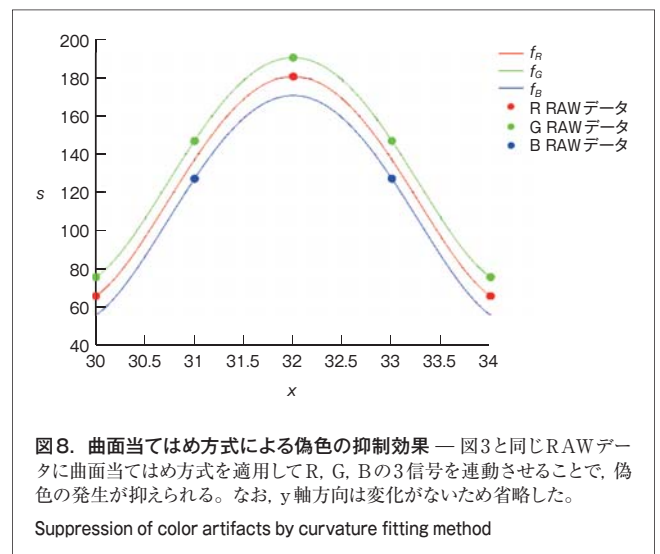
ここで、 f_R がR信号に、 f_G がG信号に、 f_B がB信号にそれぞれ対応し、 β_c 及び β_i ($i=1,2,3,\dots$) は曲面 f_R, f_G, f_B の形を決めるパラメータで実数である。 f_R, f_G, f_B の定数項以外のパラメータを統一したことにより、R信号とG信号の差、及びG信号とB信号の差の変化が抑えられる。図8においては、 f_R, f_G, f_B の s (信号強度) 軸方向のずれが常に一定になるため、図4の線形補間のようにRGB信号の大小関係が不自然に変化しなくなり、偽色が減少する。

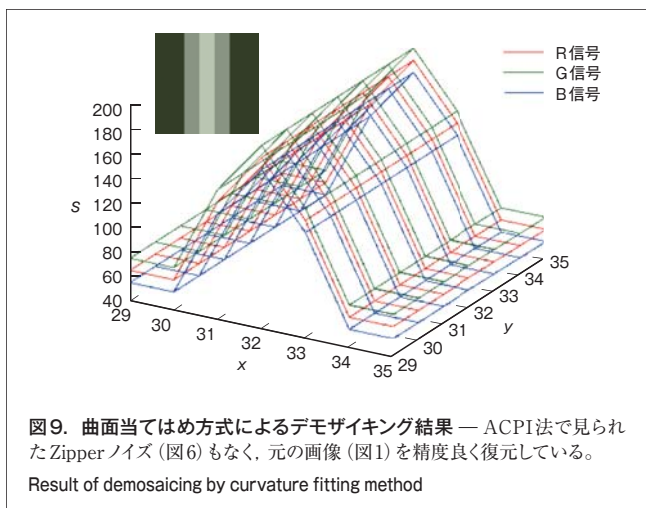
次に、モデルのパラメータ β を(3)式で定義されるエネルギー E が最小となるように設定する。

$$E = \sum_{X,Y} \sum_{C \in \{R,G,B\}} W(X,Y) \|s(X,Y,C) - f_c(X,Y)\|^2 \quad (3)$$

ここで、 $s(X,Y,C)$ は位置 (X,Y) から得られた色 C に対応するRAWデータである。 E を小さくすると、モデルとRAWデータがよく一致する。例えば、図8においては信号のモデル f_R, f_G, f_B がRAWデータを表す点の近傍を通るようになる。

最後に、得られた f_R, f_G, f_B に任意の位置の座標を代入して欠けた信号を補う。例えば、図3においてブロック中心 $(x,y)=$





(32, 32), すなわち $(X, Y) = (0, 0)$ ではG信号だけが得られているので, R信号, B信号は $f_R(0, 0)$, $f_B(0, 0)$ とする。

以上の処理をブロックをずらしながら行って, 最終的な処理結果(図9)を得る。

ACPI法ではデモザイキングに用いる画素数は固定であるが, 曲面当てはめ方式では f_R, f_G, f_B のパラメータ推定に用いる画素の数を増やすことが容易である。多くの画素を使ってモデルの β を推定すれば, f_R, f_G, f_B の形が実際の信号により近くなる, すなわち, 図6のようなZipperノイズにつながる不自然な凹凸も抑制することができると考えられる。実際に図9では, 線形補間で見られた偽色(図4)や, ACPI法で見られたZipperノイズ(図6)がなくなっている。

4 実際の画像における画質の改善

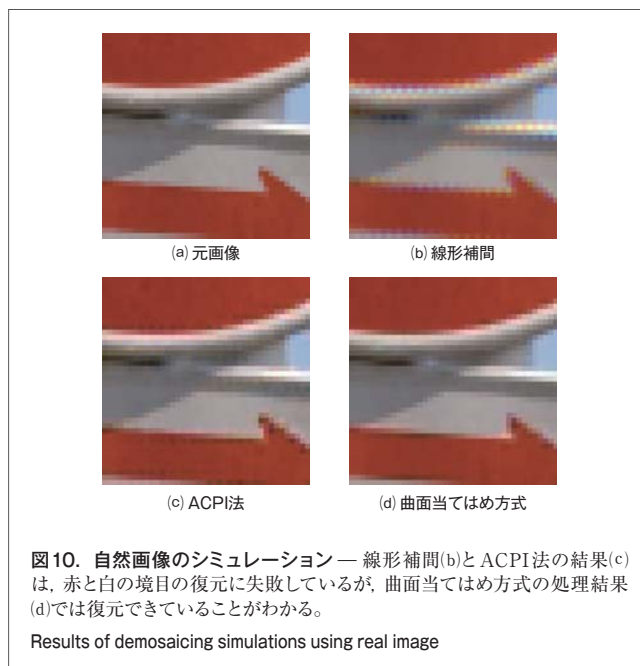
自然画像において偽色が発生する過程を, 図10によりシミュレーション結果を用いて説明する。

まず元の画像(a)を用意し, 次にそれを間引いてRAWデータを生成する。更に, 得られたRAWデータに線形補間によるデモザイキングを適用して処理結果(b)を得た。線形補間のデモザイキング結果を見ると, 平坦な部は問題なく復元できているが, 白地と赤地の境目に元画像にない色と模様, すなわち偽色が現れている。ACPI法の処理結果(c)では, 線形補間ほど偽色は出ないものの, 同じ部分に粒上のZipperノイズが発生している。

これらに対して, 曲面当てはめ方式を用いた処理結果(d)では, 偽色やZipperノイズのない自然な画像が得られている。

5 あとがき

ここでは, 当社が開発してきた偽色に強いデモザイキングアルゴリズムである曲面当てはめ方式について述べた。携帯



端末の市場では, より高い画質が得られる, より小型のカメラへのニーズは高まり続けており, 当社はここで紹介したデモザイキングを含めた高画質化技術により, 単板式イメージセンサを使用する小型カメラのいっそうの画質改善を進めていく。

文献

- (1) Gunturk, B. K., et al. Demosaicing: Color Filter Array Interpolation. IEEE Signal Processing Magazine. 22, 1, 2005, p.44 - 54.
- (2) Hamilton, Jr., J. F., et al. Adaptive Color Plane Interpolation in Single Sensor Color Electronic Camera. U.S. Patent 5, 629, 734. 1997-05-13.



五十川 賢造 ISOGAWA Kenzo

研究開発センター マルチメディアラボラトリー。
映像の高画質化の研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。
Multimedia Lab.



三島 直 MISHIMA Nao

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。
画像処理技術の開発に従事。
Multimedia Lab.



伊藤 剛 ITOH Goh

研究開発センター マルチメディアラボラトリー室長。
動画シミュレータの開発に従事後, 画像処理技術の開発に従事。映像情報メディア学会, SID 会員。
Multimedia Lab.