

1.1 Bayer パターンにおける色再現

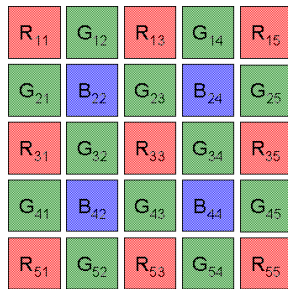


図1

一般的な CCD カメラの撮像素子(CCD)は光の強度に対する濃淡の情報しか得ることができない．そこでカラー化のために CCD にカラーフィルタを被せ，個々の CCD 素子に色を識別させ，後に信号処理を行うことで個々の画素をカラー化させている．一般的なカラーフィルタのパターンは図1の様な Bayer パターンである¹⁾．基本的に色は赤緑青 (RGB) の3原色を配合することで種々の色を

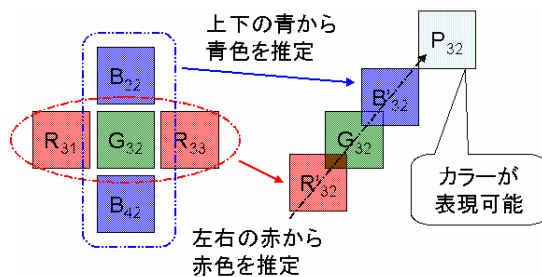


図2

合成することが可能だが，個々の素子は1つの色しか得ることができなため，足りない色情報は図2の様に周りの素子から推定することになる．この推定の方法には幾つかの種類があるが，もっとも簡単な方法は線形補間を用いる方法である．しかしながら，線形補間ではエッジ部や細部等での色ずれやにじみなどの弊害が生じて

しまうため，これらの弊害を改善した方法として，色相を保つ補間法，メジアン処理による補間法，勾配に基づく補間法，および，適応型カラープレーン補間法(ACPI) などがある²⁾．ここでは最初に線形補間による色再現について述べ，その後勾配法および現在一般的に使われている ACPI 法について説明をする．

1.1.2 線形補間による色再現法

線形補間は補間すべき点の周囲の画素の平均値を与える方法である。線形補間を用いた色再現は足りない色情報を周囲の与えられた色情報の平均値から推定する。例えば図2の G_{32} における足りない色情報は赤 \hat{R}_{32} と青 \hat{B}_{32} であり、これらの推定値は

$$\hat{R}_{32} = (R_{31} + R_{33})/2 \quad (1)$$

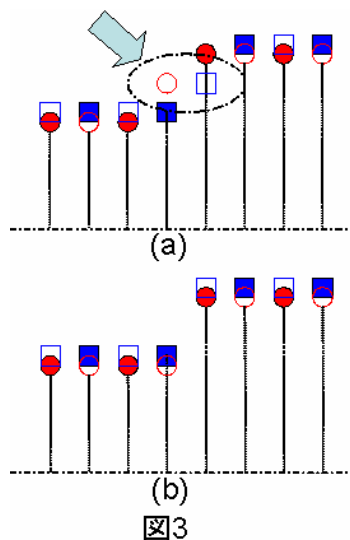
$$\hat{B}_{32} = (B_{22} + B_{42})/2 \quad (2)$$

で求められる。また、図1の B_{22} における足りない色情報は緑 \hat{G}_{22} と赤 \hat{R}_{22} であり、これらの推定値は周囲の各々の4点の色の平均値、つまり

$$\hat{G}_{22} = (G_{12} + G_{21} + G_{23} + G_{32})/4 \quad (3)$$

$$\hat{R}_{22} = (R_{11} + R_{13} + R_{31} + R_{33})/4 \quad (4)$$

で求められる。



線形補間は非常に簡単なアルゴリズムではあるが、エッジ部に色ずれやにじみが生じやすい。例えば、図3 (a)は線形補間を施した2色の色再現のモデルである。本来であれば図3 (b)のように2つの色共にエッジを保存する値が推定されなければならないが、線形補間法では周辺の画素の平均値を取るため、図3 (a)に示すように滑らかな色信号が推定されてしまい、それが原因で色ずれやにじみが発生することになる。よって、如何にエッジ部においてエッジを保存し、正しい色を推定するかが Bayer パターンを用いたカラーフィルタの色再現の重要なポイントとなる。

1.1.3 勾配に基づく補間法

勾配法は最初に輝度成分である緑の成分を処理対象原画素の連続性の強い方向に沿って求める。その後、他の色の成分を求めた緑の成分の補間値と比較することで、色ずれの起き難い補間を行うおうというものである。

具体的に図1の赤の成分 R_{33} の位置における足りない色情報は緑 \hat{G}_{33} と青 \hat{B}_{33} である。最初に緑の成分 \hat{G}_{33} の補間値は

$$\hat{G}_{33} = \begin{cases} \frac{G_{23} + G_{43}}{2} & \text{if } \alpha < \beta \\ \frac{G_{32} + G_{34}}{2} & \text{if } \alpha > \beta \\ \frac{G_{23} + G_{43} + G_{32} + G_{34}}{4} & \text{if } \alpha = \beta \end{cases} \quad (5)$$

で求められる。ここで、 α 及び β は青または赤の成分における縦方向または横方向の連続性を確かめる値であり、 R_{33} の位置においては原画素である赤の成分の連続性を確かめるため、 α 及び β は

$$\alpha = \left| \frac{R_{13} + R_{53}}{2} - R_{33} \right| \quad (6)$$

$$\beta = \left| \frac{R_{31} + R_{35}}{2} - R_{33} \right| \quad (7)$$

で与えられる。

青の成分である B_{33} の補間値は

$$\hat{B}_{33} = \frac{(B_{22} - \hat{G}_{22}) + (B_{24} - \hat{G}_{24}) + (B_{42} - \hat{G}_{42}) + (B_{44} - \hat{G}_{44})}{4} + \hat{G}_{33} \quad (8)$$

で求められる。なお、ここで \hat{G}_{ij} は式5で求めた緑の成分の補間値である。

求める画素の位置が緑の成分の位置である場合、足りない色情報は青と赤になる。これらの色は緑の画素の周辺領域には各々1方向しかない。よって図1における緑の成分 G_{23} の位置における足りない色情報は青 B_{23} と赤 R_{23} であり、

$$\hat{B}_{23} = \frac{(B_{22} - \hat{G}_{22}) + (B_{24} - \hat{G}_{24})}{4} + G_{23} \quad (9)$$

$$\hat{R}_{23} = \frac{(R_{13} - \hat{G}_{13}) + (R_{33} - \hat{G}_{33})}{2} + G_{23} \quad (10)$$

によって求められる。

1.1.4 適応型カラープレーン補間法(ACPI)

適応型カラープレーン補間法 (Advanced Color Plane Interpolation: ACPI) 法は補間すべき点の周囲の画素の線形補間値に高周波数成分を加えることで従来の方法に対してより鮮鋭なカラー画像を得ることができる方法である。線形補間は平滑化の効果もあるため高周波数成分を復元することができず、ぼけた画像となる。そこで、周辺領域の原画素を用いて高周波数成分を推定し、線形補間の画素に加えることで鮮鋭化を行なおうというものである。ここで具体的に図1の R_{33} に対して足りない色情報である緑の成分と青の成分の補間値を求める。ACPI 法では緑の成分である G_{33} の値の補間値は縦および横の2つの方向から求め、処理対象原画素においてより連続性が強いと判断される方向の補間値を求めており、かつ、足りない画素の色情報を他の存在する色の情報をも用いて導出している。よって、緑の成分 \hat{G}_{33} は

$$\hat{G}_{33} = \begin{cases} \frac{G_{23}+G_{43}}{2} + \frac{-R_{13}+2\cdot R_{33}-R_{53}}{4} & \text{if } \alpha < \beta \\ \frac{G_{32}+G_{34}}{2} + \frac{-R_{31}+2\cdot R_{33}-R_{35}}{4} & \text{if } \alpha > \beta \\ \frac{G_{23}+G_{43}+G_{32}+G_{34}}{4} + \frac{-R_{13}-R_{31}+4\cdot R_{33}-R_{35}-R_{53}}{8} & \text{if } \alpha = \beta \end{cases} \quad (11)$$

で求められる。式11は緑の成分のみならず、存在する赤の成分の情報も用いて緑の成分の補間値を導出していることがわかる。ここで、 α 及び β は

$$\alpha = |-R_{13} + 2 \cdot R_{33} - R_{53}| + |G_{23} - G_{43}| \quad (12)$$

$$\beta = |-R_{31} + 2 \cdot R_{33} - R_{35}| + |G_{32} - G_{34}| \quad (13)$$

で与えられる。式11の右辺第一項は隣接する同じ色成分から算出される線形補間値であり、第二項は他の色成分より導かれる高周波数成分である。 $\alpha < \beta$ のときは垂直方向に連続である可能性が高く、 $\alpha > \beta$ の時には水平方向に連続である可能性が高いと考えられる。 $\alpha = \beta$ の時はエッジや細部などの非定常性の強い信号が局所領域内にあると考えられるため、色ずれを起こさないためにより連続性の強い方向の原画素を用いて補間値を得るようにする。また、 $\alpha = \beta$ の時には局所領域内は平坦である可能性が高く、この場合には局所領域内のすべての原画素を用いて補間値を得ることができる。

青の成分である B_{33} の補間値は左斜め方向及び右斜め方向の青の成分の原画素と緑の成分の補間値を用いて、式11と同様にその補間値を求める。よって、 \hat{B}_{33} は

$$\hat{B}_{33} = \begin{cases} \frac{B_{24}+B_{42}}{2} + \frac{-\hat{G}_{24}+2\cdot\hat{G}_{33}-\hat{G}_{42}}{4} & \text{if } \alpha' < \beta' \\ \frac{B_{22}+B_{44}}{2} + \frac{-\hat{G}_{22}+2\cdot\hat{G}_{33}-\hat{G}_{44}}{4} & \text{if } \alpha' > \beta' \\ \frac{B_{24}+B_{42}+B_{22}+B_{44}}{4} + \frac{-\hat{G}_{22}-\hat{G}_{24}+4\cdot\hat{G}_{33}-\hat{G}_{42}-\hat{G}_{44}}{8} & \text{if } \alpha' = \beta' \end{cases} \quad (14)$$

で求められる。また ' α' および ' β' は

$$\alpha' = |-\hat{G}_{24} + 2 \cdot \hat{G}_{33} - \hat{G}_{42}| + |B_{24} - B_{42}| \quad (15)$$

$$\beta' = |-\hat{G}_{22} + 2 \cdot \hat{G}_{33} - \hat{G}_{44}| + |B_{22} - B_{44}| \quad (16)$$

で与えられる .

ACPI 法の手順としては輝度成分の強い緑の成分の補間値を式 1 1 から求め、その後求めた緑の成分の補間値を用いて青または赤の成分の補間値を式 1 4 から求めることになる .

以上は青または赤が原信号である画素の位置に対する ACPI 法の適用例であるが、緑の成分が原信号である場合、足りない色情報は青と赤であり、青と赤の両方の成分を補間によって求める必要がある . 具体的には緑の成分 G_{23} の位置における青と赤の成分の補間値は

$$\hat{B}_{23} = \frac{B_{22} + B_{24}}{2} + \frac{-\hat{G}_{22} + 2 \cdot G_{23} - \hat{G}_{24}}{4} \quad (17)$$

$$\hat{R}_{23} = \frac{R_{13} + R_{33}}{2} + \frac{-\hat{G}_{13} + 2 \cdot G_{23} - \hat{G}_{33}}{4} \quad (18)$$

で求められる .

以上に線形補間、勾配に基づく補間、ACPI 法等による Bayer パターンの色再現法について述べたが、カラーフィルタのパターンとしてはシアン (C), マゼンダ (M), 黄色 (Y) の組み合わせもある . しかし、足りない色情報の推定方法は以上で述べた方法と同様に求めることができる .

その他、色相を考慮した方法 ¹⁶⁾ やメジアンを用いた補間法 ¹⁷⁾ 等があるが、一般的にはカラー信号の R G B の相関の強さを利用している ACPI 法が用いられており、さらに ACPI 法 を改良した方法の提案もなされている ^{3,18)} .

ACPI のプログラムは下記で公開中

http://www.ess.ic.kanagawa-it.ac.jp/app_images_j.html#acpi