

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号  
特許第5151075号  
(P5151075)

(45) 発行日 平成25年2月27日(2013.2.27)

(24) 登録日 平成24年12月14日(2012.12.14)

(51) Int.Cl.

HO4N 9/07 (2006.01)

F I

HO4N 9/07 C

HO4N 9/07 A

請求項の数 12 (全 36 頁)

(21) 出願番号	特願2006-169322 (P2006-169322)	(73) 特許権者	000002185
(22) 出願日	平成18年6月19日 (2006.6.19)		ソニー株式会社
(65) 公開番号	特開2007-37104 (P2007-37104A)		東京都港区港南1丁目7番1号
(43) 公開日	平成19年2月8日 (2007.2.8)	(74) 代理人	100093241
審査請求日	平成21年2月19日 (2009.2.19)		弁理士 宮田 正昭
(31) 優先権主張番号	特願2005-180266 (P2005-180266)	(74) 代理人	100101801
(32) 優先日	平成17年6月21日 (2005.6.21)		弁理士 山田 英治
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100095496
			弁理士 佐々木 榮二
		(74) 代理人	100086531
			弁理士 澤田 俊夫
		(72) 発明者	千葉 卓也
			東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像処理装置及び画像処理方法、撮像装置、並びにコンピュータ・プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

G成分が他のR B成分の各々の周囲を囲むように配列された色コーディング用の色フィルタを有する撮像手段により撮像された画像を処理する画像処理装置において、  
画像信号を入力する手段と、

G信号が抜けた補間画素を取り囲む各周囲画素のうち、第1の直交方向に隣接してG信号が存在する第1の周囲画素について、前記第1の直交方向の画素とのG信号の相関度合いを示す前記第1の相関値を求め、相関値の高い方から所定数を平均して前記補間画素の前記第1の相関値とする第1の相関値算出手段と、

前記各周囲画素のうち、前記第1の周囲画素以外の第2の周囲画素について、前記第1の直交方向とは異なる第2の直交方向の画素との相関度合いを示す前記第2の相関値を求め、相関値の高い方から所定数を平均して前記補間画素の前記第2の相関値とする第2の相関値算出手段と、

前記第1の相関値と前記第2の相関値とに基づいて、前記補間画素を補間する際に使用する補間用画素を特定する補間用画素特定手段と、

前記補間用画素特定手段により特定された補間用画素に存在するG信号を用いて前記補間画素のG信号を補間する補間手段と、  
を具備することを特徴とする画像処理装置。

【請求項 2】

前記相関値算出手段は、前記周囲画素の各々について、直交する2つのフィルタの出力

10

20

に基づいて前記第 1 の相関値を算出するとともに、前記第 1 の相関値の算出の際とは異なる方向特性を持つ直交する 2 つのフィルタの出力に基づいて前記第 2 の相関値を算出する、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 3】

前記相関値算出手段は、前記第 2 の相関値の算出において、前記第 1 の相関値の算出に使用するフィルタとは所定の角度だけ方向特性がずれたフィルタを用いる、  
ことを特徴とする請求項 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 4】

前記補間用画素特定手段は、前記第 1 の相関値と前記第 2 の相関値との相関関係を比較することにより、補間しようとする所望の画素回り 360 度の相関性に基づいて、所望の画素を補間する際に使用する他の画素を特定する、  
ことを特徴とする請求項 2 に記載の画像処理装置。

10

【請求項 5】

前記色コーディング用の色フィルタ上には、各画素が水平方向及び垂直方向で等間隔となるように正格子状に配列された画素配列に対して、G 成分が R B 成分のそれぞれの周囲を囲むように配置されている、  
ことを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 6】

前記色コーディング用の色フィルタ上には、各画素が 1 行毎及び 1 列毎に画素ピッチの 1/2 ずつずれた斜め画素配列に対して、G 成分が R B 成分のそれぞれの周囲を囲むように配置されている、  
ことを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理装置。

20

【請求項 7】

前記補間用画素特定手段は、前記第 1 の相関値及び前記第 2 の相関値に基づいて前記補間画素が持つ相関の方向性を求め、相関が強い方向の周囲画素を補間用画素とする、  
ことを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 8】

前記第 1 の相関値及び前記第 2 の相関値に関する信頼度を算出する信頼度算出手段をさらに備え、

30

前記補間用画素特定手段は、前記信頼度に応じて補間用画素を特定する、  
ことを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 9】

前記補間用画素特定手段は、前記第 1 の相関値と前記第 2 の相関値の和に基づいて前記信頼度を判別する、  
ことを特徴とする請求項 8 に記載の画像処理装置。

【請求項 10】

前記信頼度が所定の範囲内に収まるときには、前記補間用画素特定手段は相関が強い方向の周囲画素を補間用画素とする、  
ことを特徴とする請求項 8 に記載の画像処理装置。

40

【請求項 11】

前記信頼度が所定の範囲外にあるときには、前記補間用画素特定手段は補間用画素を特定せず、前記補間手段は前記補間画素の周辺画素の情報の平均値を用いて補間を行なう、  
ことを特徴とする請求項 8 に記載の画像処理装置。

【請求項 12】

G 成分が他の R B 成分の各々の周囲を囲むように配列された色コーディング用の色コーディング用の色フィルタを有する撮像手段により撮像された画像を処理する画像処理方法において、

G 信号が抜けた補間画素を取り囲む各周囲画素のうち、第 1 の直交方向に隣接して G 信号が存在する第 1 の周囲画素について、前記第 1 の直交方向の画素との G 信号の相関度合

50

いを示す前記第 1 の相関値を求め、相関値の高い方から所定数を平均して前記補間画素の前記第 1 の相関値とする第 1 の相関値算出ステップと、

前記各周囲画素のうち、前記第 1 の周囲画素以外の第 2 の周囲画素について、前記第 1 の直交方向とは異なる第 2 の直交方向の画素との相関度合いを示す前記第 2 の相関値を求め、相関値の高い方から所定数を平均して前記補間画素の前記第 2 の相関値とする第 2 の相関値算出ステップと、

前記第 1 の相関値と前記第 2 の相関値とに基づいて、前記補間画素を補間する際に使用する補間用画素を特定する補間用画素特定ステップと、

前記補間用画素特定ステップにおいて特定された補間用画素に存在する G 信号を用いて前記補間画素の G 信号を補間する補間ステップと、

を有することを特徴とする画像処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、所定の色コーディングのフィルタ（色フィルタ）を有する固体撮像装置の出力信号を処理する画像処理装置及び画像処理方法、これら画像処理装置又は画像処理方法を用いた撮像装置、並びにコンピュータ・プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

カメラは、視覚的な情報を記録する手段として長い歴史を持つ。最近では、フィルムや感光板を使って撮影する銀塩カメラに代わって、CCD (Charge Coupled Device) や CMOS (Complementary Metal - Oxide Semiconductor) などの固体撮像素子で捕捉した画像をデジタル化するデジタルカメラが広範に普及している。

【0003】

固体撮像素子を利用したイメージ・センサは、2次元に配列された各画素（フォトダイオード）が光電効果を利用して光を電荷に変換する仕組みにより構成される。通常、受光面に R（赤）、緑（G）、青（B）の3色からなる色フィルタを設け、入射光を人間の目に見える3原色に色分解する。そして、各画素では色フィルタを通した入射光量に対応して蓄積された信号電荷を読み取ることで、人間の目に見える RGB 画像信号を得ることができる。

【0004】

さらに、RGB 画像信号を YUV 画像信号に色空間変換して、表示出力や画像記録に使用される。YUV は、輝度信号 Y と赤の色差 U 及び青の色差 V からなる2つの色度で色を表現するものであり、YUV 変換することで、輝度に対する解像度は高いが色に対する解像度が低いという人間の視感度特性を利用して、データ圧縮を行ない易くなる。例えば、NTSC (National Television Standards Committee) 規格では、以下の3式により RGB から YUV への色空間変換が施される。

【0005】

$$Y = 0.6G + 0.3R + 0.1B \quad \dots\dots (1)$$

$$Cr (R - Y) = R - (0.3R + 0.6G + 0.1B) \quad \dots (2)$$

$$Cb (B - Y) = B - (0.3R + 0.6G + 0.1B) \quad \dots (3)$$

【0006】

例えば、R（赤）、G（緑）、B（青）の原色フィルタを3個の固体撮像装置に対して同空間位相に配置することで高解像度な RGB 信号を得て、高画質化を実現した3板式撮像装置が知られている。しかし、3板式撮像装置は、3個の固体撮像装置を用いて入射光を RGB の色毎に分解するプリズムを用いる必要があるため、装置の小型化や低コスト化を図る上で難がある。

【0007】

一方、1個の固体撮像装置に RGB の色フィルタを画素単位で適当に配列することで、

10

20

30

40

50

小型化・低コスト化を図った単板式撮像装置もある。この単板式撮像装置では、R、G、Bの各色フィルタを画素単位で間欠的に配列した色コーディングが施されている。色コーディングの代表的なものとして、従来から広く用いられているベイヤー配列が挙げられる（図24を参照のこと）。

#### 【0008】

色コーディングすると、Rの色フィルタが配置された画素ではG及びBの成分の情報が欠落し、Gの色フィルタが配置された画素ではR及びBの成分の情報が欠落することになる。後の信号処理で色空間変換を行なう際、各画素においてRGBすべての信号が必要である。何故ならば、空間的に位相が異なるRGB信号から上式(1)～(2)を用いて輝度信号Yや色差信号Cr、Cbを生成すると、色偽信号を作る原因となるからである。このため、色フィルタ配列補間により各画素で失われた色信号を復元して、同じ空間位相のRGB信号を作った上で（図25を参照のこと）、色空間変換を行なう必要がある。このような補間技術は「デモザイク」と呼ばれる。

10

#### 【0009】

RGB信号の補間精度は色コーディングに依存するから、色コーディングに応じて固体撮像装置の特性が異なることになる。図24に示したベイヤー配列は、奇数行目にRの色フィルタとGの色フィルタとを交互に配列し、偶数行目にGの色フィルタとBの色フィルタを交互に配列している。ベイヤー配列では、RBの各色フィルタに対してGの色フィルタを多く配列した構成を採っているため、RBよりもGをより高い精度で補間することができる。

20

#### 【0010】

上式(1)から明らかなように、Gは輝度信号を作る上で主成分であり、輝度信号の解像度はGの解像度に大きく依存する。画像信号の解像度は画素のサンプリングレート $1/f_s$ に比例するが（ $f_s$ は画素のサンプリング周波数）、ベイヤー配列によれば、Gの色フィルタ配列補間の精度を向上させることで、RBの解像度よりもGの解像度が高いという特性を得ることができる。人間は輝度に対しての解像度が高く、色に対する解像度が低いという視感度特性を持つので、ベイヤー配列は人間の視感特性をうまく利用した色コーディングと言える。

#### 【0011】

30

また、補間技術によって、空間的に位相が異なるRGB信号から同空間位相のRGB信号を如何に最適に作ることができるかが重要である。画像信号の補間処理が最適でないと、高解像度の画像が得られなかったり、あるいは、偽色信号が発生したりする原因となる。

#### 【0012】

例えば、ベイヤー配列で色コーディングされたRGB画像信号の補間処理を行なう際に、補間すべき画素の近傍8画素、すなわち注目画素の上、下、右、左、右上、右下、左上、左下の計8画素の変化量を算出し、この算出した変化量に重み付けをして相関値を算出するとともに、この算出した相関値を基にして補間係数を決定し、補間データに対して補間係数をそれぞれ掛け合わせた後で加算する画像処理装置について提案がなされている（例えば、特許文献1を参照のこと）。

40

#### 【0013】

この画像処理装置によれば、補間係数に基づいて上記4つの画素情報を基に補間処理を行なうことにより、相関値の算出方向に対して直交していない方向のエッジに対しても良好に相関の度合いを判定できることから、補間処理後の斜めエッジがぼやけることなく良好に再現できるとともに、折れ曲がった線や、直角に曲がった角の部分などにおいても良好に補間することが可能となる。

#### 【0014】

ところで、ベイヤー配列においては、色フィルタの配列から決定されるGの解像度とRBの解像度の限界解像度は斜め45度方向で同じである。Gは輝度信号を作る上での主成

50

分であって輝度解像度に大きく依存し、R Bは色差信号の解像度に大きく依存するために、Gの解像度を上げることが高解像度な画像を生成するポイントとなる。また、人間の目は、輝度に関しては高い周波数まで認識できるが、色に関しては高い周波数を認識することが困難であるという性質があることから、ベイヤー配列は色解像度と輝度解像度のバランスが人間の視感度特性と十分にはマッチングしていないと思料される。

【0015】

かかる点に鑑み、本出願人は、輝度成分を作る上で主成分となるG成分を、他のR B成分の各々の周囲を囲むように配置し、ベイヤー配列に対してR Bの画素数を1/2にする代わりにGを増やすことで、色解像度を若干犠牲にするが輝度解像度を約2倍に上げた色コーディングについて提案している（例えば、特願2005-107037号明細書を参照のこと）。このような色コーディングの方が、ベイヤー配列の色コーディングよりも人間の視感度特性にマッチするが、ベイヤー配列の色コーディングの場合よりも高い解像度を出すべく、より高度な補間処理が必要になる。

【0016】

【特許文献1】特開平11-177994号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0017】

本発明の目的は、色コーディングされたRGB画像をより高い精度で色フィルタ配列補間を施して、より高い輝度解像度を得られるようにした、優れた画像処理装置及び画像処理方法、撮像装置、並びにコンピュータ・プログラムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0018】

本発明は、上記課題を参酌してなされたものであり、その第1の側面は、色コーディング用の色フィルタを有する撮像手段により撮像された画像を処理する画像処理装置において、

画像信号を入力する手段と、

前記画像信号について、画素間の相関度合いを示す、少なくとも第1の相関値及び第2の相関値を算出する相関値算出手段と、

前記第1の相関値と前記第2の相関値とに基づいて、所望の画素を補間する際に使用する他の画素を特定する補間用画素特定手段と、

前記補間用画素特定手段により特定された画素から前記所望の画素を補間する補間手段と、

を具備することを特徴とする画像処理装置である。

【0019】

本発明に係る画像処理装置は、例えば、各画素が水平方向及び垂直方向で等間隔となるように正方格子状に配列された画素配列に対して、輝度成分を算出する際に主成分となる色成分が、他の色成分のそれぞれの周囲を囲むように配置した色フィルタを用いた色コーディングが施された画像信号に対して、色フィルタ配列補間を行なうものである。あるいは、色コーディング用の色フィルタ上には、各画素が1行毎及び1列毎に画素ピッチの1/2ずつずれた斜め画素配列に対して、輝度成分を算出する際に主成分となる色成分が、他の色成分のそれぞれの周囲を囲むように配置されている。

【0020】

このような色コーディングは、ベイヤー配列に対してR Bの画素数を1/2にする代わりにGを増やすことにより、理論的なGの限界解像度が上がる。したがって、Gの高精度に補間処理することによってGの解像度が限界解像度付近まで向上するので、色解像度を若干犠牲にするものの、輝度解像度を約2倍に向上させることができる。

【0021】

相関値算出手段は、補間対象となる（すなわち輝度信号の主成分となるGが欠落した）空間位置の画素においてGを補間する際、その画素を取り囲む周囲の画像信号について、

10

20

30

40

50

画素間でGの相関の強さを示す相関値を少なくとも2以上の方向で算出する。

【0022】

画素間の相関値は、画像の水平方向と垂直方向といった具合に、直交する2方向で画像信号をフィルタリングし、そのフィルタ出力から1つの方向特性において相関値を算出することができる。ここで言うフィルタは、好ましくはDC成分を除去するバンドパスフィルタであり、微分フィルタを始めとするハイパスフィルタを使用することができる。

【0023】

水平方向のバンドパスフィルタ出力を $BPF(H)$ 、垂直方向のバンドパスフィルタ出力を $BPF(V)$ とおくと、水平垂直方向 $HV$ の相関値 $S(HV)$ は $BPF(H) / \{BPF(H) + BPF(V)\}$ で表される。そして、 $S(HV)$ は0~1の値をとるが、1に近づくとき水平方向に画像信号のうねりがあり、垂直方向において画素間の相関が高いことを表すから、所望画素を取り囲む周囲画素のうち垂直方向に位置する画素を補間用の画素として特定することが好ましい。逆に $S(HV)$ が0に近づくとき、垂直方向に画像信号のうねりがあり、水平方向において画素間の相関が高いことを表すから所望画素の水平方向に位置する画素を補間用の画素として特定することが好ましい。

10

【0024】

相関値算出手段は、水平垂直方向の相関値 $S(HV)$ を第1の相関値として算出することができる。但し、単一の方法で算出した相関値のみを使用する場合、相関値 $S(HV)$ が0.5付近の値となるときには、垂直軸に対し+45度の方向で画素間の相関が高いのか、あるいは-45度の方向で画素間の相関が高いかが不明となり、補間用の画素を特定することができなくなる。

20

【0025】

そこで、相関値算出手段は、さらに第1の相関値とは異なる方向特性において第2の相関値を求め、第1の相関値が中間的な値となるときを補い、補間用画素特定手段において画素を補間する方向を特定する分解能を向上させるようにした。

【0026】

相関値算出手段は、第1の相関値を算出する際に用いる1組の直交するフィルタとは方向特性の異なる他のもう1組の直交するフィルタを配設して、これらのフィルタ出力に基づいて第2の相関値を算出する。

【0027】

上述したように第1の相関値として水平垂直方向 $HV$ の相関値 $S(HV)$ を算出する場合、第2の相関値として、非水平方向 $NH$ のバンドパスフィルタ出力 $BPF(NH)$ と、 $BPF(HN)$ とは直交する非水平方向 $NH$ のバンドパスフィルタ出力 $BPF(NV)$ を基に算出される非水平非垂直方向 $NH/NV$ の相関値 $S(NH/NV)$ を用いることができる。 $S(NH/NV)$ は、 $BPF(NH) / \{BPF(NH) + BPF(NV)\}$ で表される。

30

【0028】

垂直方向 $H$ に対してそれぞれ $\pm 45$ 度だけ回転させた方向を非水平方向 $NH$ 、非垂直方向 $NV$ として、直交する $NH$ 及び $NV$ 方向にそれぞれ配置したバンドパスフィルタの出力から第2の相関値を求める場合、第1の相関値と第2の相関値は一方が0.5付近の相関値であるときに他方の相関値で補い合うことができ、補間方向を特定するための分解能が最大限となる。

40

【0029】

すなわち、本発明に係る画像処理装置によれば、補間用画素特定手段は、相関値算出手段により求めた複数の相関値を比較することによって相関の方向を全方向(360度)に渡って判定することが可能であり、補間すべき方向をより細かい粒度で特定することができる。そして、補間手段は、その特定された方向に存在する画素の周辺画素の情報を基に、補間対象となる画素に対して補間処理を行なうようにすればよい。

【0030】

また、本発明の第2の側面は、色コーディング用の色フィルタを有する撮像手段により

50

撮像された画像を処理する画像処理装置において、

画像信号を入力する手段と、

前記画像信号について、画素間の相関度合いを示す、少なくとも第1の相関値及び第2の相関値を算出する相関値算出手段と、

前記相関値算出手段により算出した各相関値に関する信頼度を算出する信頼度算出手段と、

前記信頼度に応じた補間処理で所望の画素を補間する補間手段と、  
を具備することを特徴とする画像処理装置である。

【0031】

本発明の第1の側面によれば、補間対象となる画素の周囲画素に関して、方向特性の異なる2以上の相関値を求め、これら複数の相関値を比較することによって相関の方向を全方向(360度)に渡って判定して、補間すべき方向をより細かい粒度で特定することができる。しかしながら、このような補間する方向の特定方法は、各方向特性において求めた相関値が信頼できるものであることが前提となる。

【0032】

そこで、本発明の第2の側面に係る画像処理装置では、前記第1の相関値と前記第2の相関値に関する信頼度を算出し、信頼度に応じた補間処理方法を用いて所望の画素信号を補間するように構成した。例えば、前記相関値算出手段により算出された各相関値の和に基づいて信頼度を算出することができる。

【0033】

ここで、算出した相関値が信頼性のある場合には、本発明の第1の側面に係る画像処理装置と同様に、求めた複数の相関値を相関線と比較することによって相関の方向を全方向(360度)に渡って判定することにより、補間すべき方向を決定して、より精度の高い画素補間を行なう。この結果、精度の高いG信号を基に、解像度の高い輝度信号を得ることができる。

【0034】

他方、算出した相関値が信頼性に欠けるときには、補間する対象となる画素の周辺画素の情報の平均値を用いて補間を行なう。この場合、補間される画素の精度は抑えられ、解像度の高い輝度信号を得ることはできない反面、平均化処理によりSNを向上することができる。

【0035】

また、本発明の第3の側面は、色コーディング用の色フィルタを有する撮像手段により撮像された画像に対する処理をコンピュータ上で実行するようにコンピュータ可読形式で記述されたコンピュータ・プログラムにおいて、前記コンピュータに対し、

前記撮像手段による画像信号について、画素間の相関度合いを示す、少なくとも第1の相関値及び第2の相関値を算出する相関値算出手順と、

前記第1の相関値と前記第2の相関値とに基づいて、所望の画素を補間する際に使用する他の画素を特定する補間用画素特定手順と、

前記補間用画素特定手順を実行して特定された画素から前記所望の画素を補間する補間手順と、

を実行させることを特徴とするコンピュータ・プログラムである。

【0036】

また、本発明の第4の側面は、色コーディング用の色フィルタを有する撮像手段により撮像された画像に対する処理をコンピュータ上で実行するようにコンピュータ可読形式で記述されたコンピュータ・プログラムにおいて、前記コンピュータに対し、

前記撮像手段による画像信号について、画素間の相関度合いを示す、少なくとも第1の相関値及び第2の相関値を算出する相関値算出手順と、

前記相関値算出手順を実行して算出された各相関値に関する信頼度を算出する信頼度算出手順と、

前記信頼度に応じた補間処理で所望の画素を補間する補間手順と、

10

20

30

40

50

を実行させることを特徴とするコンピュータ・プログラムである。

【 0 0 3 7 】

本発明の第 3 及び第 4 の各側面に係るコンピュータ・プログラムは、コンピュータ上で所定の処理を実現するようにコンピュータ可読形式で記述されたコンピュータ・プログラムを定義したものである。換言すれば、本発明の第 3 及び第 4 の各側面に係るコンピュータ・プログラムをコンピュータにインストールすることによって、コンピュータ上では協働的作用が発揮され、本発明の第 1 及び第 2 の各側面に係る画像処理装置と同様の作用効果をそれぞれ得ることができる。

【発明の効果】

【 0 0 3 8 】

本発明によれば、色コーディングされた R G B 画像をより高い精度で色フィルタ配列補間を施して、より高い輝度解像度を得られるようにした、優れた画像処理装置及び画像処理方法、撮像装置、並びにコンピュータ・プログラムを提供することができる。

【 0 0 3 9 】

本発明によれば、とりわけ、各画素が水平方向及び垂直方向で等間隔となるように正格子状に配列された画素配列において、輝度成分を算出する際に主成分となる色成分が、他の色成分のそれぞれの周囲を囲むように配置した色フィルタを用いた色コーディングが施された画像信号に対し、輝度成分を算出する主成分の色フィルタ配列補間を高精度に行なうことができる。

【 0 0 4 0 】

また、本発明に係る画像処理装置は、補間対象となる画素に対して相関の方向を全方向（360度）について判定できることから、その判定した方向を基に適切な補間処理を行なうことができる。

【 0 0 4 1 】

本発明のさらに他の目的、特徴や利点は、後述する本発明の実施形態や添付する図面に基づくより詳細な説明によって明らかになるであろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 4 2 】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳解する。

【 0 0 4 3 】

図 1 には、本発明に係る画像処理装置又は画像処理方法を用いた撮像装置の構成の一例を示している。

【 0 0 4 4 】

ここで言う撮像装置、撮像デバイスとしての固体撮像装置、当該固体撮像装置の撮像面（受光面）上に被写体の像光を結像させる光学系及び当該固体撮像装置の信号処理回路を含むカメラモジュール、当該カメラモジュールを搭載したデジタルスチルカメラやビデオカメラなどのカメラ装置、携帯電話などの電子機器を含むものとする。

【 0 0 4 5 】

図 1 において、被写体（図示せず）からの像光は、光学系、例えば撮像レンズ 11 によって撮像デバイス 12 の撮像面上に結像される。撮像デバイス 12 として、光電変換素子を含む画素が行列状に多数 2 次元配置され、輝度成分を作る上で主成分となる色成分と他の色成分を含む色フィルタが画素の表面上に配置されてなる固体撮像装置が用いられる。

【 0 0 4 6 】

色フィルタを有する固体撮像装置としては、C C D ( C h a r g e C o u p l e d D e v i c e : 電荷結合素子) に代表される電荷転送型固体撮像装置や、M O S ( M e t a l O x i d e S e m i c o n d u c t o r : 金属酸化型半導体) に代表される X - Y アドレス型固体撮像装置などのうちいずれであってもよい。

【 0 0 4 7 】

また、以下では、色フィルタにおいて、輝度（Y）成分を作る上で主成分となる色成分として例えば緑色（G）を、他の色成分として例えば赤色（R）、青色（B）をそれぞれ

10

20

30

40

50



例に挙げて説明する。但し、本発明の要旨はこれらの色成分の組み合わせに限られるものではなく、Y成分を作る上で主成分となる色成分として、例えばホワイト、シアン、イエローなどを用い、他の色成分として、例えばマゼンタ、シアン、イエローなどを用いることも可能である。

【0048】

撮像デバイス12では、入射する像光のうち、各色成分の光のみが色フィルタを通過して各画素に入射する。画素の各々に入射した光は、フォトダイオードなどの光電変換素子によって光電変換される。そして、各画素からアナログ画像信号として読み出され、A/D変換器13でデジタル画像信号に変換された後、本発明に係る画像処理装置であるカメラ信号処理回路14に入力される。

10

【0049】

カメラ信号処理回路14は、光学系補正回路21、WB（ホワイトバランス）回路22、補間処理回路23、ガンマ補正回路24、Y（輝度）信号処理回路25、C（クロマ）信号処理回路26、帯域制限LPF（ローパスフィルタ）27、間引き処理回路28などで構成される。

【0050】

光学系補正回路21は、カメラ信号処理回路14に入力されるデジタル画像信号に対して黒レベルを合わせるデジタルクランプ、撮像デバイス12の欠陥を補正する欠陥補正、撮像レンズ11の周辺光量落ちを補正するシェーディング補正など、撮像デバイス12や光学系の補正を行なう。

20

【0051】

WB回路22は、光学系補正回路21を経た画像信号に対して、ホワイトバランスを調整する処理を施して、白い被写体に対してRGBが同じになるようにする。補間処理回路23は、空間位相の異なる画素を補間によって作り出す、すなわちそれぞれ空間的に位相がずれたRGB信号から3枚のプレーン（同じ空間位置のRGB信号）を作り出す。この補間処理回路23における具体的な補間処理が本発明の特徴とするところであるが、その詳細については後述に譲る。

【0052】

ガンマ補正回路24は、同じ空間位置のRGB信号に対してガンマ補正を掛けた後、Y信号処理回路25及びC信号処理回路26に供給する。ガンマ補正は、被写体の色の階調を正しく表現するために、撮像デバイス12及び後段の映像再生手段などを含むシステム全体の光電変換特性を1とするように、WB回路22から出力されるR、G、Bの色信号に対してそれぞれ所定のゲインを掛ける処理である。

30

【0053】

Y信号処理回路25は上式(1)から輝度(Y)信号を作り、また、C信号処理回路26は上式(2)及び(3)から色差信号Cr(R-Y)、Cb(B-Y)を作る。

【0054】

帯域制限LPF27は、カットオフ周波数がサンプリング周波数 $f_s$ の $1/8$ のフィルタであり、色差信号Cr及びCbに関して通過帯域を $(1/2)f_s$ から $(1/8)f_s$ まで落とす。これはTV信号フォーマットに合わせた出力であり、帯域制限を行なわないで出力した場合には、 $1/8f_s$ 以上の周波数信号が偽色信号として出力されてしまう。間引き処理回路28は、色差信号Cr、Cbのサンプリングの間引きを行なう。

40

【0055】

ここで、ポイントとなるのは、色(C)信号(色差信号Cr、Cb)は、輝度(Y)信号に対して $1/4$ 以下の帯域しか必要ないことである。その理由は、人間の目の特性として、輝度に関しては高い周波数まで認識することができるが、色に関しては高い周波数を認識することが困難であるという性質があるからであり(前述)、TV信号のフォーマットもそのように取り決められている。

【0056】

実際に、Y:Cr:Cb=4:4:4(YとCの出力帯域が一緒)の場合と、Y:Cr

50

:  $Cb = 4 : 1 : 1$  の場合の差分を出力画で観察したとき、特殊な被写体、例えば赤色、青色の点光源以外の通常の被写体ではその差を識別することは難しい。すなわち、TV 信号フォーマットで定められているように、C 信号は Y 信号の  $1/4$  の帯域を持つことで十分な解像度が得られることが分かる。

【0057】

ここで、本発明の特徴部分である補間処理回路 23 での補間処理について説明する。

【0058】

補間処理は、先述したように、色フィルタが間欠的に配列されているために画素に欠けている色成分の信号を、その周囲の画素すなわち空間位相の異なる画素の信号を用いた補間によって作り出すという色フィルタ配列補間であり、デモザイクとも呼ばれる。この補間処理は、解像度の高い画像を得るためには非常に重要な処理となる。何故ならば、補間処理によってうまく補間できない場合には、偽信号を生成して、解像度の低下や色偽の発生の原因となってしまうからである。また、輝度信号の主成分となる G 成分を高い精度で補間できなければ、輝度信号の解像度低下を招来する。

【0059】

高い解像度を出すための補間処理として、従来から、相関処理を用いた補間処理が行われている。ここで言う「相関処理」とは、補間対象となる画素について相関が高い方向の画素の情報を用いて補間する処理のことである。

【0060】

例えば、図 3 に示すような解像度チャートからなる入力画像を例にとって、画素の補間処理について考えてみる。解像度チャートは、中心部分が低周波の信号であり、中心からの距離が大きくなるにつれて高周波の信号となるチャートである。解像度チャートは、同じ周波数の信号でもさまざまな方向を持っており、解像度チャートの信号を信号処理回路に入力することで、さまざまな信号に対してどのような処理が適するかを分析することができる。同図において、縦軸上の A 点のように横線の被写体のときは、縦方向には画像信号にうねりが観察される一方、横方向の画像信号の相関は高いことから、横方向の画素を用いて補間する。また、横軸上の C 点のように縦線の被写体のときは、横方向にはうねりが観察される一方、縦方向の画像信号の相関が高いことから、縦方向の画素を用いて補間する。このように相関が高い方向の周囲画像を用いて補間処理を行なうことで、より高い解像度を実現することができる。

【0061】

相関処理を用いた補間処理は、例えば図 2 に示すように、市松状に G を配列したベイヤー配列のような色コーディングにおいて、G が存在しない空間位置の画素、例えば図中の画素 X の空間位置の G 信号を作り出すときの処理に有効である。勿論、G 信号だけでなく、残りの R 信号並びに B 信号についても通常は補間処理を行なう。本明細書では、輝度信号に関して高解像度を実現するための G 信号の補間処理に注目して説明しているが、G と同様の補間処理を R や B、あるいはその他の色、例えばシアン、イエローに対して適用することも可能である。

【0062】

補間処理は、補間すべき画素の信号を空間位相の異なる周囲画素の信号を用いた補間によって作り出す処理であるから、補間処理の手順は周囲画素のレイアウトすなわち色コーディングにも依存する。まず、ベイヤー配列に対する補間処理について説明する。図 2 から分るように、ベイヤー配列の G は市松状に配置されており、G 信号の歯抜け部分（以下、「補間画素」とも呼ぶ）に対して補間処理を行なう。

【0063】

空間位置（補間画素）X を中心として、水平及び垂直方向にバンドパスフィルタによるフィルタリングをそれぞれかけることで、水平及び垂直方向から観察時にどの程度の振幅を持つ画像信号が存在するか（すなわち水平及び垂直の各方向における画像信号のうねり）を算出する。バンドパスフィルタは、図 4 に示すように、 $1/4 f_s$ （但し、 $f_s$  はサンプリング周波数）にピークを持ち、 $1/2 f_s$  の限界解像度近傍までの信号に対して値

を出力するフィルタである。バンドパスフィルタの出力が大きい場合には、その方向に振幅の大きい信号が存在する。逆に、バンドパスフィルタの出力が小さい場合には、その方向で信号の変動が小さい、すなわち低周波の信号が存在するということになる。例えば、微分フィルタを始めとするハイパスフィルタを用いることができるが、DC成分を除去するような帯域制限特性を持つフィルタであれば何でもよい。

【0064】

ここで、空間位置（補間画素）Xを中心として水平方向に配置されたバンドパスフィルタのフィルタ出力をB p f\_Hとし、同様に垂直方向に配置されたバンドパスフィルタのフィルタ出力をB p f\_Vとすると、これらのフィルタ出力はそれぞれ下式のように表される。

【0065】

$$B p f_H = - (G_3 + G_8) + 2 (G_4 + G_9) - (G_5 + G_{10})$$

$$B p f_V = - (G_1 + G_2) + 2 (G_6 + G_7) - (G_{11} + G_{12})$$

【0066】

図3中の各点A～Cにおいて、この2つのバンドパスフィルタの出力B p f\_H及びB p f\_Vを観察してみる。A点においては、水平方向には画像信号の振幅はないからB p f\_H = 0となり、B点においては斜め45度方向に画像信号の振幅があるためにB p f\_H = B p f\_Vとなり、C点においては垂直方向には画像信号の振幅はないからB p f\_V = 0となる。

【0067】

続いて、このバンドパスフィルタの出力B p f\_H及びB p f\_Vを用いることで、水平及び垂直方向の各相関値S\_H及びS\_Vを下式から算出する。

【0068】

$$S_H = B p f_V / (B p f_H + B p f_V)$$

$$S_V = 1 - S_H$$

【0069】

これら水平及び垂直方向相関値S\_H及びS\_Vは、水平及び垂直方向の隣接画素間における画像信号の相関の強さを表している。ここで言う「相関」とは信号の変動比のことである。上式に示したように、相関値S\_H及びS\_Vは、水平及び垂直方向にそれぞれは位置したバンドパスフィルタのフィルタ出力B p f\_H及びB p f\_Vの割合で表される。信号の変動比が大きい場合には相関が低いことになり、信号の変動比が小さいときは相関が高いことになる。

【0070】

図3に示した例では、A点においては、S\_H = 1及びS\_V = 0となり、水平方向には直線成分（変動がない、若しくはフラットである）とみなすことができるから、信号の変動比が小さいために水平方向に相関が高く、垂直方向には相関がないということになる。そして、相関値が大きい、すなわち相関が高い方向の画素で補間することで、補間の精度は向上する。G信号について精度のよい補間が実現されれば、Gを主成分とする輝度信号の解像度も高くなる。

【0071】

また、B点においては、S\_H = S\_V = 0.5となり、水平・垂直方向の相関が同一、すなわち水平・垂直どちらも同じ画像の変化があることを示している。また、C点においては、S\_H = 0、S\_V = 1となり、垂直方向の相関が高いことを示している。

【0072】

続いて、補間画素Xの補間値Xを、下式に従って、上下及び左右の周囲画素のG信号を用いて算出する。

【0073】

$$X = \{ (G_6 + G_7) \times S_H + (G_4 + G_9) \times S_V \} / 2$$

【0074】

上式から分かるように、補間画素Xについて、相関が高い方向に対してより大きな重み

10

20

30

40

50

を掛けて補間処理を行なう。例えば、A点においては、 $X = (G_6 + G_7) / 2$ となり、水平方向の画素を用いて補間する。また、B点においては、 $X = (G_6 + G_7 + G_4 + G_9) / 4$ となり、水平・垂直方向の画素を用いて均等な重み付けで補間する。また、C点においては、 $X = (G_4 + G_9) / 2$ となり、垂直方向の画素を用いて補間する。

【0075】

このように、相関処理を用いて画像信号の振幅の変化が少ない方向、すなわち相関が高い方向の画素の成分に重みをかけながら（重み付けしながら）補間することで、高い解像度を実現することができるということを十分理解されたい。

【0076】

図5には、ベイヤー配列におけるG解像度とRB解像度のそれぞれの限界解像度を示している。同図から分るように、Gの解像度は水平・垂直方向に $1/2 f_s$ 、斜め45度方向には $(1/2 \sqrt{2}) f_s$ であり、特に斜め45度方向ではGの解像度とRBの解像度が同じである。

【0077】

色空間変換を行なう前述の式(1)～(3)から分るように、Gは輝度信号を作る上での主成分であって輝度解像度に大きく依存し、RBは色差信号の解像度に大きく依存する。したがって、Gの解像度を上げることが高解像度な画像を生成するポイントとなる。また、人間の目には、輝度に関しては高い周波数まで認識できるが、色に関しては高い周波数を認識することが困難であるという性質があることから、ベイヤー配列は色解像度と輝度解像度のバランスが人間の視感度特性とマッチングしていない。

【0078】

かかる点に鑑み、本出願人に既に譲渡されている特願2005-107037号明細書では、輝度成分を作る上で主成分となるG成分を、RB成分の各々の周囲を囲むように配置した色コーディングを提案している（前述）。この色コーディングによれば、ベイヤー配列に対してRBの画素数を $1/2$ にする代わりにGを増やすことで、色解像度を若干犠牲にするが輝度解像度を約2倍に向上することができる。

【0079】

このようにRB成分をG成分で取り囲むという色コーディングは、ベイヤー配列の色コーディングよりも人間の視感度特性にマッチする、と本発明者らは思料する。また、特に $Y : Cr : Cb = 4 : 1 : 1$ の出力フォーマットに準拠した信号処理系、例えばビデオカメラなどの信号処理系では、上記のような帯域の色コーディングの方が望ましいと言える。但し、Gを主成分とする輝度信号を高解像度を得るには、ベイヤー配列の色コーディングの場合よりもさらに高度な補間処理が要求される。

【0080】

以下では、輝度成分を作る上で主成分となる例えばGを、例えばR、Bの各々の周囲を囲むように配置した色コーディングとして2つの色コーディング例を挙げ、これら2つの色コーディング例の各々に対する補間処理を実施例1及び実施例2として説明する。

【0081】

[実施例1]

図6には、本発明の実施例1において補間処理の対象とする色コーディング例を示している。同図に示す色コーディング例は、画素が水平方向（画素行に沿った行方向）及び垂直方向（画素列に沿った列方向）で等間隔（画素ピッチ） $d$ となるように正方格子状に配列されている画素配列に対して、1行目は水平方向の4画素を単位としてRGBGの繰り返しで配列され、2行目はGのみが配列され、3行目は水平方向の4画素を単位としてBGRGの繰り返しで配列され、4行目はGのみが配列され、以降、この4行を単位として繰り返して配列された構成となっている。同図から分るように、輝度（Y）成分を作る上で主成分となる色成分（本例ではG）と、他の色成分（本例ではR及びB）が、GでR及びBの各々の周囲を囲むように配置され、またR及びBが水平・垂直に対して $4d$ の間隔で配置されることになる。

【0082】

10

20

30

40

50

画素間のサンプリングレートを画素ピッチに対応した  $d$  として、サンプリングレートを水平及び垂直方向で考えた場合、 $R$  及び  $B$  の水平及び垂直方向のサンプリングレートは、 $G$  に対して  $1/2$  のレートとなるように 1 列おき（本実施例 1 では奇数列）及び 1 行おき（後述する実施例 2 では奇数行）に配置されている。すなわち、 $G$  のサンプリングレートは  $d$  であり、 $R$  及び  $B$  のサンプリングレートは  $2d$  であり、 $G$  と  $R$  及び  $B$  の間には水平及び垂直方向に 2 倍の解像度の差がある。また、サンプリングレートを斜め 45 度方向で考えると、 $G$  のサンプリングレートは  $d/\sqrt{2}$  であり、 $R$  及び  $B$  のサンプリングレートは  $2d/\sqrt{2}$  である。

【0083】

ここで、空間周波数特性について考察してみる。水平及び垂直方向については、 $G$  のサンプリングレートが  $d$  であるから、サンプリング定理に基づき  $(1/2) f_s$  の周波数まで  $G$  信号を捉えることができる。また、斜め 45 度方向については、 $G$  のサンプリングレートが  $d/\sqrt{2}$  であるから、サンプリング定理に基づき  $(1/\sqrt{2}) f_s$  まで  $G$  信号を捉えることができる。

【0084】

同様に  $R$  及び  $B$  の空間周波数特性についても考察してみる。但し、 $R$  と  $B$  は画素配列の間隔が同じであり同様に考えることができるから、以下では  $R$  だけについて述べる。水平及び垂直方向については、 $R$  のサンプリングレートが  $2d$  であるから、サンプリング定理に基づき  $1/4 f_s$  の周波数まで  $R$  信号を捉えることが可能である。また、斜め 45 度方向については、 $R$  のサンプリングレートが  $d/\sqrt{2}$  であるから、サンプリング定理に基づき  $(1/4\sqrt{2}) f_s$  の周波数まで信号を捉えることができる。

【0085】

図 7 には、図 6 に示した色コーディング例における空間周波数特性を示している。 $G$  は水平及び垂直方向に関して  $(1/2) f_s$  の周波数まで信号を捉えることができ、斜め 45 度方向に関して  $(1/\sqrt{2}) f_s$  までの信号を捉えることができる。また、 $R$  及び  $B$  は水平及び垂直方向に関して  $(1/4) f_s$  の周波数まで信号を捉えることができ、斜め 45 度方向に関して  $(1/4\sqrt{2}) f_s$  の周波数までの信号を捉えることができる。すなわち、図 5 と図 7 の対比から明らかなように、図 6 に示した色コーディング例を用いることで、 $G$  限界解像度がベイヤー配列に対して大幅に向上するから、 $G$  信号を主成分とする輝度信号の解像度は約 2 倍になる。

【0086】

続いて、図 6 に示した色コーディング例に対する補正処理について、以下で具体的に説明する。図 8 には、図 6 に示した色コーディング例の  $G$  だけを抜き出した画素配列を示している。

【0087】

図示の通り、補間画素  $X$  を取り囲む水平・垂直・斜め方向の合計 8 個の周囲画素、すなわち画素  $G_4$ 、 $G_5$ 、 $G_6$ 、 $G_8$ 、 $G_9$ 、 $G_{11}$ 、 $G_{12}$ 、 $G_{13}$  に  $G$  信号が存在しており、これらを用いて補間画素  $X$  の  $G$  信号の補間処理を行なう。ベイヤー配列の色コーディングでは、水平及び垂直 4 方向にしか  $G$  の画素が存在しない。これに対して、図 6 に示した色コーディング例では、水平、垂直、及び斜め方向に 8 画素が存在し、補間画素  $X$  を観察すると、 $G$  の画素が碁盤の目のように配置されていることが分かる。このことが高解像度を実現する上でも非常に重要である。

【0088】

本実施例 1 では、補間処理回路 23 は、水平及び垂直方向だけでなく斜め方向についても補間画素  $X$  と周囲画素との相関関係を求め、水平及び垂直方向の相関と斜め方向の相関の関係から、実際にどの周囲画素を用いて補間を行なったらよいかを判断しつつ補間処理を行なう。

【0089】

図 10 には、補間処理回路 23 において実施される補間処理の手順をフローチャートの形式で示している。以下では、図 9 に示すように、水平方向を  $H$  方向、垂直方向を  $V$  方向

10

20

30

40

50

、H方向に対して45度だけ右回転した軸方向をNH方向、H方向に対して45度だけ左回転した軸方向をNV方向と記述することとする。以下、図10を参照しながら、補間処理について詳解する。

#### 【0090】

図8の画素Xを補間画素（補間対象となる画素）とし（ステップS11）、先ず、この補間画素Xの各周囲画素についてHV方向の相関値を算出する（ステップS12）。具体的には、補間画素Xの左斜め上の画素G4を中心としてバンドパスフィルタによるフィルタリングをHV方向にかけると、HV方向の相関値を算出する。図11には、このHV方向のバンドパスフィルタの周波数特性（フィルタ特性）を示している。

#### 【0091】

ここで、バンドパスフィルタの水平方向の出力をBpf\_H\_G4、垂直方向の出力をBpf\_V\_G4とすると、下式で表されるフィルタリング結果が得られる。

#### 【0092】

$$Bpf\_H\_G4 = -G3 + 2G4 - G5$$

$$Bpf\_V\_G4 = -G1 + 2G4 - G8$$

#### 【0093】

続いて、画素G4に対するH方向の相関値S\_H\_G4を下式に従って算出する。H方向の相関値S\_H\_G4はフィルタ特性が同じバンドパスフィルタの水平及び垂直方向のフィルタ出力Bpf\_H及びBpf\_Vの割合を表す。

#### 【0094】

$$S\_H\_G4 = Bpf\_V / (Bpf\_H + Bpf\_V)$$

#### 【0095】

V方向の相関値S\_V\_G4は、 $S\_V\_G4 = 1 - S\_H\_G4$ であり、H方向の相関値S\_H\_G4さえ算出してしまえば容易に算出できるから、特に算出する必要はない。すなわち、この時点で、画素G4を中心としたHV方向の相関値S\_H\_G4及びS\_V\_G4を算出したことになる。例えば、H方向の相関値S\_H\_G4が1.0でV方向相関値S\_V\_G4が0.0であるときには、V方向の相関値S\_V\_G4で画素Xを補間すると、よい補間結果が得られる。

#### 【0096】

補間画素Xの左斜め上の画素G4を中心としたH方向の相関値S\_H\_G4の算出と同様に、右斜め上の画素G6、左斜め下の画素G11、右斜め下の画素G13の各々を中心としたそれぞれのH方向の相関値S\_H\_G6、S\_H\_G11、S\_H\_G13についても算出する。

#### 【0097】

ここまでの処理、すなわちステップS12での処理により、補間画素Xを取り囲む4点の画素G4、G6、G11、G13の各々を中心としたHV方向の相関値S\_H\_G4、S\_H\_G6、S\_H\_G11、S\_H\_G13がそれぞれ算出されたことになる（図26を参照のこと）。

#### 【0098】

続いて、算出された4つの相関値S\_H\_G4、S\_H\_G6、S\_H\_G11、S\_H\_G13の中から、補間画素Xに代用するに相応しい相関値を2つだけ選択する。具体的には、4つの相関値の中で最も相関の高い、すなわち算出した相関値の信頼度の高い2つを補間画素Xの相関値として選択する（ステップS13）。

#### 【0099】

図26からも分るように、ステップS12で算出した各相関値相関値S\_H\_G4、S\_H\_G6、S\_H\_G11、S\_H\_G13は、それぞれ周囲4画素G4、G6、G11、G13を中心としたHV方向の相関値であって、所望の補間画素Xを中心としたHV方向の相関値S\_Hではない。補間画素Xを中心としたバンドパスフィルタを組むことができないといった実装上の都合などがある場合には、補間画素Xにおける相関値を直接算出することができない。そこで、隣接画素において相関値はほぼ等しいものであるという考え方

10

20

30

40

50

に基づいて、周囲画素で求めた信頼度の高いHV方向の相関値を以って補間画素XのHV方向の相関値 $S\_H$ に代用するというのがステップS13の趣旨である。

【0100】

相関値を選択するための信頼度として、4つの相関値を算出する過程で算出したバンドパスフィルタの出力値を用いて表すことができる。例えば、画素G4の相関信頼値 $Bpf\_Max$ を下式から算出する。

【0101】

$$Bpf\_Max = |Bpf\_H\_G4| + |Bpf\_V\_G4|$$

【0102】

この相関信頼値 $Bpf\_Max$ の算出を他の3点の周囲画素G6、G11、G13に対しても同様に行なう。バンドパスフィルタの出力が大きいということは、その画素周囲では大きな振幅の信号が存在し、信号がノイズではなく画像によるものであることが言える。逆に、バンドパスフィルタの出力が小さい場合には信号がノイズに埋もれていて相関の信頼性が低く、相関値を信頼することが難しい。つまり、水平及び垂直の直交する2方向のバンドパスフィルタの出力の絶対値の和からなる相関信頼値 $Bpf\_Max$ が大きい場合は、これらバンドパスフィルタの出力より算出される相関値の信頼性が高いと推定することができる。

【0103】

そして、4点の周囲画素で求めた各相関信頼値 $Bpf\_Max$ を大小比較して大きい方から2点の周囲画素を選択し、これら2点の周囲画素を中心として算出されたHV方向の相関値を、補間画素Xを中心としたHV方向の相関値に代用する値として選択する。図27には、 $S\_H\_G4$ と $S\_H\_G13$ を信頼できる相関値として選択した様子を示している。

【0104】

なお、相関の信頼度算出では、相関信頼値 $Bpf\_Max$ 、すなわちフィルタ出力の合計値ではなく、 $|Bpf\_H - Bpf\_V|$ の結果、すなわちフィルタ出力の差分値の大きいものを選択するようにしてもよい。これには、バンドパスフィルタのH方向の出力 $Bpf\_H$ とV方向の出力 $Bpf\_V$ の差が大きい、つまり水平及び垂直方向に強い相関を持っていることが言えるので、相関の強い部分の相関値を採用するという目的がある。

【0105】

続いて、採用した上位2箇所の相関値を平均して1つの相関値にする（ステップS14）。平均化された相関値は、以下の処理ステップでは補間画素Xを中心とするHV方向の相関値として扱われる。例えば、G4とG6の2箇所における相関値の信頼度が高いとして選択された場合には、これら2点を中心とするHV方向の相関値が平均化され、補間画素XについてのHV方向の相関値とみなされる（図28を参照のこと）。

【0106】

このとき、相関信頼値 $Bpf\_Max$ が最大となる1点の周囲画素の相関値を選択することで、4つの相関値から1つの水平及び垂直方向の相関値を選択することも可能であるが、上位2箇所の相関値の平均値を採用することで、よい結果が得られている。また、4つの相関値から上位3箇所の相関値を採用してそれらの平均値をとる方法も考えられる。

【0107】

なお、補間画素Xを中心としたバンドパスフィルタを組む場合には、信頼度の高い周囲画素の相関値の平均ではなく、補間画素Xにおける相関値を直接算出することができ、ステップS12～S14における処理は簡略化される。

【0108】

また、ステップS12～S14における補間画素XのHV方向の相関値算出の処理と並行して、ステップS15～S17における補間画素XのNH及びNV方向の相関値算出の処理が実行される。ここで言うNH方向はH方向に対して45度だけ右回転した軸方向であり、NV方向はH方向に対して45度だけ左回転した軸方向である（前述）。

## 【 0 1 0 9 】

まず、補間画素 X の各周囲画素について NH 及び NV 方向の相関値を算出する（ステップ S 1 5）。具体的には、補間画素 X の上の画素 G 5 を中心としてバンドパスフィルタによるフィルタリングを斜め方向にかけること、NH 及び NV 方向の相関値を算出する。図 1 2 には、NH 及び NV 方向のバンドパスフィルタの周波数特性（フィルタ特性）を図 1 2 に示している。

## 【 0 1 1 0 】

ここで、バンドパスフィルタの NH 方向の出力を  $Bpf\_NH\_G5$ 、NV 方向の出力を  $Bpf\_NV\_G5$  とすると、下式で表されるフィルタリング結果が得られる。

## 【 0 1 1 1 】

$$Bpf\_NH\_G5 = -G1 + 2G5 - G9$$

$$Bpf\_NV\_G5 = -G2 + 2G5 - G8$$

## 【 0 1 1 2 】

続いて、画素 G 5 に対する NH 方向の相関値  $S\_NH\_G5$  を次式から算出する。NH 方向の相関値  $S\_NH\_G5$  はフィルタ特性が同じバンドパスフィルタの NH 及び NV 方向のフィルタ出力  $Bpf\_NH$  及び  $Bpf\_NV$  の割合を表す。

## 【 0 1 1 3 】

$$S\_NH\_G5 = Bpf\_NV\_G5 / (Bpf\_NH\_G5 + Bpf\_NV\_G5)$$

## 【 0 1 1 4 】

NV 方向の相関値  $S\_NV\_G5$  は、 $S\_NV\_G5 = 1 - S\_NH\_G5$  であり、NH 方向の相関値  $S\_NH\_G5$  さえ算出してしまえば容易に算出できるから、ここでは特に算出する必要はない。すなわち、この時点で、画素 G 5 を中心とした NH 及び NV 方向の相関値  $S\_NH\_G5$  及び  $S\_NV\_G5$  を算出したことになる。例えば、NH 方向の相関値  $S\_NH\_G5$  が 1.0 で NV 方向相関値  $S\_NV\_G5$  が 0.0 であるときには、NV 方向の相関値  $S\_NV\_G5$  で画素 X を補間すると、よい補間結果が得られる。

## 【 0 1 1 5 】

補間画素 X の上の画素 G 5 を中心とした NH 方向の相関値  $S\_NH\_G5$  の算出の場合と同様にして、左の画素 G 8、右の画素 G 9、下の画素 G 12 の各々を中心としたそれぞれの NH 方向の相関値  $S\_NH\_G8$ 、 $S\_NH\_G9$ 、 $S\_NH\_G12$  についても同様にして算出する。

## 【 0 1 1 6 】

ここまでの処理、すなわちステップ S 1 5 の処理により、補間画素 X の上、左、右、下に位置する 4 点の画素 G 5、G 8、G 9、G 12 の各々を中心とした NH 方向の相関値  $S\_NH\_G5$ 、 $S\_NH\_G8$ 、 $S\_NH\_G9$ 、 $S\_NH\_G12$  がそれぞれ算出されたことになる（図 2 9 を参照のこと）。

## 【 0 1 1 7 】

続いて、算出された 4 つの相関値  $S\_NH\_G5$ 、 $S\_NH\_G8$ 、 $S\_NH\_G9$ 、 $S\_NH\_G12$  の中から、補間画素 X に代用する相関値を 2 つだけ選択する。具体的には、4 つの相関値の中で信頼度の高い方から 2 つを補間画素 X の相関値として採用する（ステップ S 1 6）。

## 【 0 1 1 8 】

図 2 9 から分るように、ステップ S 1 5 で算出した各相関値  $S\_NH\_G5$ 、 $S\_NH\_G8$ 、 $S\_NH\_G9$ 、 $S\_NH\_G12$  は、それぞれ周囲 4 画素 G 5、G 8、G 9、G 12 を中心とした HV 方向の相関値であって、所望の補間画素 X を中心とした相関値ではない。補間画素 X を中心としたバンドパスフィルタを組むことができないといった実装上の都合などがある場合には、補間画素 X における相関値を直接算出することができない。そこで、隣接画素において相関値はほぼ等しいものであるという考え方に基づいて、周囲画素で求めた信頼度の高い NH 方向の相関値を以て補間画素 X の NH 方向の相関値に代用するというのがステップ S 1 6 の趣旨である。

## 【 0 1 1 9 】



相関値を選択するための信頼度を、4つの相関値を算出する過程で算出したバンドパスフィルタの出力値を用いて表す。例えば、画素G5の相関信頼値B p f \_M a xを下式から算出する。また、他の3点の周囲画素G8、G9、G12に対しても同様に相関信頼値B p f \_M a xの算出を行なう。NH及びNVの直交する2方向のバンドパスフィルタの出力の絶対値の和からなる相関信頼値B p f \_M a xが大きい場合は、これらバンドパスフィルタの出力より算出される相関値の信頼性が高いと推定することができる(同上)。

【0120】

$$B p f _M a x = | B p f _N H _G 5 | + | B p f _N V _G 5 |$$

【0121】

続いて、採用した上位2箇所の相関値を平均して1つの相関値にする(ステップS17)。図30には、S\_NH\_G5とS\_NH\_G9を信頼できる相関値として選択した様子を示している。

10

【0122】

平均化された相関値は、以下の処理ステップでは補間画素Xを中心とするNH及びNV方向の相関値として扱われる。例えば、G5とG9の2箇所における相関値の信頼度が高いとして選択された場合には、これら2点を中心とするHV方向の相関値が平均化され、補間画素Xを中心とするNH及びNV方向の相関値とみなされる(図31を参照のこと)。

【0123】

なお、補間画素Xを中心としたバンドパスフィルタを組む場合には、信頼度の高い周囲画素の相関値の平均ではなく、補間画素Xにおける相関値を直接算出することができ、ステップS15～S17における処理は簡略化される(同上)。

20

【0124】

ここまでの処理により、補間画素XについてのH方向の相関値S\_H、及びNH方向の相関値S\_NHが求まったことになる(図28及び図31を参照のこと)。

【0125】

続いて、補間画素XについてのH方向及びNH方向の各相関値S\_H及びS\_NHに基づいて、補間画素Xがどの方向の周囲画素との相関が強いのか、すなわち相関の方向性を求める(ステップS18)。

【0126】

30

ここで、図13に示す解像度チャートからなる入力画像を例にとって、補間画素XについてH方向及びNH方向それぞれにおいて算出された相関値S\_H及びS\_NHと、補間画素Xとこれを取り囲む周囲画素の相関の度合いについて考察してみる。解像度チャートは、中心部分が低周波の信号であり、中心からの距離が大きくなるにつれて高周波の信号となるチャートである。解像度チャートは、同じ周波数の信号でもさまざまな方向を持っており、解像度チャートの信号を信号処理回路に入力することで、さまざまな信号に対してどのような処理が適するかを分析することができる。

【0127】

例えば、図13の(a)点～(e)点の信号が補間画素Xとして入力され、上述したステップS12～S17の処理を実行すると、2つの相関値S\_H及びS\_NHは、(a)点では、S\_H = 1.0 (S\_V = 0.0)、S\_NH = 0.5 (S\_NV = 0.5)となる。これから、補間画素Xは、HV方向ではH方向の周囲画素との強い相関があることが分かる。また、NH及びNV方向ではNH方向とNV方向で同じ相関、つまり補間画素Xは斜め方向では周囲画素との相関がないことが分かる。

40

【0128】

また、(b)点では、S\_H = 0.5 (S\_V = 0.5)、S\_NH = 1.0 (S\_NV = 0.0)となる。すなわち、補間画素Xは、HV方向では周囲画素との相関がないが、NH及びNV方向ではNH方向の周囲画素との強い相関があることが分かる。

【0129】

また、(c)点では、S\_H = 0.0 (S\_V = 1.0)、S\_NH = 0.5 (S\_NV =

50

0.5)となる。すなわち、補間画素Xは、HV方向ではV方向の周囲画素強い相関がある。また、NH及びNV方向では補間画素Xは周囲画素との相関がないことが分かる。

【0130】

また、(d)点では、 $S_H = 0.5$  ( $S_V = 0.5$ )、 $S_{NH} = 0.0$  ( $S_{NV} = 1.0$ )となる。すなわち、補間画素Xは、HV方向では周囲画素との相関がないが、NH及びNV方向ではNV方向の周囲画素と強い相関があることが分かる。

【0131】

また、(e)点では、 $S_H = 1.0$  ( $S_V = 0.0$ )、 $S_{NH} = 0.5$  ( $S_{NV} = 0.5$ )となる。すなわち、(a)点と同じく、補間画素Xは、HV方向ではH方向の周囲画素と強い相関があるが、NH及びNV方向では周囲画素との相関がないことが分かる。

10

【0132】

また、図14には、図13に示した解像度チャートを入力画像とした場合の補間画素の空間位相とH及びV方向、並びにNH及びNV方向の周囲画素との相関値の関係を表した周波数チャートを示している。以下では、補間画素とHV方向、並びにNH及びNV方向の周囲画素との相関値の関係を表す同図中の直線のことを「相関線」とも呼ぶ。この相関線は、相関値を異なった方向に対して最低2パターンだけ算出し、当該最低2パターンの相関値をさまざまな角度の直線に対してプロットして得ることができる。図14の相関線図において、1点鎖線(A)がHV方向の相関値 $S_H$ に、2点鎖線(B)がNH及びNV方向の相関値 $S_{NH}$ に、それぞれ相当している。相関線(A)と(B)とは45度だけ位相がずれている。

20

【0133】

HV方向の相関値 $S_H$ のみを用いた場合、 $S_H$ が0又は1に近いときには補間画素XがH方向又はV方向に相関が強いことを特定することができるが、 $S_H$ が0.5付近の値をとるときには、補間画素Xが解像度チャート上で(a)点と(c)点に存在する可能性があり、相関線(A)を参照しただけでは補間画素Xが強い相関を持つ方向性を特定することはできない。これに対し、H方向に対して45度だけ右回転したNH方向、及びH方向に対して45度だけ左回転したNV方向という、水平及び垂直軸に対し45度だけ回転させた直交する2つのバンドパスフィルタの出力から算出される相関値 $S_{NH}$ をプロットした相関線(B)を参照することで、 $S_H$ が0.5付近の値をとるときであっても、補間画素Xが斜めのいずれの方向に強い相関を持つかを高い分解能で特定することができる。すなわち、 $S_H$ と $S_{NH}$ の相関線を比較することによって、補間画素Xが周囲画素と強い相関を持つ方向を全方向(360度)に渡って判定することが可能である。なお、本実施形態では、一例として、所定の角度として45度だけ回転させた直交する2つのバンドパスフィルタを用いたが、40度~50度など、HV方向とNH/NV方向が形成する角度が別の角度であっても、上記と同程度の効果を奏するものであれば構わない。

30

【0134】

図13に示した解像度チャートを入力画像とした場合、ステップS18では、図14に示した周波数チャート上の補間画素Xが位置する空間位相において、1点鎖線(A)と2点鎖線(B)で示された相関値を比較することによって、補間画素がHV方向、並びにNH及びNV方向の周囲画素とそれぞれどの程度の相関を持つか、すなわち相関の強い方向性を求めることができる。

40

【0135】

ステップS18において補間画素Xが持つ相関の方向性が判ると、続いて、ステップS12~S14及びステップS15~S17において求められた相関値 $S_H$ 及び $S_{NH}$ の信頼度があるか否かを判断する(ステップS19)。

【0136】

既に述べたように、ステップS12~S14、及びステップS15~S17では、補間画素Xを中心とした各方向の相関値を直接算出しておらず、補間画素Xを取り囲む各周囲画素を中心として算出されたH方向及びNH方向の相関値のうち信頼度の高いものを平均

50

化して、補間画素Xの相関値として代用している。このような場合は、とりわけ相関の信頼度チェックは重要になる。

#### 【0137】

ここで、相関の信頼度をチェックする具体的な方法について説明しておく。図13に示した解像度チャートを入力画像とした場合の周波数チャート、すなわち補間画素とHV方向、並びにNH及びNV方向の周囲画素との相関値の関係は、図14に示した通りである。2組の直交するバンドパスフィルタを水平垂直方向、並びに水平垂直方向に対し45度だけ回転させた方向にそれぞれ配置して、各組のバンドパスフィルタの出力からH方向の相関値 $S_H$ とNH方向の相関値 $S_{NH}$ を算出することができる。 $S_H$ 及び $S_{NH}$ それぞれの相関線(A)と(B)は45度だけ位相がずれている。

10

#### 【0138】

また、図32には、 $S_H$ (図14中の相関線(A))から0.5を引き算した絶対値からなる相関線と、 $S_{NH}$ (図14中の相関線(B))から0.5を引き算した絶対値からなる相関線をそれぞれプロットしている。同図から分るように、相関値 $S_H$ 及び $S_{NH}$ が図14に示した相関線上に乗る理想的なもの、すなわち信頼度の高いものであれば、 $S_H$ から0.5を引き算した絶対値と $S_{NH}$ から0.5を引き算した絶対値の和は0.5に近い値となる。そこで、ステップS12~S14及びステップS15~S17において求められた相関値 $S_H$ 及び $S_{NH}$ を以下の不等式からなる条件式に代入し、条件を満たすかどうかによって、相関値 $S_H$ 及び $S_{NH}$ の信頼度を判定することができる。但し、 $TH1$ 及び $TH2$ は、 $TH1 < TH2$ の関係を満たす0.5に近い値である( $TH1$ 及び $TH2$ を0.5に近づけると、判定条件がより厳しくなる)。

20

#### 【0139】

$$TH1 < |S_H - 0.5| + |S_{NH} - 0.5| < TH2$$

#### 【0140】

ステップS19において相関の信頼度があると判定された場合には、補間画素Xを補間する画素を、ステップS18において相関が強いと判断された方向の周囲画素から取り出して、画素補間を行なう(ステップS20)。

#### 【0141】

図15には、補間画素Xが持つ相関の方向性と補間に用いる周囲画素の関係を示している。例えば、ステップS18において補間画素Xが持つ相関の方向性が(a)点(すなわち、周波数チャート上の90度)にあると判断された場合には、H方向の相関が強いので、補間画素XのG信号を $X = (G8 + G9) / 2$ で補間する。また、補間画素Xの相関の方向性が(b)点(すなわち、周波数チャート上の45度)となる場合には、NH方向の相関が強いので、補間画素XのG信号を $X = (G4 + G13) / 2$ で補間する。補間画素Xの相関の方向性が(c)点、(d)点、(e)点とる場合も同様である。

30

#### 【0142】

また、補間画素Xの相関の方向性が(c)点と(b)点の間の相関値が算出される(f)点となる場合には、 $S_H = 0.25$ で且つ $S_{NH} = 0.75$ を示すことから、その方向の画素を用いて $X = (G1 + G16) / 2$ で補間する。

#### 【0143】

40

また、補間画素Xの相関の方向性が(b)点と(f)点の間などのように、補間画素Xの相関の方向性を示す直線上にちょうど乗る周囲画素がない場合には、(b)点の補間値と(f)点の補間値に重みを付けて補間するといった、相関値と補間値の関係に基づく線形補間を行なう。例えば、図15中のP点に相当する方向にちょうど乗る周囲画素はないが、その方向に隣接する方向性において適用される2つの補間値 $(G6 + G11) / 2$ 及び $(G7 + G10) / 2$ で線形補間する以下の式により、補間画素Xの相関値を算出することができる。但し、aは重み付け係数をaである。

#### 【0144】

$$X = \{ (G6 + G11) / 2 \} \times a + \{ (G7 + G10) / 2 \} \times (1 - a)$$

#### 【0145】

50

このように、本実施例 1 では、補間画素 X の相関の方向性を、従来のように H V 方向の相関値  $S\_H$  のみから求めるのではなく、水平及び垂直軸に対し 45 度だけ回転させた直交する 2 つのバンドパスフィルタの出力から算出される相関値  $S\_NH$  も用いるようにした。H V 方向の相関値  $S\_H$  がちょうど 0.5 になると、 $S\_H$  だけでは相関の方向性を特定できなくなる。これに対し、NH 及び NV 方向の相関値  $S\_NH$  の相関線は  $S\_H$  に対して 45 度だけ位相がずれていることから（図 14 を参照のこと）、さらに  $S\_NH$  を参照することで、補間画素 X が斜めのいずれの方向に強い相関を持つかを高い分解能で特定することが可能である。したがって、図 6 に示した色フィルタを用いて色コーディングを行なうと、従来のベイヤー配列に比べてより高い精度で G 信号を補間することができ、この結果、高い解像度の輝度信号をえることができる。

10

## 【0146】

一方、ステップ S 12 ~ S 14 及びステップ S 15 ~ S 17 において求められた相関値  $S\_H$  及び  $S\_NH$  に関して、十分な信頼度が得られなかった場合には（ステップ S 19 の No）、周囲画素の平均値を用いて S / N 重視の画素補間を行なう（ステップ S 21）。

## 【0147】

2 つの相関値  $S\_H$  及び  $S\_NH$  が図 14 に示した 2 つの相関線（A）及び（B）に乗らない場合は、相関がないとみなすことができる。例えば、 $S\_H = 1.0$ 、 $S\_NH = 0.5$  のときは相関があると言えるが、 $S\_H = 1.0$ 、 $S\_NH = 1.0$  のときには図 14 中のいずれの相関線（A）及び（B）の乗らないために、相関の信頼度が低いと言える。後者の場合、いかなる方向の画素を用いて補間しても正しく補間できる確立は低く、逆に間違った補間により偽色信号を生成する可能性が高い。

20

## 【0148】

このように、ステップ S 12 ~ S 17 において算出された相関値  $S\_H$  及び  $S\_NH$  が図 14 に示した 2 つの相関線（A）及び（B）に乗らず、相関値の信頼度が低いことが判明した場合には、補間画素 X が持つ相関の方向性に基づいて特定された周囲画素を用いて解像度重視の補間を行なうのではなく、S / N 重視の補間処理を適用する。例えば、周囲 4 画素を用いて  $X = (G5 + G8 + G9 + G12) / 4$  により補間画素 X の G 信号を補間することで、撮像装置の性能を上げることができる。

## 【0149】

先述したベイヤー配列の補間では、H V 方向に配置した 1 組の直交するバンドパスフィルタの出力を基に H V 方向の相関  $S\_H$  しか求めることができない。このため、相関の信頼度というものを評価することができず、例えば NH 及び NV 方向に対しても、H V 方向の場合と同様の補間を行なうより他ない。

30

## 【0150】

これに対して、本実施例 1 では、R B 成分を G 成分で取り囲むという色コーディング（図 6 を参照のこと）を行なうので、H V 方向に対し 45 度だけ回転した NH 及び NV 方向に配置した 1 組の直交するバンドパスフィルタの出力を基に NH 方向の相関をさらに算出することができる。したがって、補間画素 X が周辺画素と強い相関を持つ方向を全方向（360 度）に渡って判定することが可能であり、その補間処理では斜め方向の補間に対応することができる。

40

## 【0151】

また、図 5 と図 7 にそれぞれ示した画像信号の限界解像度の対比から明らかなように、本実施例 1 における色コーディングによれば、G の解像度に関して、斜め 45 度方向においては、ベイヤー配列に比べて 2 倍の解像度を得ることができる。

## 【0152】

また、ステップ S 19 にて相関の信頼度を評価し、相関が信頼できるときは相関の方向から解像度重視の補間を行なうが、相関が信頼できないときは S / N 重視の補間を行なうというように、信頼度に応じて適応的に処理方法を切り換えるので、高精度な補間処理を実現することができる。

## 【0153】

50

例えば、図 1 3 に示すような人工的な解像度チャートにおいては、基本的に全領域において相関の信頼度は高く出力される。これに対し、一般画におけるジャリ道や、木の茂みといった複雑な曲線が入り組んだ被写体において、相関の信頼度が低くなる事態が起こり得る。この場合は、適応的に S / N を重視した補間処理に切り換えるようにすればよい。

【 0 1 5 4 】

本実施例 1 に係る一連の補間処理を実行する専用のハードウェア装置を設計製作することもできるが、例えばコンピュータ上で所定のコンピュータ・プログラムを実行するというソフトウェア処理によって同様の補間処理を実現することも可能である。

【 0 1 5 5 】

図 1 6 には、本実施例 1 に係る補間処理を実行するハードウェアの構成の補間処理回路 2 3 A の構成例を示している。

10

【 0 1 5 6 】

G 4 H V 方向相関値算出回路 3 1 は、補間画素 X の左斜め上の画素 G 4 を中心として H V 方向に対してフィルタリング処理を行なうことによって H V 方向の相関値を算出する。例えば、図 1 1 に示した周波数特性を持つバンドパスフィルタによって G 4 H V 方向相関値算出回路 3 1 を構成することができる。具体的には、G 4 H V 方向相関値算出回路 3 1 は、画素 G 4 に対する H 方向の相関値  $S\_H\_G 4$  を、以下の演算式から算出する。

【 0 1 5 7 】

$$S\_H\_G 4 = B p f\_V / ( B p f\_H + B p f\_V )$$

【 0 1 5 8 】

20

そして、G 4 H V 方向相関値算出回路 3 1 は、さらに V 方向の相関値  $S\_V\_G 4$  を以下の演算式から算出する。

【 0 1 5 9 】

$$S\_V\_G 4 = 1 - S\_H\_G 4$$

【 0 1 6 0 】

補間画素 X を取り囲むその他の周囲画素 G 6、G 1 1、G 1 3 に関しても、各 H V 方向相関値算出回路 3 2、3 3、3 4 が G 4 H V 方向相関値算出回路 3 1 と同様にして、補間画素 X の右斜め上の画素 G 6、左斜め下の画素 G 1 1、右斜め下の画素 G 1 3 の各々を中心とした H 方向の相関値  $S\_H\_G 6$ 、 $S\_H\_G 1 1$ 、 $S\_H\_G 1 3$  及び V 方向の相関値  $S\_V\_G 6$ 、 $S\_V\_G 1 1$ 、 $S\_V\_G 1 3$  それぞれを算出する。各相関値算出回路 3 1 ~ 3 5 によって、図 1 0 に示したフローチャートのステップ S 1 2 に相当する処理が実現する。

30

【 0 1 6 1 】

選択回路 3 5 は、H 方向及び V 方向の各々について、4 つの中から補間画素 X に適用する相関値を選択する。具体的には、選択回路 3 5 は、各相関値算出回路 3 1 ~ 3 4 においてそれぞれ相関値を算出する過程で算出したバンドパスフィルタの出力値を比較し、4 つの相関値の中で最も相関信頼値  $B p f\_M a x$  の大きい、すなわち最も信頼性の高い 2 つを補間画素 X の相関値として採用する。選択回路 3 5 によって、図 1 0 に示したフローチャートのステップ S 1 3 に相当する処理が実現する。

【 0 1 6 2 】

40

平均値算出回路 3 6 は、選択回路 3 5 で選択した上位 2 箇所の相関値の平均値を算出し、H V 各方向から 1 つの相関値  $S\_H$  及び  $S\_V$  として出力する。平均値算出回路 3 6 によって、図 1 0 に示したフローチャートのステップ S 1 4 に相当する処理が実現する。

【 0 1 6 3 】

G 5 N H 及び N V 方向相関値算出回路 3 7 は、補間画素 X の上の画素 G 5 を中心として、直交する N H 方向及び N V 方向に対してフィルタリング処理を行なうことによって、N H 方向及び N V 方向の相関値を算出する。例えば、図 1 2 に示す周波数特性を持つバンドパスフィルタによって G 5 N H 及び N V 方向相関値算出回路 3 7 を構成することができる。具体的には、G 5 N H 及び N V 方向相関値算出回路 3 7 は、画素 G 5 に対する N H 方向の相関値  $S\_N H\_G 5$  を、以下の演算式から算出する。

50

【 0 1 6 4 】

$$S\_NH\_G5 = Bpf\_NV\_G5 / (Bpf\_NH\_G5 + Bpf\_NV\_G5)$$

【 0 1 6 5 】

そして、G5NH及びNV方向相関値算出回路37は、さらにNV方向の相関値S\_NV\_G5を以下の演算式から算出する。

【 0 1 6 6 】

$$S\_NV\_G5 = 1 - S\_NH\_G5$$

【 0 1 6 7 】

補間画素Xを取り囲むその他の周囲画素G8、G9、G12に関しても、各NH及びNV方向相関値算出回路38、39、40がG5NH、NV方向相関値算出回路37と同様に、補間画素Xの左の画素G8、右の画素G9、下の画素G12の各々を中心としたNH方向の相関値S\_NH\_G8、S\_NH\_G9、S\_NH\_G12及びNV方向の相関値S\_NV\_G8、S\_NV\_G9、S\_NV\_G12をそれぞれ算出する。各相関値算出回路37～40によって、図10に示したフローチャートのステップS15に相当する処理が実現する。

10

【 0 1 6 8 】

選択回路41は、NH方向及びNV方向の各々について、4つの中から補間画素Xに適用する相関値を選択する。具体的には、選択回路41は、4つの相関値を算出する過程で算出したバンドパスフィルタの出力値を比較し、4つの相関値の中で最も相関信頼値Bpf\_Maxの大きい、すなわち最も信頼性の高い2つを補間画素Xの相関値として採用する。選択回路41によって、図10に示したフローチャートのステップS16に相当する処理が実現する。

20

【 0 1 6 9 】

平均値算出回路42は、選択回路41で選択した上位2箇所の相関値の平均値を算出し、NH方向及びNV方向の各々から1つの相関値S\_NH、S\_NVとして出力する。平均値算出回路42によって、図10に示したフローチャートのステップS17に相当する処理が実現する。

【 0 1 7 0 】

比較回路43は、補間画素Xが持つ相関の方向性、すなわちどの方向において補間画素Xが周囲画素との相関が強いかを算出する。具体的には、比較回路43は、平均値算出回路36で算出されたHV各方向1つの相関値S\_H及びS\_Vと、平均値算出回路42で算出されたNH方向及びNV方向の各々の相関値S\_NH及びS\_NVを図14に示した相関線図と比較することで、相関の方向性を特定する。比較回路43によって、図10に示したフローチャートのステップS18に相当する処理が実現する。

30

【 0 1 7 1 】

判定回路44は、比較回路43の算出結果、すなわち相関の強い方向性について、その相関の信頼度があるか否かを判断する。具体的には、判定回路44は、平均化算出回路36及び42によってそれぞれ算出された2つの相関値S\_H及びS\_NHが図14に示した2つの相関線(A)及び(B)に乗る場合は相関があるものとみなすが、これら2つの相関値S\_H及びS\_NHが2つの相関線(A)及び(B)に乗らない場合には相関が無いものとみなす。判定回路44による判断結果は、補間回路45に供給される。判定回路44によって、図10に示したフローチャートのステップS19に相当する処理が実現する。

40

【 0 1 7 2 】

補間回路45は、補間画素Xに対して解像度重視の補間処理を行なう第1の補間回路451と、S/N重視の補間処理を行なう第2の補間回路452で構成され、判定回路から供給される相関の信頼度に応じて適応的に、いずれか一方の補間回路451又は452に補間処理を委ねる。

【 0 1 7 3 】

第1の補間回路451は、判定回路44から相関の信頼度が高いという判定結果に応じて、相関がある方向の画素を用いて補間する。相関がある方向の画素で行なう補間処理は

50

、解像度重視の補間処理である。第1の補間回路451によって、図10に示したフローチャートのステップS20に相当する処理が実現する。

【0174】

一方、第2の補間回路452は、判定回路44から相関の信頼度が低いという判定結果に応じて、補間画素Xの周辺画素の平均値を用いて補間する。例えば、補間画素Xを取り囲む周囲近接4画素の画像信号を用いて、下式に従って補間画素Xを補間する。このように、補間画素Xの周辺画素の平均値を用いて行なう補間処理がS/N重視の補間処理である。第2の補間回路452によって、図10に示したフローチャートのステップS21に相当する処理が実現する。

【0175】

$$X = (G5 + G8 + G9 + G12) / 4$$

【0176】

なお、各HV方向相関値算出回路31～34及び各NH及びNV方向相関値算出回路37～40をバンドパスフィルタで構成することを既に述べたが、バンドパスフィルタに限られるものではない。これらの相関値算出回路を、例えば、微分フィルタなどのハイパスフィルタを用いて構成したり、あるいはローパスフィルタと当該ローパスフィルタの出力を反転させるインバータとの組み合わせによってハイパスフィルタ構成としたりすることも可能である。

【0177】

図6に示した色コーディングは、輝度成分を作る上で主成分となるGが、補間画素Xに対して水平、垂直、斜めそれぞれの方向に位置する8個の周囲画素、すなわち画素G4、G5、G6、G8、G9、G11、G12、G13に配置され、従来のベイヤー配列に比べて高い輝度解像度の実現を図ったものである。これまで説明してきたように、本実施例1に係る補間処理によれば、このような色コーディング用のフィルタを持つ固体撮像装置に対して、複数の相関値を求めて相関線図と比較することで、全方向(360度)について相関性を判断することができる。すなわち、図6に示した色コーディングに対してG信号をより高精度に補間処理することができ、従来のベイヤー配列に比べて高い解像度の輝度信号を得ることができる。

【0178】

特に、本実施例1では、図32を参照しながら説明したように、複数の相関値と相関線図との比較により、相関の信頼性が高いか低いかによって補間処理の方法を適応的に切り換えるようになっている。すなわち、相関の信頼性が高いと判定したときはその判定した方向の画素の情報を用いて解像度を重視した補間処理を行ない、また、相関の信頼性が低いと判定したときは、補正画素の周辺画素の情報を平均した値を用いてS/N重視の補間を行なうことで、より高解像度で、且つS/Nにも強い高性能な補間処理を実現することができる。

【0179】

[実施例2]

図17には、本発明の実施例2に係る補間処理の対象となる色コーディング例を示している。同図に示す色コーディングは、水平及び垂直方向の各画素ピッチを2dとし、各画素が1行毎及び1列毎に画素ピッチ2dの1/2ずつずれた(奇数行と偶数行で水平方向に画素ピッチの1/2だけ、奇数列と偶数列で垂直方向に画素ピッチの1/2だけ画素がずれた)、いわゆる斜め画素配列に対して、1行目はGとRが交互に配列されたGRライン、2行目はGのみが配列されたGライン、3行目はBとGが交互に配列されたGBライン、4行目はGのみが配列されたGライン、以降、この4行を単位として繰り返して配列されている。

【0180】

図17に示した色コーディング例は、輝度(Y)成分を作る上で主成分となる色成分(本例ではG)と、他の色成分(本例ではR及びB)が、GでR及びBの周囲を囲むように配置され、R及びBが水平・垂直に対して2dの間隔で配置された構成である。この

10

20

30

40

50

色コーディングは、図 6 に示した色コーディング例における色配列を 45 度傾けた色コーディングそのものである。

【0181】

図 17 に示した色コーディング例におけるサンプリングレートを水平及び垂直方向で考えた場合、G のサンプリングレートは  $d/\sqrt{2}$  であり、R 及び B のサンプリングレートは  $2/\sqrt{2}d$  である。すなわち、R 及び B は、水平及び垂直方向のサンプリングレートが G に対して  $1/4$  となるように 1 列おき（本実施例では奇数列）及び 1 行おき（本実施例では奇数行）に配置されている。したがって、G と R 及び B の間に水平及び垂直方向に 4 倍の解像度の差がある。また、サンプリングレートを斜め 45 度方向で考えると、G のサンプリングレートは  $d$  であり、R 及び B のサンプリングレートは  $2d$  である。

10

【0182】

ここで、空間周波数特性について考察してみる。水平及び垂直方向については、G のサンプリングレートが  $d/\sqrt{2}$  であるから、サンプリング定理に基づき  $(1/\sqrt{2})f_s$  の周波数まで G 信号を捉えることができる。斜め 45 度方向については、G のサンプリングレートが  $d$  であるから、サンプリング定理に基づき  $(1/4)f_s$  の周波数まで G 信号を捉えることができる。

【0183】

同様に R 及び B について考察してみる。但し、R と B は画素配列の間隔が同じであるため、ここでは R だけについて述べる。R の空間周波数特性に関して、水平及び垂直方向については、R のサンプリングレートが  $2/\sqrt{2}d$  であるから、サンプリング定理に基づき  $(1/4\sqrt{2})f_s$  の周波数まで R 信号を捉えることが可能である。また、斜め 45 度方向については、R のサンプリングレートが  $2d$  であるから、サンプリング定理に基づき  $(1/2)f_s$  の周波数まで R 信号を捉えることができる。

20

【0184】

ちなみに、斜め画素配列の固体撮像装置は、正方格子状の画素配列の場合に比べて、画素ピッチが狭くなるので、高い解像度を得ることができる。また、正方格子状の画素配列と同じ解像度とする場合には、正方格子状の画素配列の画素ピッチよりも広い画素ピッチで画素を配列することが可能となるから、画素の開口を広くとることができ、その結果、S/N を向上できる。

【0185】

30

図 17 に示した色コーディングの詳細に関しては、例えば本出願人に既に譲渡されている特願 2005-107037 号明細書の段落 0055 ~ 0072 を参照されたい。

【0186】

本実施例 2 では、図 17 に示した色コーディング例に対する補間処理を特徴としている。以下、その補間処理について具体的に説明する。

【0187】

図 18 には、図 17 に示した色コーディング例を正方格子で表現し直したものである。図 6 に示した色コーディング例における G の配列と図 18 における G の配列とは、45 度方向回転した関係にあることが分かる。このことから、図 17 に示した色コーディング例に対して、先述した実施例 1 に係る補間処理を 45 度回転させた位置関係にて、R 及び B 画素の空間位置における G 画素を高精度に補間できることを理解できよう。

40

【0188】

図 19 には、本実施例 2 に係る補間処理を実行する補間処理回路 23B の構成例を示している。同図に示すように、本実施例に係る補間処理回路 23B は、前段補間処理回路 231 と後段補間処理回路 232 とからなる 2 段構成となっている。

【0189】

前段補間処理回路 231 は、基本的に、実施例 1 と同様の手順で補間処理を行ない、これによって図 18 中の G の画素配列において R 及び B 画素の空間位置の G 画素を補間することができる。図 20 には、この前段補間処理回路 231 による補間処理の結果、すなわち図 18 の G の画素配列において R 及び B 画素の空間位置の G 画素を補間した結果を示し

50



ている。この補間処理により、図 20 中の G 配列が高精度に補間される。ここで、図 20 の G の配列に注目すると、G が市松状に配置されていることが分かる。

【0190】

後段補間処理回路 232 は、基本的に、先述したベイヤー配列に対する場合と同様の手順で補間処理を行ない、これによって図 20 中の G の画素配列に対して補間処理を行なう。このベイヤー配列の補間処理により、市松状に配置された G から全画素について G が生成される。図 21 には、後段補間処理回路 232 による補間処理の結果、すなわち市松状に配置された G から全画素 G に補間した結果を示している。

【0191】

このように、図 17 に示した色コーディング例に対して、前段補間処理回路 231 による補間処理すなわち実施例 1 に係る補間処理と、後段補間処理回路 232 による補間処理すなわちベイヤー配列の補間処理とを組み合わせることで、限界解像度に至るまでの G の解像度を得ることができる。

10

【0192】

図 22 には、ベイヤー配列、図 6 に示した色コーディング、図 17 に示した色コーディングの各々における空間解像度特性を示している。図 6 に示した色コーディングの解像度と図 17 に示した色コーディングの解像度とを比較すると、水平・垂直方向では、図 17 に示した色コーディングの解像度の方が有利である。一般的に、カメラで被写体を撮影する場合には直線成分を含んだ画像は水平及び垂直方向に分布していることが多い。この観点からすると、図 17 に示した色コーディングの方が図 8 に示した色コーディングよりも有利であると言える。

20

【0193】

また、カメラ信号処理回路 14（図 1 を参照のこと）の出力として画像信号を正方格子状に出力する必要があることを考慮すると、図 17 に示した色コーディングでは画素数の 2 倍の出力サイズとして出力することができるというメリットがある。無論、ベイヤー配列に比べると解像度が格段に上がっていることが図 22 から理解できよう。

【0194】

カメラ信号処理回路 14 において、本実施例 2 に係る補間処理回路 23B をそのまま補間処理回路 23 として用いることで、上記のような作用効果を得ることができる。また、図 23 に示すような、補間処理回路 23B を変形した補間処理回路 23B のような構成を採ることも可能である。

30

【0195】

図 23 に示した補間処理回路 23B は、後段補間処理回路 232 の入力側に切替スイッチ 233 を設け、前段補間処理回路 231 の出力信号と WB 回路 22（図 1 を参照のこと）の出力信号（前段補間処理回路 231 の入力信号）の一方を後段補間処理回路 232 に選択的に入力可能な構成である。かかる構成を採ることで、1 つのカメラシステムで図 17 に示した色コーディングとベイヤー配列という 2 タイプの固体撮像装置に対応できることになる。

【産業上の利用可能性】

【0196】

以上、特定の実施形態を参照しながら、本発明について詳解してきた。しかしながら、本発明の要旨を逸脱しない範囲で当業者が該実施形態の修正や代用を成し得ることは自明である。

40

【0197】

本発明は、とりわけ、各画素が水平方向及び垂直方向で等間隔となるように正方格子状に配列された画素配列に対して、輝度成分を算出する際に主成分となる色成分が、他の色成分のそれぞれの周囲を囲むように配置した色フィルタを用いた色コーディングが施された画像信号に対し、輝度成分を算出する主成分の色フィルタ配列補間の処理に好適に適用することができるが、本発明の要旨は特定の色コーディングに限定されるものではない。

【0198】

50

また、本明細書では、輝度成分を作る上で主成分となるGで、R及びBの各々の周囲を囲む色コーディングとして、図8並びに図17に示した2つの色コーディング例を用いた実施例を中心に説明したが、本発明が適用可能な色コーディングはこれら2つの色コーディング例に限られるものではない。例えば、正方格子状の画素配列に対して、1行目は水平方向の4画素を単位としてR G G Gの繰り返しで配列し、2行目はGのみを配列し、3行目は水平方向の4画素を単位としてG G B Gの繰り返しで配列し、4行目はGのみを配列し、以降はこの4行を単位として繰り返しで配列した色コーディングなどであっても、同様に本発明に係る補間処理を適用することができる。

【0199】

また、本明細書では輝度信号に関して高解像度を実現するためのG信号の補間処理に注目して説明してきたが、Gと同様の補間処理をRやB、あるいはその他の色、例えばシアン、イエローに対して適用することも可能である。

【0200】

要するに、例示という形態で本発明を開示してきたのであり、本明細書の記載内容を限定的に解釈するべきではない。本発明の要旨を判断するためには、請求の範囲の記載を参酌すべきである。

【図面の簡単な説明】

【0201】

【図1】図1は、本発明に係る画像処理装置又は画像処理方法を適用した撮像装置の構成の一例を示したブロック図である。

【図2】図2は、ベイヤー配列でGのみを抜き出した画素配列を示した図である。

【図3】図3は、解像度チャートを示した図である。

【図4】図4は、バンドパスフィルタの周波数特性を示す図である。

【図5】図5は、ベイヤー配列におけるG解像度とR B解像度の限界解像度を示した図である。

【図6】図6は、本発明の実施例1に係る補間処理の対象となる色コーディング例を示した図である。

【図7】図7は、色コーディング例におけるG解像度とR B解像度の限界解像度を示した図である。

【図8】図8は、色コーディング例でGのみを抜き出した画素配列を示した図である。

【図9】図9は、H方向、V方向、NH方向及びNV方向の関係を示した図である。

【図10】図10は、本発明の実施例1に係る補間処理の手順を示したフローチャートである。

【図11】図11は、HV方向のバンドパスフィルタの周波数特性を示した図である。

【図12】図12は、NH、NV方向のバンドパスフィルタの周波数特性を示した図である。

【図13】図13は、解像度チャートを示した図である。

【図14】図14は、周波数チャートにおける各ポイントとその相関値の関係を示した相関線図である。

【図15】図15は、相関値と補間値の関係を示した図である。

【図16】図16は、実施例1に係る補間処理を実行する補間処理回路の構成の一例を示したブロック図である。

【図17】図17は、本発明の実施例2に係る補間処理の対象となる色コーディング例を示した図である。

【図18】図18は、色コーディング例を正方格子で表現した図である。

【図19】図19は、実施例2に係る補間処理を実行する補間処理回路の構成の一例を示したブロック図である。

【図20】図20は、前段補間処理回路による補間処理の結果を示した図である。

【図21】図21は、後段補間処理回路による補間処理の結果を示した図である。

【図22】図22は、ベイヤー配列、色コーディング1、色コーディング2での空間解像

10

20

30

40

50

度特性を示した図である。

【図 2 3】図 2 3 は、実施例 2 に係る補間処理を実行する補間処理回路の変形例を示したブロック図である。

【図 2 4】図 2 4 は、ペイヤー配列の色コーディングを示した図である。

【図 2 5】図 2 5 は、色コーディングが施された画像をデモザイク処理する様子を示した図である。

【図 2 6】図 2 6 は、補間画素 X の周囲 4 画素をそれぞれ中心とした H V 方向の相関値を算出する様子を示した図である。

【図 2 7】図 2 7 は、S\_H\_G 4 と S\_H\_G 1 3 を信頼できる相関値として選択した様子を示した図である。

10

【図 2 8】図 2 8 は、補間画素 X を中心とした H V 方向の相関値を算出する様子を示した図である。

【図 2 9】図 2 9 は、補間画素 X の周囲 4 画素をそれぞれ中心とした N H 及び N V 方向の相関値を算出する様子を示した図である。

【図 3 0】図 3 0 は、S\_NH\_G 5 と S\_NH\_G 9 を信頼できる相関値として選択した様子を示した図である。

【図 3 1】図 3 1 は、補間画素 X 中心とした N H 及び N V 方向の相関値を算出する様子を示した図である。

【図 3 2】図 3 2 は、補 S\_H (図 1 4 中の相関線 (A)) から 0.5 を引き算した絶対値からなる相関線と、S\_NH (図 1 4 中の相関線 (B)) から 0.5 を引き算した絶対値からなる相関線をそれぞれプロットした相関線図である。

20

【符号の説明】

【0 2 0 2】

1 1 ... 撮像レンズ

1 2 ... 撮像デバイス

1 4 ... カメラ信号処理回路

2 1 ... 光学系補正回路

2 2 ... WB (ホワイトバランス) 回路

2 3、2 3 A、2 3 B、2 3 B ... 補間処理回路

2 4 ... ガンマ補正回路

30

2 5 ... Y (輝度) 信号処理回路

2 6 ... C (クロマ) 信号処理回路

2 7 ... 帯域制限 L P F (ローパスフィルタ)

2 8 ... 間引き処理回路

3 1 ~ 3 4、3 7 ~ 4 0 ... 相関値算出回路

3 5、4 1 ... 選択回路

3 6、4 2 ... 平均値算出回路

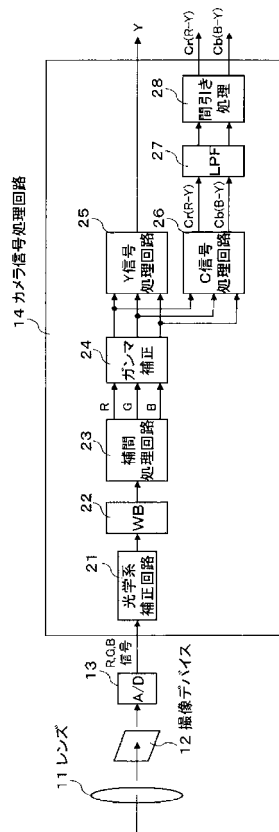
4 3 ... 比較回路

4 4 ... 判定回路

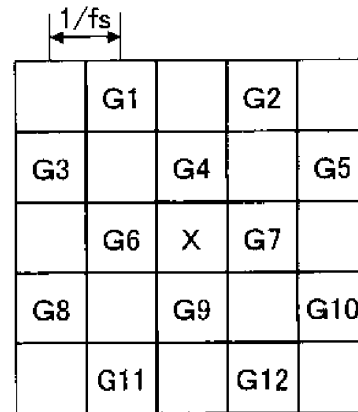
4 5 ... 補間回路

40

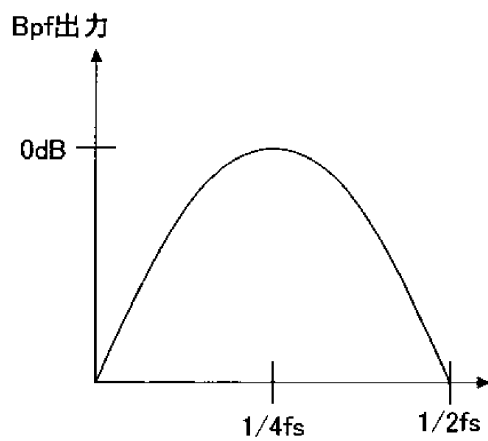
【図 1】



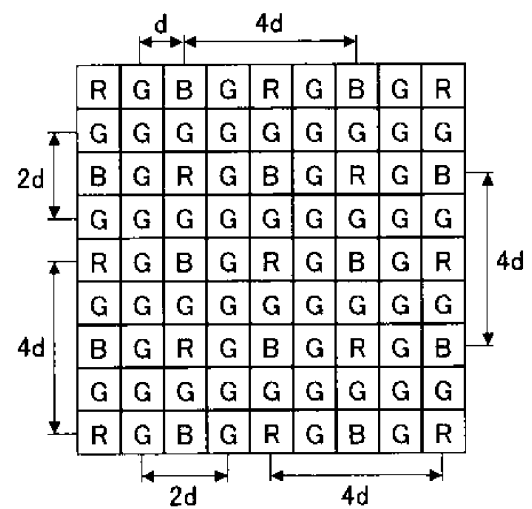
【図 2】



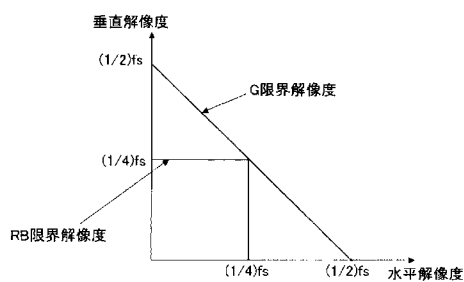
【図 4】



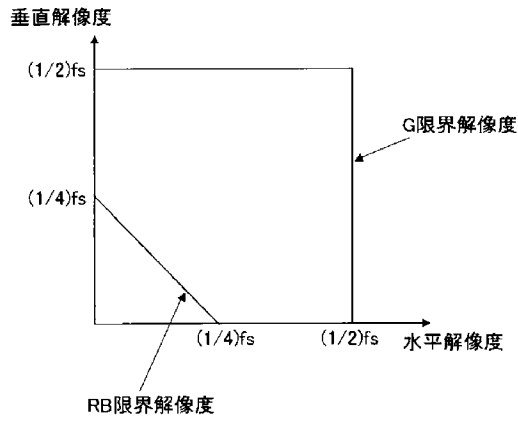
【図 6】



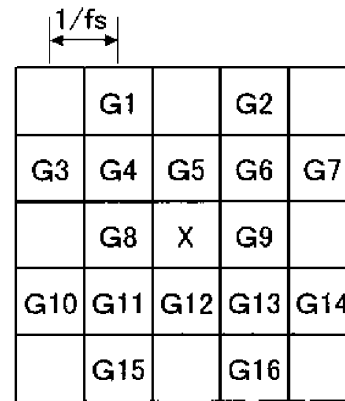
【図 5】



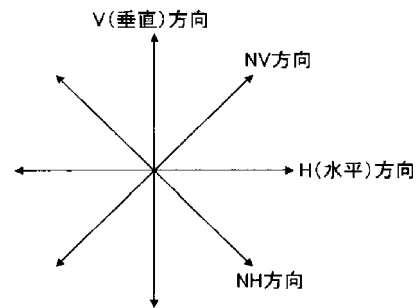
【図 7】



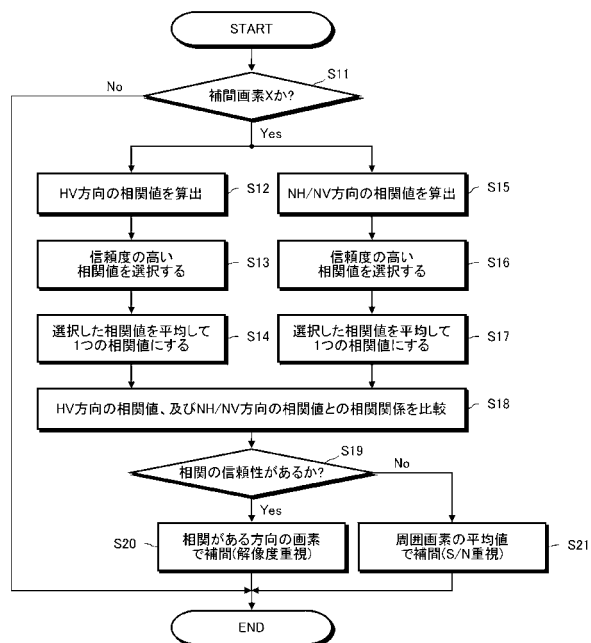
【図 8】



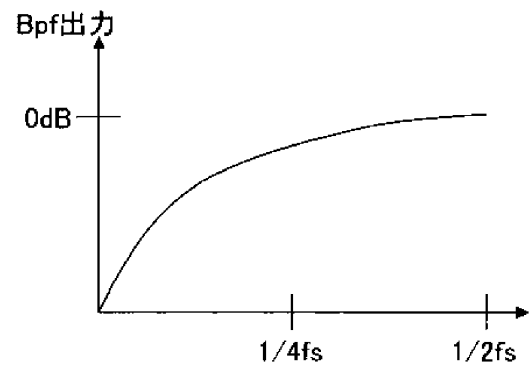
【図 9】



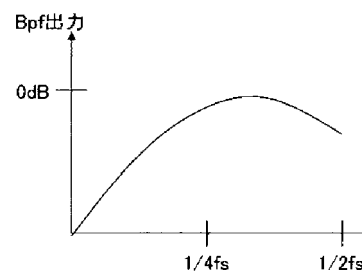
【図 10】



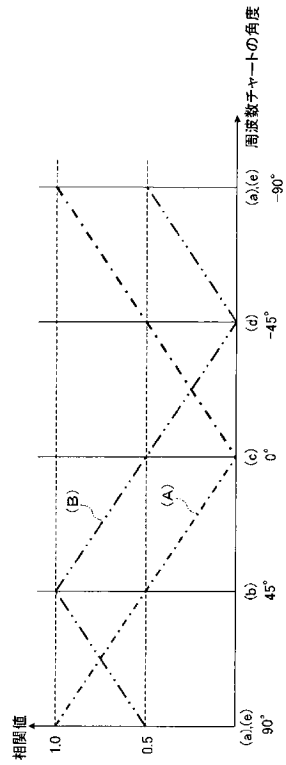
【図 11】



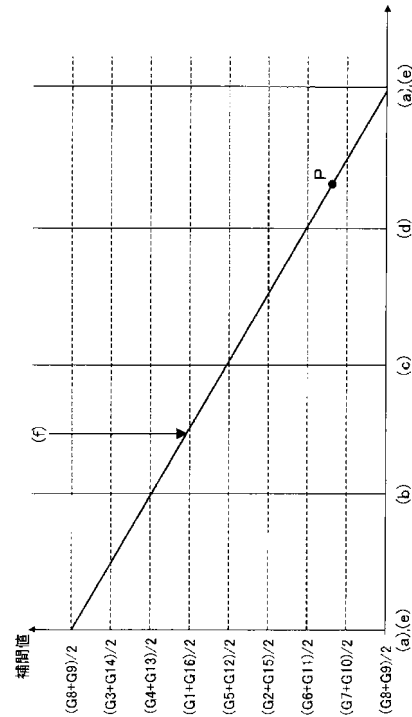
【図 12】



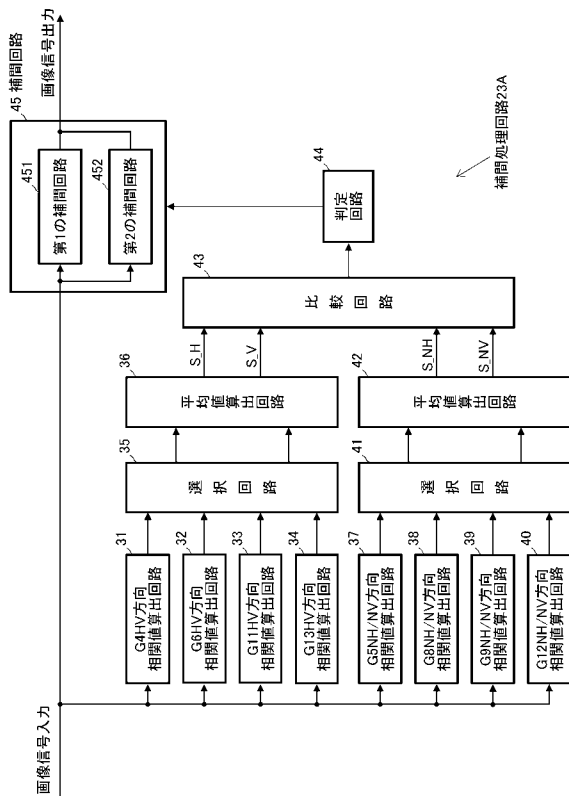
【図14】



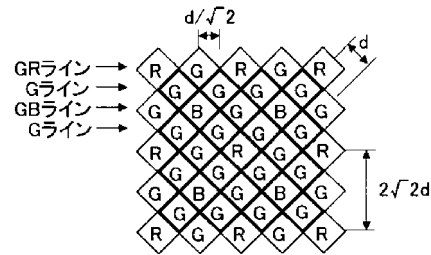
【図15】



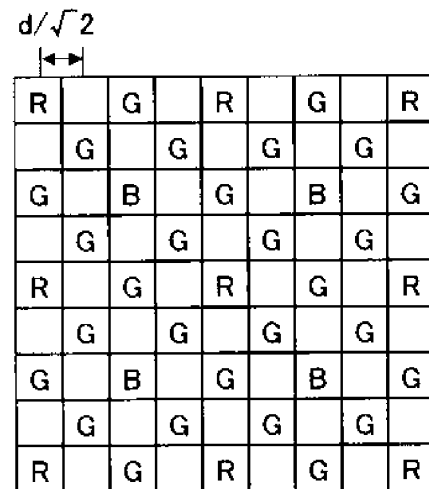
【図16】



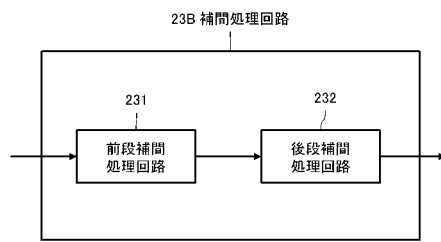
【図17】



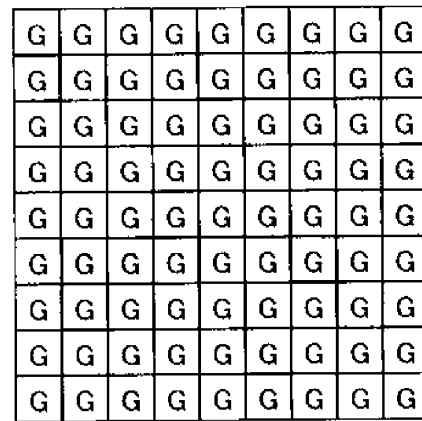
【図18】



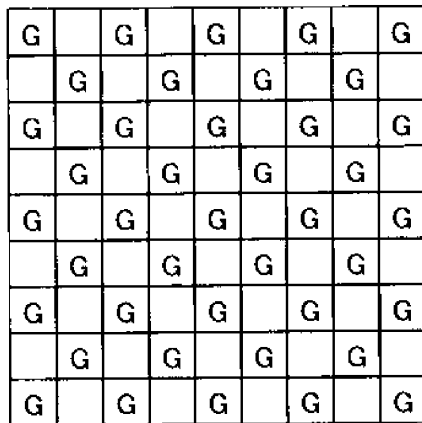
【図 19】



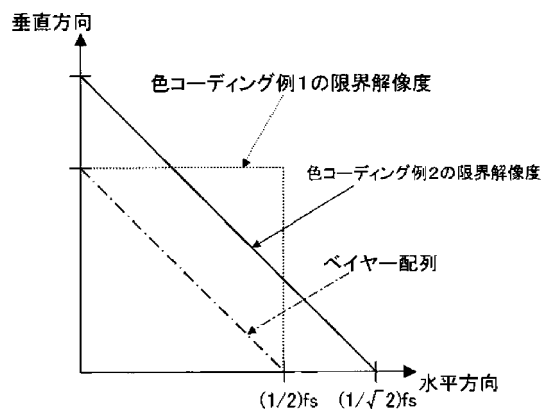
【図 21】



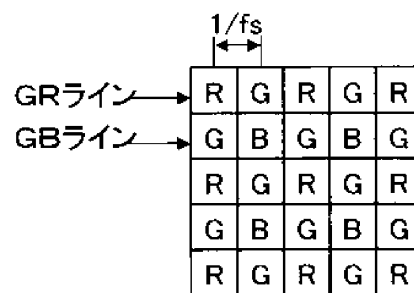
【図 20】



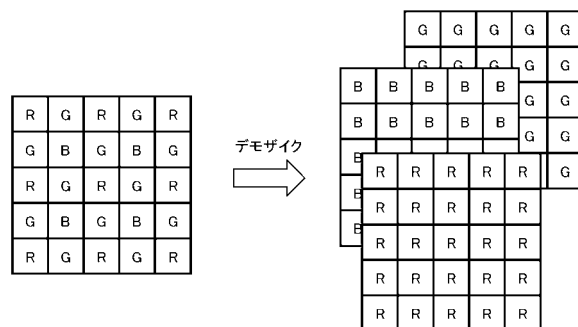
【図 22】



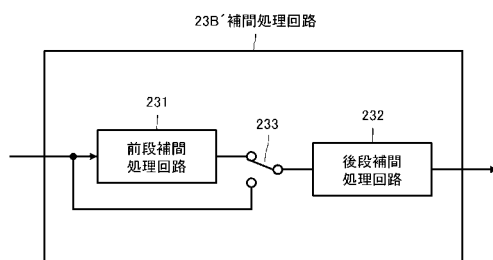
【図 24】



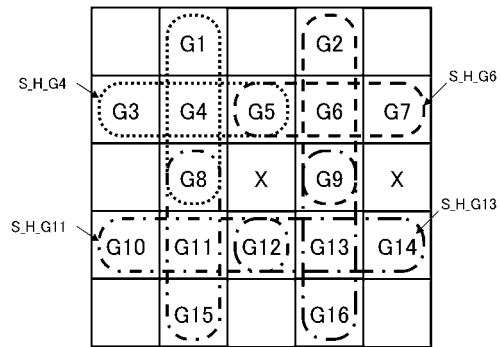
【図 25】



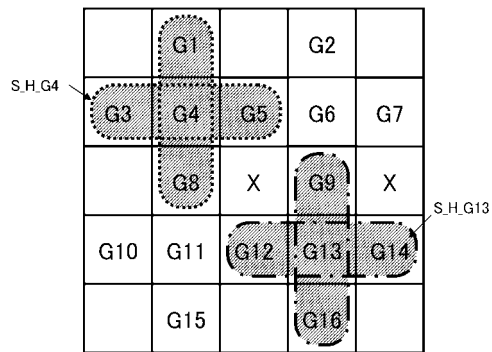
【図 23】



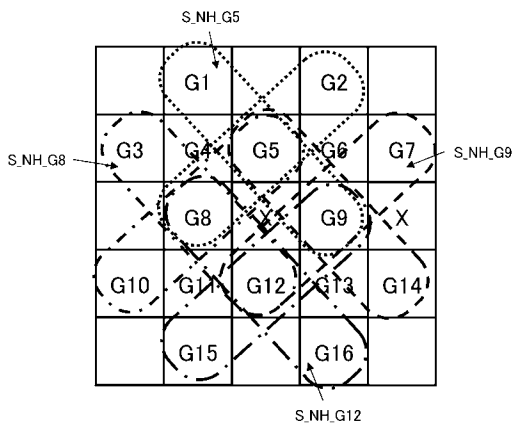
【図 26】



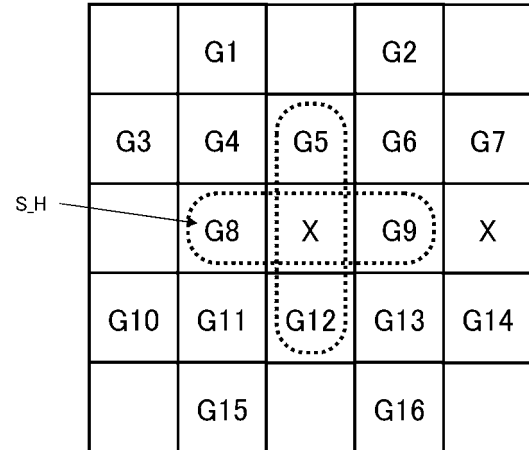
【図 27】



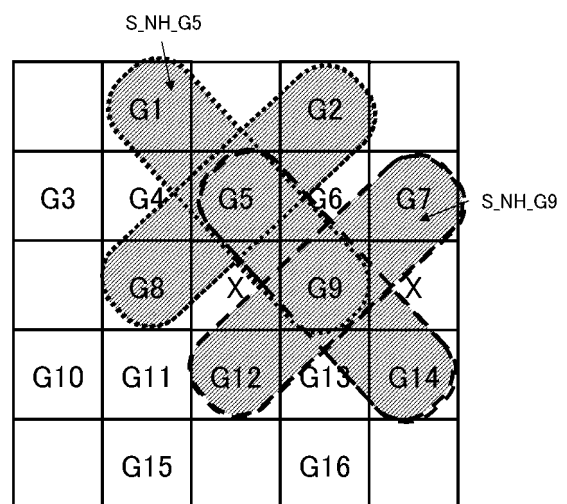
【図 29】



【図 28】

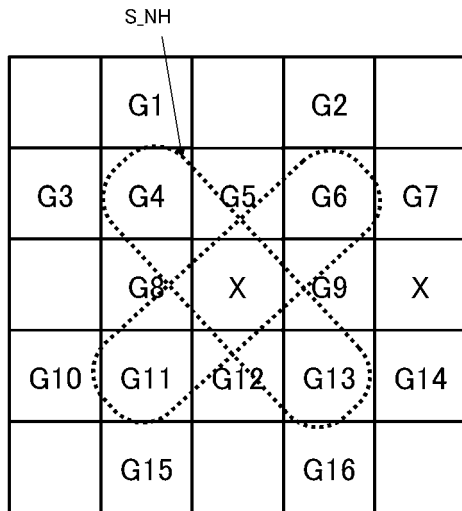


【図 30】

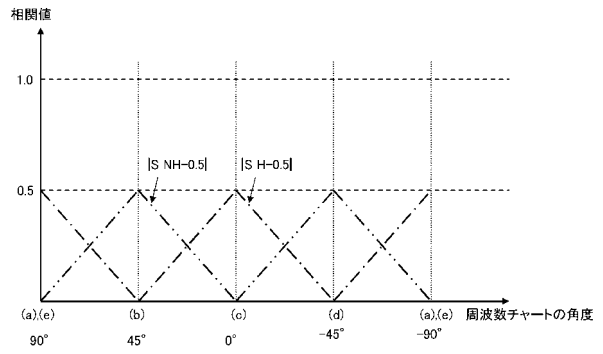




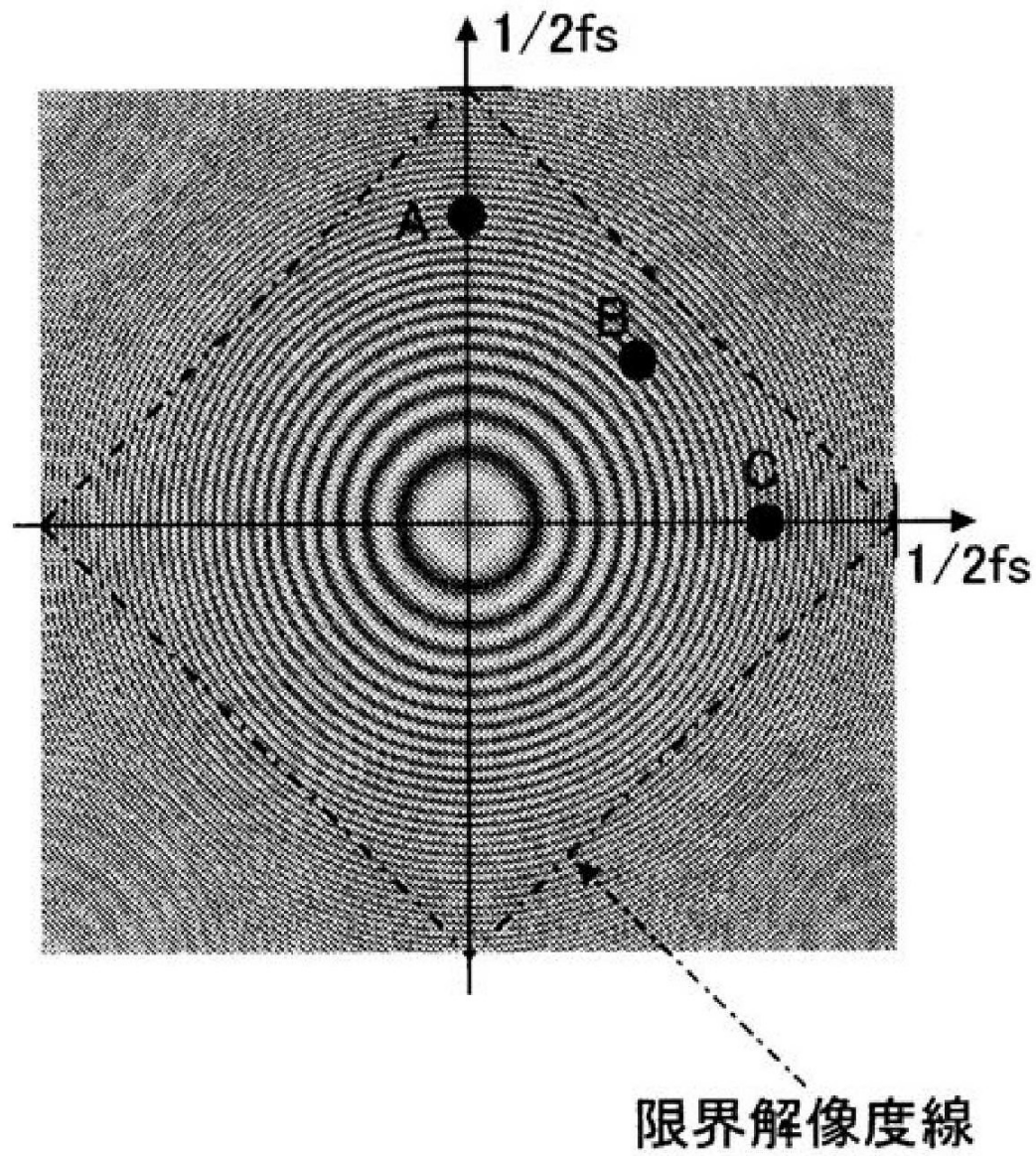
【図 3 1】



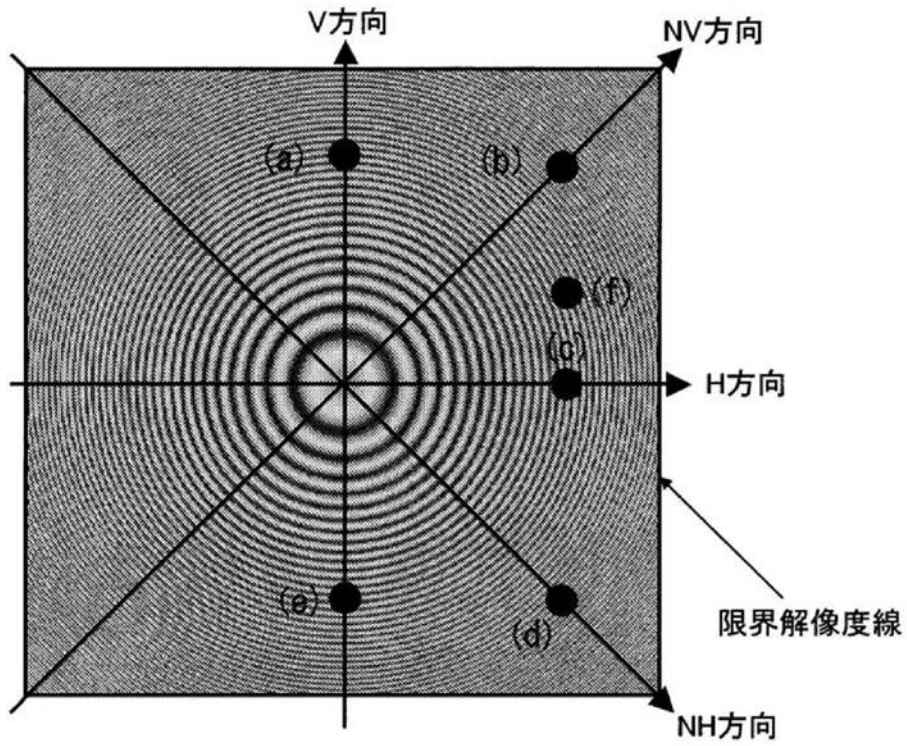
【図 3 2】



【図 3】



【図 13】



$$\begin{aligned} \text{(a)} \quad S_H &= 1.0 \\ S_{NH} &= 0.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b)} \quad S_H &= 0.5 \\ S_{NH} &= 1.0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(c)} \quad S_H &= 0.0 \\ S_{NH} &= 0.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(d)} \quad S_H &= 0.5 \\ S_{NH} &= 0.0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(e)} \quad S_H &= 1.0 \\ S_{NH} &= 0.5 \end{aligned}$$

---

フロントページの続き

- (72)発明者 小坂井 良太  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 松井 啓  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

審査官 松田 岳士

- (56)参考文献 特開2004-364201(JP,A)  
特開平11-220747(JP,A)  
特開平11-220749(JP,A)  
特開2006-080897(JP,A)  
特開平10-150668(JP,A)  
特開2004-229055(JP,A)  
特開2005-094119(JP,A)  
特開2006-024999(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H04N 9/07