

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-304706  
(P2004-304706A)

(43) 公開日 平成16年10月28日(2004.10.28)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>  
H04N 9/07  
// H04N 101:00

F I

H04N 9/07 A  
H04N 9/07 C  
H04N 9/07 D  
H04N 101:00

テーマコード(参考)

5C065

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2003-97920 (P2003-97920)  
(22) 出願日 平成15年4月1日(2003.4.1)

(71) 出願人 000005201  
富士写真フイルム株式会社  
神奈川県南足柄市中沼210番地  
(74) 代理人 100079991  
弁理士 香取 孝雄  
(72) 発明者 田丸 雅也  
埼玉県朝霞市泉水三丁目11番46号 富士写真フイルム株式会社内  
Fターム(参考) 5C065 AA03 BB13 BB22 CC01 CC08  
CC09 DD01 DD17 EE06 EE10  
GG05 GG13

(54) 【発明の名称】 固体撮像装置およびその補間処理方法

(57) 【要約】

【課題】 撮像装置の画素を微細化しても、信号電荷量および色解像度を確保し、再現帯域のバランスがよい画像を得ることができる固体撮像装置およびその信号処理方法を提供。

【解決手段】 色フィルタ40は、4種類、すなわち緑色(G)、白色(W)、赤色(R)、青色(B)の色フィルタセグメントにおいて、緑色を中心に上下左右に輝度信号として用いる白色を最も多く配し、輝度信号として得られる信号電荷量を確保し、緑色に対して対角の四隅に赤色および青色を完全市松パターンに配して、白色の空間周波数を正方形を斜め45°回転した形状に形成し、この形状の中に緑色を正形状に形成し、さらにこの正方形内に赤色および青色の撮像データが回転形状と同じ形状に形成する関係で撮像データを生成している。

【選択図】 図1

R	W	B	W	R	W	B	W	R	W	B	W	R
W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W
B	W	R	W	B	W	R	W	B	W	R	W	B
W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W
R	W	B	W	R	W	B	W	R	W	B	W	R
W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W
B	W	R	W	B	W	R	W	B	W	R	W	B
W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W
R	W	B	W	R	W	B	W	R	W	B	W	R
W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W

↑  
40

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

被写界からの入射光を分光感度特性の異なる色フィルタセグメントによって形成された色フィルタ手段に入射させ、前記色フィルタセグメントを透過した光を電気信号に変換する受光素子が 2 次元アレイ状に配設され、該 2 次元アレイ状の受光素子それぞれから得られた電気信号を撮像信号として信号処理を施す信号処理手段を介して画像信号を生成する固体撮像装置において、

前記色フィルタ手段は、前記入射光を透過する領域として第 1 から第 4 の色フィルタセグメントを用い、第 1 の色フィルタセグメントに対する上下左右の位置に第 2 の色フィルタセグメントが配され、第 1 の色フィルタセグメントに対する 2 つの対角に位置する色フィルタセグメントをそれぞれ同色にして、前記 2 つの対角のうち、一方の対角に第 3 および第 4 の色フィルタセグメントのいずれかが配設され、他方の対角に前記一方の対角において色選択されていない色フィルタセグメントが配設されることを特徴とする固体撮像装置。

10

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の装置において、前記色フィルタ手段は、それぞれ、前記分光感度特性のピークが緑色にある第 1 の色フィルタセグメント、前記入射光をすべて透過する第 2 の色フィルタセグメント、前記ピークが赤色にある第 3 の色フィルタセグメントおよび前記ピークが青色にある第 4 の色フィルタセグメントを含むことを特徴とする固体撮像装置。

## 【請求項 3】

被写界からの入射光を分光感度特性の異なる色フィルタセグメントによって形成された色フィルタ手段に入射させ、前記色フィルタセグメントを透過した光を電気信号に変換する受光素子が 2 次元アレイ状に配設され、該 2 次元アレイ状の受光素子それぞれから得られた電気信号を撮像信号として信号処理を施す信号処理手段を介して画像信号を生成する固体撮像装置において、

前記色フィルタ手段は、前記入射光を透過する領域として第 1 から第 4 の色フィルタセグメントを用い、第 1 の色フィルタセグメントに対する上下左右の位置に第 2 の色フィルタセグメントが配され、第 1 の色フィルタセグメントに対する 2 つの対角に位置する色フィルタセグメントをそれぞれ同色にして、前記 2 つの対角のうち、一方の対角に第 3 および第 4 の色フィルタセグメントのいずれかが配設され、他方の対角に前記一方の対角において色選択されていない色フィルタセグメントが配設され、

20

30

前記信号処理手段は、第 1 から第 4 の色フィルタセグメントを介して得られた撮像信号のデジタル化により撮像データにして、前記受光素子すべての位置における 4 種類の色それぞれの撮像データを用いて、第 1 から第 4 の色フィルタセグメントのそれぞれが有する前記分光感度特性に応じて 4 種類の色のうち、欠如している色属性の画素データを補間して生成する補間手段を含むことを特徴とする固体撮像装置。

## 【請求項 4】

請求項 3 に記載の装置において、前記色フィルタ手段は、それぞれ、前記分光感度特性のピークが緑色にある第 1 の色フィルタセグメント、前記入射光をすべて透過する第 2 の色フィルタセグメント、前記ピークが赤色にある第 3 の色フィルタセグメントおよび前記ピークが青色にある第 4 の色フィルタセグメントを含むことを特徴とする固体撮像装置。

40

## 【請求項 5】

請求項 3 または 4 に記載の装置において、前記補間手段は、前記色フィルタ手段の配列を考慮して、該色フィルタ手段の色パターンに応じて得られる前記撮像データを用いた欠如している色属性の生成において、前記白色に対して第 1 の基本単位に第 1 の基本単位内の各画素の位置に応じて所定の係数を乗算して前記白色の画素データを補間する第 1 の 2 次元フィルタ手段と、

前記緑色に対して第 1 の基本単位に第 1 の基本単位内の各画素の位置に応じて所定の係数を乗算して前記緑色の画素データを補間する第 2 の 2 次元フィルタ手段と、

前記赤色および前記青色のそれぞれに対して第 2 の基本単位に第 2 の基本単位内の各画素

50

の位置に応じて所定の係数を乗算して前記赤色および前記青色のそれぞれの画素データを補間する第3の2次元フィルタ手段とを含む固体撮像装置。

【請求項6】

請求項3、4または5に記載の装置において、第1の基本単位は、9画素であり、第2の基本単位は25画素であることを特徴とする固体撮像装置。

【請求項7】

請求項6に記載の方法において、第1の2次元フィルタ手段は、第1の基本単位において各位置に対して割り当てる前記所定の係数のうち、第1の基本単位を中心を最も大きい係数に、該中心の上下左右に位置する係数を前記中心の係数に対してほぼ4分の1の係数に、該中心の対角に位置する係数を最も小さい係数に設定し、

10

第2の2次元フィルタ手段は、第1の基本単位において各位置に対して割り当てる前記所定の係数のうち、第1の基本単位を中心を最も大きい係数に、該中心の上下左右に位置する係数を前記中心の係数に対してほぼ半値の係数に、該中心の対角に位置する係数をほぼ4分の1の係数に設定し、

第3の2次元フィルタ手段は、第2の基本単位において各位置に対して割り当てる前記所定の係数のうち、第2の基本単位を中心を最も大きい係数に、該中心を囲む周辺位置の係数を前記中心の係数に対してほぼ半値の係数に、該周辺位置のさらに外周に位置する係数を前記中心の対角に位置する係数を最も小さい係数にする以外の位置でほぼ4分の1の係数に設定することを特徴とする固体撮像装置。

【請求項8】

20

請求項3ないし7のいずれか一項に記載の装置において、該装置は、前記補間により前記生成した撮像データのうち、第1、第3および第4の色の撮像データを基に色信号を生成する色変換手段と、

該色信号と第2の色フィルタセグメントに対応する第2の撮像データを輝度信号として入力し、これらの入力信号に含まれるノイズを抑制するノイズ低減手段とを含むことを特徴とする固体撮像装置。

【請求項9】

被写界からの入射光をそれぞれの分光感度特性に応じて透過させることで色属性を持つ入射光にし、該入射光を電気信号に変換した画素信号として読み出して、該画素信号をデジタル化し、対象の画素データに欠如している色属性を所望の色属性とし、該対象の周囲

30

に位置する前記所望の色属性と同色の画素データを基に補間して該画素データの色属性をすべて得る補間方法において、該方法は、前記分光感度特性のそれぞれに緑色、白色、赤色および青色の色属性を用い、各色属性の配列が前記緑色を中心に対して前記白色を上下左右に配し、前記緑色に対する2組の対角をそれぞれ、前記赤色の組と前記青色の組とを配したパターンであり、該パターンに応じて得られる画素データを用いて欠如している色属性を生成する場合、前記白色に対する第1の基本単位に前記分光感度特性を考慮した第1の基本単位内の各画素の位置に応じて設定した係数を乗算して前記白色の画素データを補間する第1の工程と、

前記緑色に対する第1の基本単位に前記分光感度特性を考慮した第1の基本単位内の各画素の位置に応じて設定した係数を乗算して前記緑色の画素データを補間する第2の工程と

40

、前記赤色および前記青色のそれぞれに対する第2の基本単位に前記分光感度特性を考慮した第2の基本単位内の各画素の位置に応じて設定した係数を乗算して前記赤色および前記青色のそれぞれの画素データを補間する第3の工程とを含むことを特徴とする固体撮像装置の補間方法。

【請求項10】

請求項9に記載の方法において、第1の基本単位は、9画素であり、第2の基本単位は25画素であることを特徴とする固体撮像装置の補間方法。

【請求項11】

請求項9または10に記載の方法において、第1の工程は、第1の基本単位において各

50

置に対して割り当てる前記所定の係数のうち、第1の基本単位の中心を最も大きい係数に、該中心の上下左右に位置する係数を前記中心の係数に対してほぼ4分の1の係数に、該中心の対角に位置する係数を最も小さい係数に設定して、補間し、

第2の工程は、第1の基本単位において各位置に対して割り当てる前記所定の係数のうち、第1の基本単位の中心を最も大きい係数に、該中心の上下左右に位置する係数を前記中心の係数に対してほぼ半値の係数に、該中心の対角に位置する係数をほぼ4分の1の係数に設定して、補間し、

第3の工程は、第2の基本単位において各位置に対して割り当てる前記所定の係数のうち、第2の基本単位の中心を最も大きい係数に、該中心を囲む周辺位置の係数を前記中心の係数に対してほぼ半値の係数に、該周辺位置のさらに外周に位置する係数を前記中心の対角に位置する係数を最も小さい係数にする以外の位置でほぼ4分の1の係数に設定して、補間することを特徴とする固体撮像装置の補間方法。

10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、固体撮像装置に関し、とくにデジタルカメラ等の画像入力装置に適用して好適なものであり、また、本発明は固体撮像装置の補間方法に関し、とくに、使用する色属性のうち、実際に得られる色属性の画素データ以外の色属性の画素データを周囲に位置する画素データにより補間して生成する方法である。

【0002】

20

【従来の技術】

人間の視覚においてより重要な解像度は、色よりも輝度の解像度である。実際、固体撮像装置には、一般的に輝度解像度を重視した、たとえばベイヤ配列や画素ずらししたG正方形RB完全市松という色フィルタ配列および補間処理が行われている。

【0003】

ところで、近年、固体撮像素子の多画素化が急速に進んでいる。これにより、固体撮像素子は、一般ユーザが使用する上で十分な輝度解像度が得られている。ところで、上述した多画素化にともない固体撮像素子には著しい微細化が行われている。すなわち、一画素の占める感光面積が小さくなることから、固体撮像素子には生成される信号電荷量が十分得られず、ノイズが懸念されている。この懸念の対策としては、感度アップの重視がある。

30

【0004】

特開平8-23542号公報に記載の撮像装置は、現状の重視する点を考慮しながら、色再現を保つ撮像装置を提案している(特許文献1を参照)。この撮像装置は、3種類の色フィルタセグメント、透明なフィルタセグメントYと、色差信号に関わる赤(R)フィルタセグメントおよび青(B)フィルタセグメントを隣接させている。また、撮像装置は、同色の色フィルタセグメント同士を水平および垂直方向にそれぞれ3画素間隔でオフセット配置している。この配置以外の色フィルタセグメントは透明なフィルタセグメントYを使用することになり、この結果、フィルタセグメントが増える。この増加は、感度アップをもたらす。また、上述した2種類の色フィルタセグメントは、配置関係から配置した各方向における色解像度を向上させることが記載されている。

40

【0005】

【特許文献1】

特開平8-23542号公報。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、この提案は、これまでのカラーフィルタの配列に比べて透明なフィルタセグメントYを増やすことにより、色解像度が低下する。提案された複数の色フィルタ配列は、いずれも色解像度の低下だけでなく、再現帯域のバランスも悪い。このため、この撮像装置では、エリアリングが起きやすい。

【0007】

50

本発明はこのような従来技術の欠点を解消し、撮像装置の画素を微細化しても、信号電荷量および色解像度を確保し、再現帯域のバランスがよい画像を得ることができる固体撮像装置およびその信号処理方法を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明は上述の課題を解決するために、被写界からの入射光を分光感度特性の異なる色フィルタセグメントによって形成された色フィルタ手段に入射させ、色フィルタセグメントを透過した光を電気信号に変換する受光素子が2次元アレイ状に配設され、この2次元アレイ状の受光素子それぞれから得られた電気信号を撮像信号として信号処理を施す信号処理手段を介して画像信号を生成する固体撮像装置において、色フィルタ手段は、入射光を透過する領域として第1から第4の色フィルタセグメントを用い、第1の色フィルタセグメントに対して上下左右の位置に第2の色フィルタセグメントが配され、第1の色フィルタセグメントに対する2つの対角に位置する色フィルタセグメントをそれぞれ同色にして、2つの対角のうち、一方の対角に第3および第4の色フィルタセグメントのいずれかが配設され、他方の対角に一方の対角において色選択されていない色フィルタセグメントが配設されることを特徴とする。

10

【0009】

本発明の固体撮像装置は、4種類の色フィルタセグメントの配設にともなって形成されるパターンから、輝度信号として用いる第2の色の画素データが最も多く得られ、輝度信号として得られる信号電荷量を確保し、各色を空間周波数で示すと、第2の色の撮像データにより正方形を斜め45°回転した回転形状に形成され、この形状の中に第1の色の撮像データが正方形内に形成され、さらにこの正方形内に第3および第4の色の撮像データが回転形状と同じ形状に形成される関係に撮像データを生成して、色解像度および再現帯域のバランスを良好なものにしている。

20

【0010】

また、本発明は上述の課題を解決するために、被写界からの入射光を分光感度特性の異なる色フィルタセグメントによって形成された色フィルタ手段に入射させ、色フィルタセグメントを透過した光を電気信号に変換する受光素子が2次元アレイ状に配設され、この2次元アレイ状の受光素子それぞれから得られた電気信号を撮像信号として信号処理を施す信号処理手段を介して画像信号を生成する固体撮像装置において、色フィルタ手段は、入射光を透過する領域として第1から第4の色フィルタセグメントを用い、第1の色フィルタセグメントに対して上下左右の位置に第2の色フィルタセグメントが配され、第1の色フィルタセグメントに対する2つの対角に位置する色フィルタセグメントをそれぞれ同色にして、2つの対角のうち、一方の対角に第3および第4の色フィルタセグメントのいずれかが配設され、他方の対角に前記一方の対角において色選択されていない色フィルタセグメントが配設され、信号処理手段は、第1から第4の色フィルタセグメントを介して得られた撮像データのデジタル化により撮像データにして、受光素子すべての位置における4種類の色それぞれの撮像データを用いて、第1から第4の色フィルタセグメントのそれぞれが有する分光感度特性に応じて4種類の色のうち、欠如している色属性の画素データを補間して生成する補間手段を含むことを特徴とする。

30

40

【0011】

本発明の固体撮像装置は、4種類の色フィルタセグメントの配設にともなって形成されるパターンから、輝度信号として用いる第2の色の画素データが最も多く得られる配設にして、輝度信号として得られる信号電荷量を確保し、各色を空間周波数で示すと、第2の色の撮像データにより正方形を斜め45°回転した回転形状に形成され、この形状の中に第1の色の撮像データが正方形内に形成され、さらにこの正方形内に第3および第4の色の撮像データが回転形状と同じ形状に形成される関係に撮像データを生成して、色解像度および再現帯域のバランスを良好なものにし、補間手段で分光感度特性を考慮して補間処理が施されることにより、4色の撮像データのレベルバランスを良好にする。

【0012】

50

さらに、本発明は上述の課題を解決するために、被写界からの入射光をそれぞれの分光感度特性に応じて透過させることで色属性を持つ入射光にし、この入射光を電気信号に変換した画素信号として読み出して、この画素信号をデジタル化し、対象の画素データに欠如している色属性を所望の色属性とし、この対象の周囲に位置する所望の色属性と同色の画素データを基に補間してこの画素データの色属性をすべて得る補間方法において、この方法は、分光感度特性のそれぞれに緑色、白色、赤色および青色の色属性を用い、各色属性の配列が緑色を中心に対して白色を上下左右に配し、緑色に対する2組の対角をそれぞれ、赤色の組と青色の組とを配したパターンであり、このパターンに応じて得られる画素データを用いて欠如している色属性を生成する場合、白色に対する第1の基本単位に分光感度特性を考慮した第1の基本単位内の各画素の位置に応じて設定した係数を乗算して白色の画素データを補間する第1の工程と、緑色に対する第1の基本単位に分光感度特性を考慮した第1の基本単位内の各画素の位置に応じて設定した係数を乗算して緑色の画素データを補間する第2の工程と、赤色および青色のそれぞれに対する第2の基本単位に分光感度特性を考慮した第2の基本単位内の各画素の位置に応じて設定した係数を乗算して赤色および青色のそれぞれの画素データを補間する第3の工程とを含むことを特徴とする。

10

20

30

40

50

#### 【0013】

本発明の固体撮像装置の補間方法は、4種類の色フィルタセグメントの配設にともなって形成されるパターンから、輝度信号として用いる第2の色の画素データが最も多く得られる配設にして、輝度信号として得られる信号電荷量を確保し、第1の基本単位内の各位置に設定した係数を補間対象の色、すなわち白色と緑色に応じて割り当てて配列し、第2の基本単位内の各位置において設定した補間対象の色、すなわち赤色と青色に応じて割り当てて配列し、補間対象に該当する画素データにこれらの係数を掛けて補間することにより、分光感度特性にともなう色バランスのずれをならすように補間して同時化処理を行うことができる。

#### 【0014】

#### 【発明の実施の形態】

次に添付図面を参照して本発明による固体撮像装置の一実施例を詳細に説明する。

#### 【0015】

本実施例は、本発明の固体撮像装置をデジタルカメラ10に適用した場合である。本発明と直接関係のない部分について図示および説明を省略する。以下の説明で、信号はその現れる接続線の参照番号で指示する。

#### 【0016】

デジタルカメラ10は、図2に示すように、光学系12、絞り調節機構14、撮像部16、前処理部18、信号処理部20、システム制御部22、操作部24、タイミング信号発生器26、ドライバ28、モニタ30およびストレージ32を含んでいる。

#### 【0017】

光学系12は、絞り調節機構の他に、図示しないがメカニカルシャッタ、光学系レンズ、ズーム機構、およびオートフォーカス(A F: Automatic Focus)調節機構を含む。光学系12は、光学レンズを上述した各種の機構を調整して入射光を撮像部16に送る機能を有している。

#### 【0018】

ズーム機構は、図示しないが被写界の画角を調整する。A F調節機構は、複数の光学レンズの配置を自動的に変位調節して被写体を焦点の合った位置関係に調節する機構である。機構のそれぞれには、上述した位置に光学レンズを移動させるためモータが配設されている。これらの機構は、各モータにドライバ28からそれぞれ供給される駆動信号34に応じて動作している。

#### 【0019】

絞り調節機構14は、具体的に図示しないが入射光量を調節するA E (Automatic Exposure) 調節機構であり、ドライバ28からの駆動信号36に応じてリング部を回転させる。リング部は、羽根を部分的に重ならせてアイリスの形状を丸く形成し

、入射する光束を通すようにアイリスを形成する。このようにして絞り調節機構はアイリスの口径を変えている。絞り調節機構 14 は、メカニカルシャッタをレンズシャッタとして光学系レンズに組み込んでもよい。

**【0020】**

メカニカルシャッタは、撮像部 16 に撮影のとき以外に光が照射されないように遮光するとともに、露光の開始と終了により露光時間を決める機能を有している。メカニカルシャッタには、たとえば一眼レフカメラで使用されているようなフォーカルプレーン式がある。この方式は、シャッタ幕が縦または横に走り、この瞬間にできるスリットで露光を行うものである。また、上述したようにレンズシャッタ式を用いてもよい。メカニカルシャッタは、たとえば絞り調節機構 14 内に設けられている場合、ドライバ 28 から供給される駆動信号 36 に応じてシャッタを開閉させるようにするとよい。

10

**【0021】**

撮像部 16 は、光学ローパスフィルタ 38 および色フィルタ 40 が入射光側に配され、色フィルタセグメントに対応して入射光を光電変換する固体撮像素子 42 を備えている。光学ローパスフィルタ 38 は、入射光の空間周波数をナイキスト周波数以下にするフィルタである。色フィルタ 40 については後段でさらに説明する。固体撮像素子 42 は、電荷結合素子 (CCD: Charge Coupled Device) で蓄積した信号電荷を垂直転送路に読み出すトランスファゲート (TG: Transfer Gate) が配設されている。固体撮像素子 42 にもドライバ 28 から駆動信号 44 が供給されている。駆動信号 44 は、固体撮像素子 42 の動作モードに応じた水平駆動信号、垂直駆動信号

20

**【0022】**

ここで、本実施例の色フィルタ 40 には、図 1 に示すように、4 色の色フィルタセグメントが配されている。4 色の色フィルタセグメントとは、それぞれ赤色 R (第 3 の色)、緑色 G (第 1 の色)、青色 B (第 4 の色) および白色 W (第 2 の色) である。ここで、白色 W は、透明なフィルタセグメントを意味している。

**【0023】**

これらの色フィルタセグメントによる色パターンは、基本的に、 $3 \times 3$  を単位に表す 9 つの色フィルタセグメントのうち、緑色 (G) の色フィルタセグメントを中心に配し、この緑色 (G) の色フィルタセグメントに対して上下左右に白色 (W) の色フィルタセグメントを配し、さらに緑色 (G) の色フィルタセグメントに対する 2 組の対角位置に対向する色フィルタセグメントの色を 1 組ずつ同色にして赤色 (R) と青色 (B) をそれぞれ対応させて配する。これにより、色パターンは、緑色 (G) の色フィルタセグメントに対して赤色 (R) と青色 (B) に着目すると、RB 完全市松パターンになっている。

30

**【0024】**

図 1 に示した色パターンを有する色フィルタ 40 を水平方向および垂直方向の空間周波数の関係を図 3 に表す。水平方向を示す横軸を  $u$ 、垂直方向を示す縦軸を  $v$  とする。図 3 (a) は、白色 (W) の色フィルタセグメントの配設を空間周波数パターン 48 で表したものである。この空間周波数パターン 48 は、正方形を  $45^\circ$  回転させた形になる。白色 (W) の色フィルタセグメントは、色パターン 40 において最も数多く配され、白色 (W) の色フィルタセグメントからの透過光は、光電変換に利用する波長を限定することなく、光電変換に利用して信号電荷を生成し、輝度信号として使う。多画素化により 1 画素の生成する信号電荷量が減っても、波長を有効に利用できる色フィルタを数多く用いて、デジタルカメラ 10 は画像における信号電荷量を確保する。これにより、多画素化にともなって画像に表れるノイズを抑制することができる。

40

**【0025】**

緑色 (G) の色フィルタセグメントは、図 3 (b) の空間周波数パターン 50 で表される

50

。緑色（G）の色フィルタセグメントに着目して見ると、図1からわかるように、緑色（G）は、正方形の格子位置に対応して配設されている。したがって、空間周波数パターン50は、空間周波数パターン48に内接する正方形になる。

**【0026】**

また、完全市松パターンを形成する赤色（R）と青色（B）の色フィルタセグメントは、図3（c）の空間周波数パターン52になる。空間周波数パターン52は、空間周波数パターン48に相似なパターンで、図1の色パターンからわかるように、各軸と交差する位置での空間周波数は半値になる。

**【0027】**

このように色フィルタセグメントを配することにより、色解像度をたとえば、 $4 \times 4$ 個を1組と考えると、白色（W）の色フィルタセグメントは、半分の8個であり、RBの色フィルタセグメントは、それぞれ2個ずつ、Gの色フィルタセグメントは4個として、色毎に生成される信号電荷量を確保しながら、色解像度および再現帯域のバランスを良好なものにしている。

**【0028】**

図2に戻って、前処理部18には、ノイズ除去に相関二重サンプリング（Correlated Double Sampling：CDS）回路、ゲイン調整アンプ（GCA：Gain- Controlled Amplifier）、およびA/D変換器（Analog-to-Digital Converter）が含まれている。CDS回路には、タイミング信号発生器26からサンプリング信号としてCDSパルス54が供給され、A/D変換器には、変換クロック信号56が供給されている。前処理部18は、供給されるアナログ信号46に対してノイズ除去、波形整形、デジタル化を行って得られた撮像データのすべてをデジタルデータ（画像データ）58としてデータバス60を介して信号処理部20に出力する。

**【0029】**

信号処理部20は、メモリ制御部62、メインメモリ64、デジタル処理部66、圧縮伸長処理部68、IF（Interface）部70および表示制御部72を含む。信号処理部20は、制御バス74を介してシステム制御部22から供給される制御信号76に応じて制御される。メモリ制御部62は、制御信号76に応じて画像データ58をメインメモリ64に対する書込み/読出しの制御やメインメモリ64に対するリフレッシュ制御等を行う機能を有する。メインメモリ64には、たとえばSRAM（Static Random Access Memory）等のメモリが用いられる。

**【0030】**

デジタル処理部66は、供給された画像データ58に対して複数のデジタル処理を施す機能を有する。本実施例におけるデジタル処理部66は、図4に示すように、オフセット補正回路78、シェーディング補正回路80、ゲイン補正回路82、ガンマ補正回路84、RGBW補間回路86、色変換回路88、ノイズ低減回路90、輪郭補正回路92および色差マトリクス（MTX：Matrix）回路94を含んでいる。

**【0031】**

オフセット補正回路78は、画像データ58に含まれるオフセット分を補正する機能を有し、シェーディング補正回路80に出力する。シェーディング補正回路80は、レンズの周辺で生じるシェーディング現象を電氣的に補正する機能を有し、画像に現れるシェーディング特性の逆特性を施すことで補正を行う。シェーディング補正回路80は、補正した画像データをゲイン補正回路82に出力する。

**【0032】**

ゲイン補正回路82は、供給されるオフセットおよびシェーディング補正済みの画像データに対してゲイン量を補正し、ガンマ補正回路84に出力する。ガンマ補正回路84は、非直線性の特性に合わせる補正機能である。ガンマ補正回路84は、たとえばガンマ補正用のルックアップテーブルを含む。ガンマ補正回路84は、メインメモリ64から供給される画像データをルックアップテーブルのデータを用いて変換し、ガンマ補正する。ガン

10

20

30

40

50



マ補正回路 8 4 は補正した画像データを R G B W 補間回路 8 6 に送る。

【 0 0 3 3 】

R G B W 補間回路 8 6 は、本発明の特徴を備える回路で、赤色 ( R ) , 緑色 ( G ) , 青色 ( B ) および白色 ( W ) の 4 種類の色パターンに供給される画像データに対して各画素の位置にて欠如している色属性の画素データを補間により生成する機能を有している。R G B W 補間回路 8 6 は、図 5 に示す各色毎に 2 次元フィルタ回路 9 6 , 9 8 , 1 0 0 を備えている。2 次元フィルタ回路 9 6 , 9 8 , 1 0 0 は、補間に利用する画素数を基本単位に基本単位の中心位置の画素データを算出して、補間する。2 次元フィルタ回路 9 6 , 9 8 は基本単位が 9 画素であり、2 次元フィルタ回路 1 0 0 は基本単位が 2 5 画素である。ただし、2 次元フィルタ回路 9 6 , 9 8 , 1 0 0 は、各基本単位において、求める色 ( 属性 ) 以外の色の画素データは 0 として扱い、補間を行う。

10

【 0 0 3 4 】

図 5 ( a ) の 2 次元フィルタ回路 9 6 は、白色 ( W ) に対する係数を示している。基本単位を枠とみなし枠内に存在する白色 ( W ) の画素データに対応する係数を掛けて加算し、中心の位置における白色 ( W ) の画素データとして補間し、欠如している白色 ( W ) を生成する。2 次元フィルタ回路 9 6 は、図 1 の色フィルタ 4 0 における色フィルタセグメントの配列パターンにおける白色 ( W ) が最も多く、かつ図 3 ( a ) の空間周波数が示すように広い帯域をカバーする分布関係にあることから、基本単位を 9 画素にしている。さらに、この関係と分光感度特性を考慮して 9 画素のうち、係数は、中心位置を 1、中心の上下左右の位置を 0 . 2 5、中心に対する対角位置を 0 に設定している。

20

【 0 0 3 5 】

2 次元フィルタ回路 9 8 において図 1 に示す緑色 ( G ) の画素数は、数多くはないが、図 3 ( b ) に示す空間周波数がカバーする空間周波数の分布および分光感度特性を考慮して、9 画素を基本単位にしている。とくに、分光感度特性を考慮して、係数は、中心位置を 1、中心の上下左右の位置を 0 . 5、中心に対する対角位置を 0 . 2 5 に設定している。図 5 ( b ) の 2 次元フィルタ回路 9 8 は、緑色 ( G ) に対する係数を示し、基本単位を枠とみなし枠内に存在する緑色 ( G ) の画素データに対応する係数を掛けて加算し、中心の位置における緑色 ( G ) の画素データとして補間し、欠如している緑色 ( G ) を生成する。

30

【 0 0 3 6 】

また、図 5 ( c ) の 2 次元フィルタ回路 1 0 0 は、赤色 ( R ) / 青色 ( B ) に対する係数を示している。基本単位を枠とみなし枠内に存在する赤色 ( R ) / 青色 ( B ) の画素データに対応する係数を掛けて加算し、中心の位置における赤色 ( R ) / 青色 ( B ) の画素データとして補間し、欠如している赤色 ( R ) / 青色 ( B ) のそれぞれを生成する。この 2 色は、完全市松パターンを形成する位置関係から、空間周波数の分布は狭い。すなわち、2 色を含むパターンは広い領域を設定することになる。このことから、基本単位は 2 5 画素としている。2 色の分光感度特性も白色 ( W ) や緑色 ( G ) に比べて低い。分光感度特性を考慮して、係数は、パターンの中心位置を 1、中心の外周に位置する 8 つに対して 0 . 5、この外周位置の上下左右に対して 0 . 2 5、中心に対する最外周の対角位置を 0 に設定している。

40

【 0 0 3 7 】

R G B W 補間回路 8 6 は、色のパターンおよび感度も考慮に入れて係数を設定した 2 次元フィルタ回路 9 6 , 9 8 , 1 0 0 を用い、とくに白色 ( W ) の感度レベルを緑色 ( G ) の感度レベルに合わせた 2 次元フィルタ回路 9 6 を用いることにより、色毎の解像度や再現帯域のバランスを良好なものにして、4 色の色パターンにおける同時化を行う。R G B W 補間回路 8 6 は、R G B の三原色の画素データ 1 0 2 , 1 0 4 , 1 0 6 を色変換回路 8 8 に送り、白色 ( W ) の画素データ 1 0 8 を輝度信号としてノイズ低減回路 9 0 に出力する。

【 0 0 3 8 】

色変換回路 8 8 は、供給される三原色 R G B の画素データ 1 0 2 , 1 0 4 , 1 0 6 を

50

3 刺激値として用いて色信号 110 を生成する機能を有する。色変換回路 88 は、生成した色信号 110 をノイズ低減回路 90 に出力する。

【0039】

ノイズ低減回路 90 は、供給される信号に含まれるノイズ成分を抑制するフィルタ機能を有している。ノイズ低減回路 90 は、図示しないが、ローパスフィルタと、メディアンフィルタとを含む。ローパスフィルタは、輝度信号として供給される白色 (W) の画素データ 108 と色信号 110 に対してエリアシングが生じないように広い帯域にわたって信号を通す機能を有する。メディアンフィルタは、画像におけるエッジをぼかすことなく、雑音を減らす機能を有する。ノイズ低減回路 90 は、輝度信号 112 を輪郭補正回路 92 および色差 M T X 回路 94 にそれぞれ出力し、色信号 114 を色差 M T X 回路 94 に出力する。

10

【0040】

輪郭補正回路 92 は、供給される輝度信号 112 に含まれる画像中のエッジ部分を強調するオーバーチャ補正機能を有する。輪郭補正回路 92 は、輪郭の補正された輝度信号 116 を出力する。色差 M T X 回路 94 は、供給される輝度信号と色信号とを基に演算して色差信号 118 を出力する。

【0041】

図 2 に戻って、圧縮伸長処理部 68 は、静止画や動画 (ムービー) モードにおいて供給される画像データ (Y/C) や色差データ等に J P E G ( J o i n t P h o t o g r a p h i c c o d i n g E x p e r t s G r o u p ) や M P E G ( M o v i n g P i c t u r e c o d i n g E x p e r t s G r o u p ) - 1 , M P E G - 2 等の規格でそれぞれ、圧縮処理を施す。圧縮伸長処理部 68 は、圧縮処理した画像データをインタフェース ( I F ) 部 70 に供給する。インタフェース部 70 は、ストレージ 32 のカード記録媒体との書込み / 読出しにおける電氣的な特性を調整したり、タイミング調整したりする機能を有し、処理された画像データをストレージ 32 に出力している。また、圧縮伸長処理部 68 は、ストレージ部 32 に記録した画像データを読み出し、インタフェース部 70、データバス 60 を介して供給される画像データに伸長処理を施す。この伸長処理は、圧縮処理の逆処理である。

20

【0042】

表示制御部 72 は、デジタル処理部 66 で生成した画像データや再生にともなってストレージ 32 から読み出した画像データに伸長処理して得られた画像データ等に対して R G B 変換を行い、この R G B 変換した画像データをモニタ 30 が表示可能な画素サイズにする機能を有している。表示制御部 72 は、制御バス 74 を介して供給される制御信号 76 に応じて動作する。画像表示におけるサイズは、間引き処理によって破綻のない画像を生成する。表示制御部 72 は、生成した画像データをモニタ 30 に供給する。

30

【0043】

なお、信号処理部 20 は、図示しないが評価値算出部を含めてもよい。評価値算出部は、A E、A F、シャッタ速度、A W B ( A u t o m a t i c W h i t e B a l a n c e ) および階調補正に用いる積算値を算出する演算機能等を備える。評価値算出部は、算出された積算値をパラメータとしてシステム制御部 22 に供給する。また、信号処理部 20 には、タイミング信号発生器 26 から図示しないタイミング信号が供給されている。このタイミング信号は、水平同期信号 H D、垂直同期信号 V D や各部の動作クロック等を含んでいる。

40

【0044】

システム制御部 22 は、カメラ全体の汎用な部分やデジタル処理を行う部分を制御するマイクロコンピュータまたは C P U ( C e n t r a l P r o c e s s i n g U n i t ) である。

システム制御部 22 は、図示しないが、シーン判別や所定の係数を格納する E E P R O M や動作手順の指示プログラムを格納する R O M ( R e a d O n l y M e m o r y ) 等を含んでいる。システム制御部 22 は、たとえば供給される積算値とあらかじめ設定した

50

所定の積算値とを比較し、この比較結果に応じて制御信号 120, 122 をそれぞれ、生成してタイミング信号発生器 26 およびドライバ 28 に出力する。

【0045】

システム制御部 22 は、操作部 24 から供給されるモードや操作のトリガを指示する指示信号 124 を受けて、指示信号 124 に応じてデジタルカメラ 10 を静止画撮影モード、動画撮影モード、低感度モードおよび高感度モード等に設定し、図示しないレリーズシャッターボタンから撮像タイミングの報知を受けて、積算値に応じた制御信号 76, 120, 122 をそれぞれ、生成する。

【0046】

操作部 24 は、図示しないがモード選択部およびレリーズシャッターボタンを含んでいる。モード選択部は、静止画撮影モードおよび動画撮影モード、ならびに低感度モードおよび高感度モード等のようにいくつかあるモードのうち、いずれのモードにするか選択を行う。モード選択部は、選択したモードを指示信号 124 としてシステム制御部 22 に出力する。

10

【0047】

レリーズシャッターボタンは、2段階のストロークを有するボタンで、第1段のストロークでデジタルカメラ 10 を予備撮像の段階 (S1) にし、第2段のストロークで本撮像の段階 (S2) にするトリガタイミングを指示信号 124 としてシステム制御部 22 に出力する。操作部 24 には、この他、ズーム選択スイッチおよび十字ボタンを設けてもよく、液晶表示パネルに表示される条件を選択する機能を持たせてもよい。

20

【0048】

タイミング信号発生器 26 は、タイミング信号の動作周波数を生成する発振器 (SG: Signal Generator) を含む。SG は、制御信号 120 に応じて発振周波数を変える機能を有している。SG は、たとえばとくに水平転送信号の生成において通常に使用する第1周波数とこの周波数の半分程度に低下させた第2周波数を発振するとよい。

【0049】

また、タイミング信号発生器 26 は、基準とするクロック信号 (図示せず) を基に各種のタイミング信号を生成する。タイミング信号には、水平転送信号の他、垂直同期信号、水平同期信号、フィールドシフトパルス、垂直転送信号、および電子シャッターパルス等がある。また、タイミング信号発生器 24 は、CDSパルス 54 および変換クロック信号 56 も生成して前処理部 18 に供給している。タイミング信号発生器 26 は、これら生成した垂直同期信号、水平同期信号、フィールドシフトパルス、垂直転送信号、水平転送信号および電子シャッターパルスを含むタイミング信号 126 をドライバ 28 に供給している。

30

【0050】

ドライバ 28 は、供給されるタイミング信号 126 や制御信号 122 を基に駆動信号 34, 36, 44 を生成する駆動回路を有している。ドライバ 28 は、制御信号 122 を基に駆動信号 34, 36 を光学系 12 の光学レンズおよび絞り調節機構 14 にそれぞれ供給してAF調節やAE調節を行わせる。ドライバ 28 は、操作部 24 のレリーズシャッターボタンから供給される本撮像のタイミングに応動してメカニカルシャッターの開閉を行う駆動信号 36 を絞り調節機構 14 に設けたメカニカルシャッターに出力する。

40

【0051】

また、ドライバ 28 は、タイミング信号 126 を基に生成した駆動信号 44 を撮像部 16 の固体撮像素子 42 に供給し、各受光素子の感光領域に信号電荷を露光期間中に蓄積させ、蓄積した信号電荷を前述した条件に応じた制御により読み出す。CCDの場合、撮像部 16 は、この信号電荷を垂直転送レジスタに読み出して、水平転送レジスタに転送させ、さらに水平転送レジスタ、出力アンプを経てアナログ電圧信号 46 を出力している。

【0052】

モニタ 30 は、表示制御部 72 を経て供給される画像データを表示する。モニタ 30 には、一般的に液晶モニタが用いられる。液晶モニタには、液晶表示コントローラが配設され

50

ている。液晶コントローラは、画像データを基に液晶分子の並び方や電圧の印加によりスイッチング制御している。この制御により液晶モニタは、画像を表示する。モニタ30は、液晶モニタに限定されず、小型、画像の確認および電力の消費が抑えられる表示機器であれば、十分に用いることができることは言うまでもない。

#### 【0053】

ストレージ32は、半導体メモリ等を記録媒体として用いて、信号処理部20から供給される画像データを記録する。記録媒体には、光ディスクや光磁気ディスク等を用いてもよい。ストレージ32は、各記録媒体に適したピックアップやピックアップと磁気ヘッドを組み合わせて記録再生用ヘッドを用いてデータの書込み/読出しを行う。データの書込み/読出しは、システム制御部22の制御信号76に応じて行われる。

10

#### 【0054】

次にデジタルカメラ10におけるデジタル処理について簡単に説明する。デジタル化した画像データは、画像を構成する画素データ毎に各種の補正処理を施す。各種の補正処理とは、図4に示したオフセット補正、シェーディング補正、ゲイン補正およびガンマ補正のそれぞれを1フレームの画像に対して施すことである。この処理の後、RGBW補間処理を行う。

#### 【0055】

RGBW補間処理は、4色の(R), (G), (B), (W)のそれぞれに対する2次元フィルタ回路96, 98, 100にて補正された画素データを基に補間する処理である。補正に用いる画素データは、補間対象の色と同色の画素データだけを用い、補間対象の色と異なる色が該当する画素位置では画素データを0として扱う。たとえば、図6(a)の枠130の中心に位置する色Bの画素において白色(W)を補間すると、2次元フィルタ96は、枠130において図6(b)の位置関係、すなわち上下左右にある白色(W)の画素データが $W_U$ ,  $W_D$ ,  $W_L$ ,  $W_R$ として供給され、図5(a)の係数をそれぞれ対応させて乗算し、加算する。したがって、この場合、中心画素のBにおける白色は、 $W_U / 4 + W_D / 4 + W_L / 4 + W_R / 4 = (W_U + W_D + W_L + W_R) / 4$ となる。

20

#### 【0056】

この位置で2次元フィルタ98により、緑色(G)を求めようとする、図6(c)の位置関係、すなわち四隅にある緑色(G)の画素データが $G_{D1}$ ,  $G_{D2}$ ,  $G_{D3}$ ,  $G_{D4}$ が供給され、図5(b)の係数をそれぞれ対応させて乗算し、加算する。この場合、中心画素のBにおける緑色は、 $G_{D1} / 4 + G_{D2} / 4 + G_{D3} / 4 + G_{D4} / 4 = (G_{D1} + G_{D2} + G_{D3} + G_{D4}) / 4$ となる。

30

#### 【0057】

また、2次元フィルタ回路100は、25画素を用い、たとえば図6(d)の枠132内の画素データが供給される場合を考える。中心位置の白色に対して赤色と青色の画素データを補間して生成すると、2次元フィルタ回路100は、図6(e)に示すように、行列表現で(1,4)のR画素データ, (3,2)のR画素データおよび(5,4)のR画素データを用いることになり、上述した色Rの画素データにそれぞれ、 $1/4$ ,  $1/2$ ,  $1/4$ の係数を掛けて、加算することにより、白色の中心位置における赤色を補間する。

40

#### 【0058】

さらに、青色の補間は、図6(f)に示すように、行列表現で(1,2)のB画素データ, (3,4)のB画素データおよび(5,2)のB画素データを用いることになる。2次元フィルタ回路100は、色Bの画素データにそれぞれ、 $1/4$ ,  $1/2$ ,  $1/4$ の係数を掛けて、加算することにより、白色の中心位置における青色を補間する。

#### 【0059】

枠130、132を移動させながら、それぞれの中心位置において欠如している色属性の画素データを補間して生成することにより、感度のばらつきを抑制するように補間が行われる。したがって、補間処理は、同時化を行うとともに、感度による色レベルのばらつき

50

を補正することができる。

【0060】

1フレームについて補間処理した後、色変換回路88は3原色RGBの画素データ102、104、106を用いて色変換処理を行って、色信号110を生成する。ノイズ低減回路では、供給される輝度信号108および色信号110に対するノイズ対策処理が施される。輪郭補正回路92では、ノイズ低減した輝度信号112にアパーチャ補正を施してエッジを強調させた輝度信号116を生成し、出力する。また、色差MTX回路94では、輝度信号112および色信号114を基に色差信号118を生成し、出力する。

【0061】

このように動作させることにより、とくに、各色フィルタセグメントの分光感度特性の差を考慮して補間処理が行われるから、感度差に基づく色レベルのばらつきの抑制された画素データを生成することができる。これらの画素データを用いることにより、色バランスの良好な画像にすることができる。また、輝度信号として利用する白色(透明)の色フィルタセグメントを増やすことにより、多画素化にともない1画素の感光領域が小さくなくても、所定の領域内において輝度に寄与する画素(面積)が増えるので、位置を示す画素の情報としてだけでなく、所定の領域における信号電荷量を増やして、ノイズの抑制された画像を得ることができる。これらにより、デジタルカメラ10は、多画素化しても、ノイズに強く、エリアシングによるしみや偽色等を抑えて、色バランスの良好な高画質な画像を提供することができる。

【0062】

以上のように構成することにより、デジタルカメラ10は、白色フィルタを加えた4種類の色フィルタセグメントの色フィルタ40を用い、図1に示す色フィルタセグメントの配置を採ることにより多画素化しても、輝度信号に寄与する画素の空間周波数の帯域を広げて所定の範囲内にて得られる信号電荷量を増やしてノイズに強くし、色に着目すると、この色フィルタセグメントの配置パターンによって、色解像度や再現帯域を良好にすることができる。

【0063】

また、デジタルカメラ10は、色フィルタ40の配設にともない得られる空間周波数の分布関係を良好にするだけでなく、信号処理部20内のデジタル処理部66で分光感度特性のずれも考慮して補間処理を行うことにより、色バランスの良好にしている。これらにより、デジタルカメラ10は、多画素化にともなうこれまでのバランスの悪化が生じることなく、高画質な画像を提供することができる。

【0064】

補間方法を適用することにより、輝度信号を増やしてノイズを抑制し、使用する色フィルタの分光感度特性を考慮してたとえば、白色の感度レベルを緑色の感度レベル程度に調整することができ、色のバランスを良好なものにし、エリアシングによるしみや偽色等を抑制して、高画質な画像を提供することができる。

【0065】

【発明の効果】

このように本発明の固体撮像装置によれば、色フィルタ手段の色フィルタセグメントに4種類の色属性を用いてパターンを形成して、信号電荷量を確保することにより、ノイズの影響を受け難くし、色に着目すると、この色フィルタセグメントの配置パターンによって、色解像度を良好にし、エリアシングのしみや偽色等を抑制することができる。

【0066】

また、本発明の固体撮像装置によれば、色フィルタ手段の色フィルタセグメントに4種類の色属性を用いてパターンを形成して、信号電荷量を確保することにより、ノイズの影響を受け難くし、色に関して色フィルタセグメントの配置パターンによって、色解像度を良好にし、信号処理手段における補間により色フィルタセグメントが有する感度のばらつきを補正することにより、再現色のバランスを良好にすることができ、多画素化が進んでも高画質な画像を得ることができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 7 】

さらに、本発明の固体撮像装置の補間方法によれば、4種類の色属性のうち、白色の画素データを最も多く用いて輝度信号を確保し、得られる4種類の画素データの配列関係により、色解像度および再現帯域をバランスよくし、これらの画素データを利用しながら、色フィルタセグメントの感度のばらつきを補正して補間することにより、高品質な画像を得ることができる。

## 【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 本発明の固体撮像装置を適用したデジタルカメラの色フィルタにおける色フィルタセグメントの配置関係を示す図である。

【 図 2 】 本発明の固体撮像装置を適用したデジタルカメラの概略的な構成を示すブロック図である。 10

【 図 3 】 図 1 の色フィルタに使用する4種類の色フィルタセグメントが有する空間周波数特性を示す図である。

【 図 4 】 図 2 に示した信号処理部におけるデジタル処理部の概略的な構成を示すブロック図である。

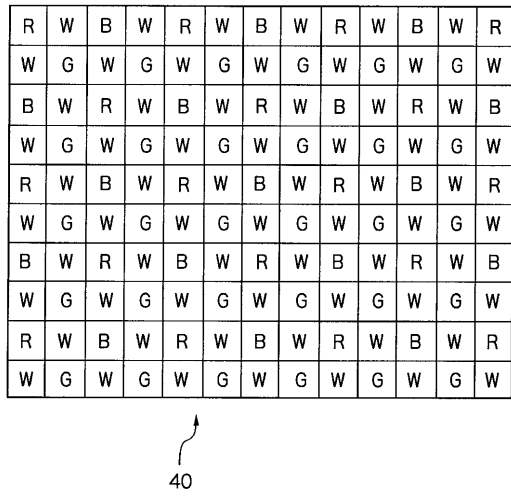
【 図 5 】 図 4 に示したRGBW補間回路における2次元フィルタ回路が有する係数およびその配置関係を説明する図である。

【 図 6 】 図 5 に示した2次元フィルタ回路における動作を具体的に説明する図である。

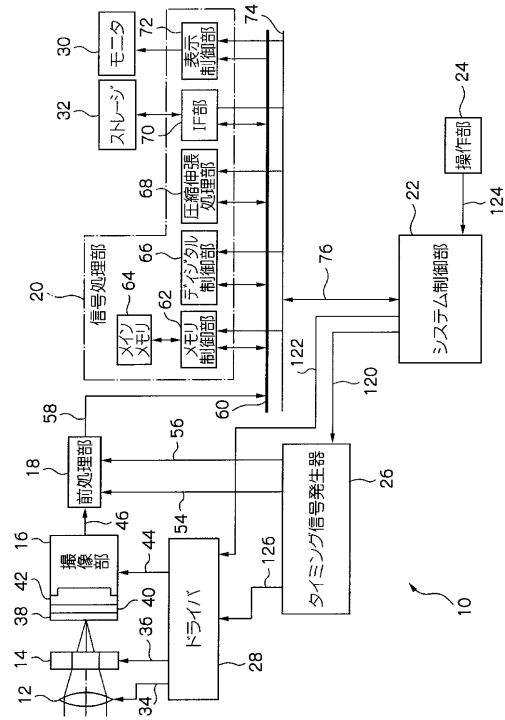
## 【 符号の説明 】

- |     |            |    |
|-----|------------|----|
| 1 0 | デジタルカメラ    | 20 |
| 1 2 | 光学系        |    |
| 1 4 | 絞り調整機構     |    |
| 1 6 | 撮像部        |    |
| 1 8 | 前処理部       |    |
| 2 0 | 信号処理部      |    |
| 2 2 | システム制御部    |    |
| 2 4 | 操作部        |    |
| 2 6 | タイミング信号発生器 |    |
| 2 8 | ドライバ       |    |
| 3 0 | モニタ        | 30 |
| 3 2 | ストレージ      |    |
| 4 0 | 色フィルタ      |    |
| 6 6 | デジタル処理部    |    |

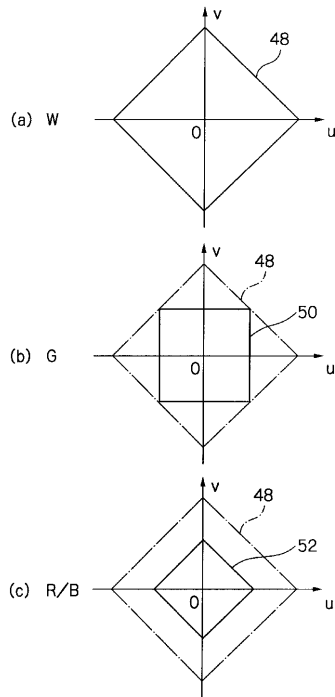
【 図 1 】



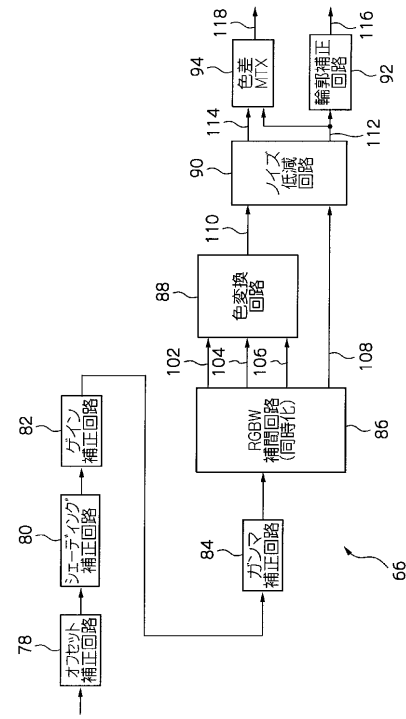
【 図 2 】



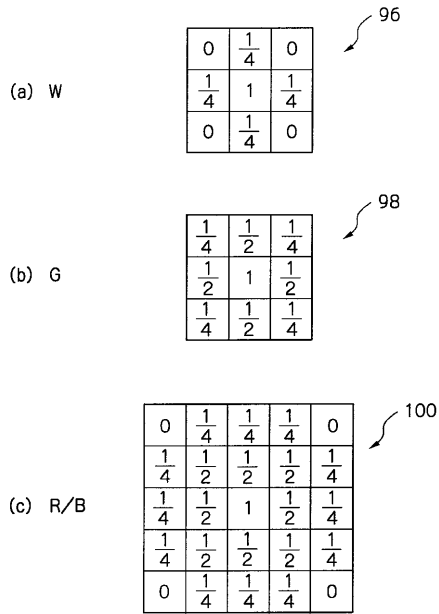
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】

