

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4235252号
(P4235252)

(45) 発行日 平成21年3月11日(2009.3.11)

(24) 登録日 平成20年12月19日(2008.12.19)

(51) Int. Cl. F I
HO4N 9/07 (2006.01) HO4N 9/07 A
HO4N 9/09 (2006.01) HO4N 9/09 A

請求項の数 11 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2008-541535 (P2008-541535)	(73) 特許権者	000005821
(86) (22) 出願日	平成20年5月1日(2008.5.1)		パナソニック株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2008/001136		大阪府門真市大字門真1006番地
(87) 国際公開番号	W02008/149489	(74) 代理人	100101683
(87) 国際公開日	平成20年12月11日(2008.12.11)		弁理士 奥田 誠司
審査請求日	平成20年9月3日(2008.9.3)	(72) 発明者	金森 克洋
(31) 優先権主張番号	特願2007-145897 (P2007-145897)		大阪府門真市大字門真1006番地 松下
(32) 優先日	平成19年5月31日(2007.5.31)		電器産業株式会社内
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	佐藤 智
早期審査対象出願			大阪府門真市大字門真1006番地 松下
		(72) 発明者	電器産業株式会社内
		(72) 発明者	岡山 裕昭
			大阪府門真市大字門真1006番地 松下
			電器産業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

カラーモザイクフィルタを有する単板カラー撮像素子、および前記カラーモザイクフィルタの同一色画素内において異なる角度の透過偏波面を有する偏光子単位が隣接して配置されたパターン化偏光子を有するカラー偏光取得部と、

同一色画素内の複数の偏光子単位を透過した光の輝度と前記偏光子単位の透過偏波面の角度との関係を正弦関数で近似する偏光情報処理部と、

同一色画素内の複数の偏光子単位を透過した光の輝度を平均化することによって平均カラー輝度情報を取得するカラー情報処理部と、
を備える画像処理装置。

【請求項2】

入射光を複数の異なる色に分解する色分解素子、および、各々が前記色分解素子によって分解された異なる色の光を受ける複数の撮像素子を有するカラー偏光取得部と、

前記複数の撮像素子の出力に基づいて偏光情報を得る偏光情報処理部と、

前記複数の撮像素子の出力に基づいて平均カラー輝度情報を得るカラー情報処理部と、
を備え、

前記複数の撮像素子は、前記分解された異なる色に含まれる第1の色の光から高解像度単色画像を取得する少なくとも1つの高解像度撮像素子と、前記分解された異なる色に含まれる第2の色の光から低解像度画像を取得する少なくとも1つの低解像度撮像素子とを有し、

前記低解像度撮像素子は、異なる方向に透過偏波面を有する複数の偏光子単位が隣接して配列されたパターン化偏光子を有しており、

前記偏光情報処理部は、前記複数の偏光子単位を透過した光の輝度を統合して前記偏光情報を取得する、画像処理装置。

【請求項 3】

前記色分解素子は、入射光を R、G、B の光に分解し、

前記高解像度単色素子は、G の光を受ける請求項 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 4】

同一の色の画素について使用される前記偏光子単位の偏光の波長依存特性は、当該色に対応する波長帯域内において概略等しい、請求項 1 に記載の画像処理装置。

10

【請求項 5】

前記パターン化偏光子は、個々の画素について、透過偏波面の角度が θ だけ異なる ($180^\circ / \theta$) 種類の偏光子単位を有している請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 6】

前記低解像度撮像素子の数は複数であり、

複数の低解像度撮像素子に対応する複数のパターン化偏光素子は、全体として、透過偏波面の角度が θ だけ異なる ($180^\circ / \theta$) 種類の偏光子単位を有している請求項 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 7】

入射光を複数の異なる色に分解する色分解素子、各々が前記色分解素子によって分解された異なる色の光を受ける複数の偏光ビームスプリッタ、および、各偏光ビームスプリッタの反射光および透過光をそれぞれ受光する一対の撮像素子を含む複数の撮像素子を有するカラー偏光取得部と、

20

前記複数の撮像素子の出力に基づいて偏光情報を得る偏光情報処理部と、

前記複数の撮像素子の出力に基づいて平均カラー輝度情報を得るカラー情報処理部と、を備え、

前記偏光情報処理部は、前記複数の撮像素子に入射した光の輝度を統合して前記偏光情報を取得する、画像処理装置。

【請求項 8】

前記複数の偏光ビームスプリッタにおける透過偏波面の角度は相互に異なっている請求項 7 に記載の画像処理装置。

30

【請求項 9】

前記複数の偏光ビームスプリッタにおける透過偏波面の角度は相互に $\pm 30^\circ$ 異なっている請求項 8 に記載の画像処理装置。

【請求項 10】

前記偏光情報処理部は、異なる色について得られる異なる偏光の観測輝度に補正係数を乗算することにより、1つの色に関する輝度補正值を得る、請求項 2 または 7 に記載の画像処理装置。

【請求項 11】

R、G、B の各画像についてカラー偏光情報の観測値を取得するステップと、

40

補正係数を用いて複数のカラー画像の異なる偏光状態における輝度を1つのカラーの輝度に統合するステップと、

画素毎に統合された輝度の変動を正弦関数に近似するステップと、

正弦関数の最大値と最小値から偏光度画像を生成するステップと、

R、G、B の平均輝度を求めてカラー輝度画像を生成するステップと、を含む画像入力方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、カラー情報および偏光情報の両方を取得できる画像処理装置ならびに画像入

50

力方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年のデジタルムービーカメラの進歩はめざましく、将来的には携帯電話のカメラにおいてもHDTV画質が得られると予想されている。しかし、光学系や撮像素子が小型化すると、感度やレンズ回折限界などにより画像撮像の限界の問題が発生するため、将来的には、高精細化も限界に到達すると考えられる。その場合、不足する被写体の画像情報にコンピュータグラフィックス的处理を加えることが画質向上に有効になる。しかし、そのためには、被写体の3次元形状情報や、被写体を照明する光源など、画像生成過程における物理情報を取得しなくてはならない。形状情報の取得には、通常、レーザ光やLED光源を投光するアクティブセンサや、2眼ステレオなどの距離計測システムが必要である。これらは大掛かりなシステムになるうえ、各種の制約がある。たとえばカメラと被写体との距離がせいぜい数m程度までしかとれない、対象被写体が固形物で明るい拡散物体に限られるなどの制約である。これでは遠距離の屋外シーン撮影や髪の毛や衣服が重要な人物撮影には利用できない。

10

【0003】

従来、完全にパッシブ(受動的)な被写体形状センシング方式として、偏光を利用する技術があった。これは非偏光の自然光を照射された被写体からの反射光(鏡面反射光、または拡散反射光)が、表面の向きや視点という幾何学的要因によって種々の部分偏光を呈することを利用するものである。この情報の取得のためには、被写体各画素の部分偏光状態を偏光画像として取得する必要がある。

20

【0004】

非特許文献1では、カメラのレンズ前に装着した液晶型偏光板を制御しながら動画を取得するカメラが開示されている。これを使うと、カラー動画と被写体の部分偏光の情報を画像として取得できる。しかし、液晶に電圧を印加して偏光板の偏光主軸を変えながら数フレームを取得することにより、はじめて1つの偏光情報が取得できる。したがって、カラー画像と偏光画像に数フレームのずれが生じ、これらの画像を同時に取得することができない。この技術は、機構的に偏光板を回転させる技術と同等である。

【0005】

非特許文献2および非特許文献3では、輝度画像と被写体の部分偏光の画像を同時に取得するため複数の異なる偏光主軸を有するパターン化偏光子を撮像素子に空間的に配置することが開示されている。パターン化偏光子としては、フォトリソグラフィや構造複屈折波長板アレイが利用されている。しかしながら、これらの技術ではモノクロ画像と偏光画像とが同時に取得できるのみであった。

30

【0006】

特許文献1は、ベイヤーカラーモザイクとG画素の一部に偏光フィルタを設置することにより、撮像素子の一部に偏光特性を持たせ、カラー画像と偏光情報とを同時に取得することを開示している。この技術では、カラー画像から鏡面反射成分を抑制した画像を得ている。この技術では、異なる2つの偏光画素の間にある差分を得るといった単純操作が行われているため、被写体の部分偏光の情報を完全には取得できない。

40

【特許文献1】特開2006-254331号公報

【非特許文献1】Lawrence B. Wolff: "Polarization vision: a new sensory approach to image understanding", Image and Vision Computing 15(1997) PP. 81-93, Elsevier Science B.V.

【非特許文献2】川島、佐藤、川上、長嶋、太田、青木: 「パターン化偏光子を用いた偏光イメージングデバイスと利用技術の開発」電子情報通信学会2006年総合全国大会、No. D-11-52、P52、March 2006

【非特許文献3】菊田、岩田: 「偏光画像計測システム」、OplusE、Vol. 25、No. 11、P1241-1247、2003

50

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

従来の技術では、被写体のカラー画像と被写体の部分偏光の偏光画像とを同時に取得することはできていない。このため、カラー動画を取得し、かつ時間的にずれのない形状情報を取得することはできなかつた。

【0008】

従来の技術を使うと、モノクロ輝度画像と偏光画像とを同時に取得することはできるが、カラー化には、R、G、Bの3バンドの波長帯域について偏光情報を取得することが必要となる。このためには、以下の課題が発生する。

- 1) カラー分離特性と偏光特性とが干渉する。
- 2) カラー輝度取得と偏光情報取得の両立が困難である。

【0009】

第1のカラー分離特性と偏光特性の干渉とは、偏光子や偏光ビームスプリッタなどの光学系の物理特性は一般に偏光分離特性が波長によって大きく変化し、可視光全ての波長帯域で同じ特性を有することができない、という問題である。たとえば、偏光ビームスプリッタは、ある波長帯で入力非偏光をP波とS波とに分離できるが、その波長帯を外れると動作しない。同様に、非偏光ハーフミラーは偏光特性を変えずに特定波長の光を分離できるが、広い波長域では偏光特性を変えて分離してしまう。この問題は、入射する光の偏光状態が色分解特性に影響を及ぼすという副作用も発生させる。このため、モノクロのように安易に偏光子を使うことはできず、利用するカラー別に、該当する狭波長帯域にて偏光特性が所望のものとなるように性能を最適化する必要がある。

【0010】

カラー輝度取得と偏光情報取得の両立とが困難であるという第2の課題は、カラー輝度情報と偏光情報とを独立に取得できず、両者が混合してしまう問題である。偏光情報の精度は、異なる多数の偏光軸での輝度観測結果が得られるほど向上する。しかし、1つのカラーで多くの偏光情報を得ることは、システム構成上困難である。このため、異種のカラーに分散した偏光情報を一定の方法で再度統合する必要がある。

【0011】

本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、カラー画像と偏光情報とを同時に取得することの可能な画像処理方法および画像入力方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の画像処理装置は、カラーモザイクフィルタを有する単板カラー撮像素子、および前記カラーモザイクフィルタの同一色画素内において異なる角度の透過偏波面を有する偏光子単位が隣接して配置されたパターン化偏光子を有するカラー偏光取得部と、同一色画素内の複数の偏光子単位を透過した光の輝度と前記偏光子単位の透過偏波面の角度との関係を正弦関数で近似する偏光情報処理部と、同一色画素内の複数の偏光子単位を透過した光の輝度を平均化することによって平均カラー輝度情報を取得するカラー情報処理部とを備える。

【0013】

本発明による他の画像処理装置は、入射光を複数の異なる色に分解する色分解素子、および、各々が前記色分解素子によって分解された異なる色の光を受ける複数の撮像素子を有するカラー偏光取得部と、前記複数の撮像素子の出力に基づいて偏光情報を得る偏光情報処理部と、前記複数の撮像素子の出力に基づいて平均カラー輝度情報を得るカラー情報処理部とを備え、前記複数の撮像素子は、前記分解された異なる色に含まれる第1の色の光から高解像度単色画像を取得する少なくとも1つの高解像度撮像素子と、前記分解された異なる色に含まれる第2の色の光から低解像度画像を取得する少なくとも1つの低解像度撮像素子とを有し、前記低解像度撮像素子は、異なる方向に透過偏波面を有する複数の偏光子単位が隣接して配列されたパターン化偏光子を有しており、前記偏光情報処理部は

10

20

30

40

50

、前記複数の偏光子単位を透過した光の輝度を統合して前記偏光情報を取得する。

【0014】

好ましい実施形態において、前記色分解素子は、入射光をR、G、Bの光に分解し、前記高解像度単色素子は、Gの光を受ける。

【0015】

好ましい実施形態において、同一の色の画素について使用される前記偏光子単位の偏光の波長依存特性は、当該色に対応する波長帯域内において概略等しい。

【0016】

好ましい実施形態において、前記パターン化偏光子は、個々の画素について、透過偏波面の角度が θ だけ異なる($180/\theta$)種類の偏光子単位を有している。

10

【0017】

好ましい実施形態において、前記低解像度撮像素子の数は複数であり、複数の低解像度撮像素子に対応する複数のパターン化偏光素子は、全体として、透過偏波面の角度が θ だけ異なる($180/\theta$)種類の偏光子単位を有している。

【0018】

本発明による更に他の画像処理装置は、入射光を複数の異なる色に分解する色分解素子、各々が前記色分解素子によって分解された異なる色の光を受ける複数の偏光ビームスプリッタ、および、各偏光ビームスプリッタの反射光および透過光をそれぞれ受光する一対の撮像素子を含む複数の撮像素子を有するカラー偏光取得部と、前記複数の撮像素子の出力に基づいて偏光情報を得る偏光情報処理部と、前記複数の撮像素子の出力に基づいて平均カラー輝度情報を得るカラー情報処理部とを備え、前記偏光情報処理部は、前記複数の撮像素子に入射した光の輝度を統合して前記偏光情報を取得する。

20

【0019】

好ましい実施形態において、前記複数の偏光ビームスプリッタにおける透過偏波面の角度は相互に異なっている。

【0020】

好ましい実施形態において、前記複数の偏光ビームスプリッタにおける透過偏波面の角度は相互に $\pm 30^\circ$ 異なっている。

【0021】

好ましい実施形態において、前記偏光情報処理部は、異なる色について得られる異なる偏光の観測輝度に補正係数を乗算することにより、1つの色に関する輝度補正值を得る。

30

【0022】

本発明の画像入力方法は、R、G、Bの各画像についてカラー偏光情報の観測値を取得するステップと、補正係数を用いて複数のカラー画像の異なる偏光状態における輝度を1つのカラーの輝度に統合するステップと、画素毎に統合された輝度の変動を正弦関数に近似するステップと、正弦関数の最大値と最小値から偏光度画像を生成するステップと、R、G、Bの平均輝度を求めてカラー輝度画像を生成するステップとを含む。

【発明の効果】

【0023】

本発明の画像処理装置によれば、カラー分離特性と偏光分離特性との干渉をなくし、撮像系上でカラー輝度と偏光観測との両立を図ることにより、カラー画像と偏光情報とを同時に得ることができるため、カラー動画に適用することが可能になる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

以下、図面を参照しながら本発明による画像処理装置および画像処理方法の実施形態を説明する。

【0025】

(第1の実施形態)

図1は、本明細書で説明する本発明の実施形態のすべてに共通する基本的な構成を示すブロック図である。本実施形態の装置は、被写体からリアルタイムにカラー画像情報を取

50

得すると同時に偏光画像情報を取得し、2種類の偏光画像（偏光度画像 および偏光位相画像）として出力する。レンズ100aおよび絞り100bを通った入射光は、カラー偏光取得部101に入射する。この入射光から、カラー偏光取得部101はカラー動画像情報および偏光画像情報の両方をリアルタイムに取得することができる。本実施形態のカラー偏光取得部101では、色に関する情報（カラー情報）と偏光に関する情報（偏光情報）とを同時に得ることができる。カラー偏光取得部101からは、カラー動画像情報および偏光情報画像情報を示す信号が出力され、それぞれ、カラー情報処理部102および偏光情報処理部103に与えられる。カラー情報処理部102および偏光情報処理部103は、上記信号に対して各種の処理を施し、カラー画像1m、偏光度画像、偏光位相画像を出力する。

10

【0026】

図2は、カラー偏光取得部101の基本的な構成を示す模式図である。図示されている例では、カラーフィルタ201およびパターン化偏光子202が、撮像素子画素203の前面に重ねて設置されている。またカラーフィルタとパターン化偏光子の設置の順番は任意である。入射光は、カラーフィルタ201およびパターン化偏光子202を透過して撮像素子に到達し、撮像素子画素203によって輝度が観測される。このように本実施形態によれば、カラーモザイク型の単板カラー撮像素子を用いてカラー情報および偏光情報の両方を同時に取得することができる。

【0027】

図3(a)は、カラー偏光取得部101における撮像面の一部を光軸方向の真上から見た図である。図3(a)には、簡単のため、撮像面のうち、16個の画素(4×4)のみが図示されている。図示されている4つの矩形領域301~304は、それぞれ、4個の画素セル上に設置されたベイヤ型カラーモザイクフィルタの対応部分を示している。矩形領域301は、Bフィルタ領域であり、画素セルB1~B4をカバーしている。画素セルB1~B4には、それぞれ異なる偏光主軸を有するB用パターン化偏光子が密着している。ここで、「偏光主軸」とは、偏光子を透過する光の偏波面(透過偏波面)に平行な軸である。本実施形態では、同一色の画素内において異なる角度の透過偏波面を有する偏光子単位(微小偏光板)が隣接して配置されている。より詳細には、透過偏波面の方向が相互に異なる4種類の偏光子単位がR、G、Bの各同一色の画素内に配置されている。1つの偏光子単位は、1つ微細な偏光画素に対応している。図3(a)では、個々の偏光画素に対して、G1などの符合が与えられている。

20

30

【0028】

図3(b)は、B用パターン化偏光子が密着する4つの微細偏光画素に割り当てられる偏光主軸を示している。図3(b)において、各微細偏光画素に記載された直線は、微小偏光板の偏光主軸方向を模式的に示している。図3(b)の例では、4つの微細偏光画素が、それぞれ、角度 $i = 0^\circ$ 、 45° 、 90° 、 135° の偏光主軸を有している。

【0029】

矩形領域302、304の画素には、それぞれ、4個のG用パターン化偏光子が密着し、矩形領域303の画素には、4個のR用パターン化偏光子が密着している。図中、参照符号「305」で示される位置は、本撮像系における4画素を一括した仮想的な画素位置を示している。各矩形領域302~304のパターン化偏光子も、図3(b)に示すように異なる4つの偏光主軸を有する部分に分割されている。

40

【0030】

図4(a)は、カラー偏光取得部101における画素配列の他の例を示す図である。この例では、 45° 傾いた3×3ブロック内にG画素が十文字型に配置されており、G画素の周囲の4画素にR、Gが交互に配置される。図4(b)は、各カラー画素の微細構造を示しており、各カラー画素は、4種類の微細偏光画素から構成されている。

【0031】

このように本実施形態では、各カラー画素に対して、異なる偏光主軸を有する複数の微細偏光画素が包含される点に特徴を有しており、カラーモザイク配列自体は任意である。

50

以下の説明では、個々の微細偏光画素を「偏光画素」と称することとする。

【0032】

図5(a)から(c)は、それぞれ、B、G、R偏光画素の波長特性を模式的に示すグラフである。各グラフの縦軸は透過光の強度、横軸は波長である。B、G、R用の偏光画素は、B、G、Rの各波長帯域においてTM(Transverse Magnetic Wave)波を透過し、TE(Transverse Electric Wave)波を反射(透過せず)する偏光特性を有している。TM波は、磁場成分が入射面に対して横向きの波であり、TE波は、電場成分が入射面に対して横向きの波である。

【0033】

図5(a)には、B偏光画像の偏光特性402、403と、B用カラーフィルタの透過特性401とが示されている。偏光特性402、403は、それぞれ、TM波およびTE波の透過率を示している。

10

【0034】

図5(b)には、G偏光画像の偏光特性405、406と、G用のカラーフィルタの透過特性404とが示されている。偏光特性405、406は、それぞれ、TM波およびTE波の透過率を示している。

【0035】

図5(c)には、R偏光画像の偏光特性408、409と、R用カラーフィルタの透過特性407とが示されている。偏光特性408、409は、それぞれ、TM波およびTE波の透過率を示している。

20

【0036】

図5(a)から(c)に示すような特性は、例えば非特許文献2に記載されたフォトニック結晶を用いて実現することができる。フォトニック結晶の場合、その表面に形成された溝に平行な電場ベクトル振動面を持つ光がTE波、垂直な電場ベクトル振動面を持つ光がTM波となる。

【0037】

本実施形態で重要な点は、図5(a)から(c)に示すように、B、G、Rの透過波長帯域の各々において偏光分離特性を示すパターン化偏光子を用いることにある。

【0038】

図6は、Gのカラーフィルタの透過域と、偏光特性4101、4102によって定まる偏光分離域との間で波長がずれている場合を示している。このような特性を示す偏光子によれば、本発明の目的とする動作を行うことはできない。

30

【0039】

モノクロ輝度と偏光フィルタとを使用する場合には、偏光分離特性を示す波長域の最適化は不要であったが、カラーの画素ごとに偏光情報を取得する場合は、カラーの分離特性と偏光の分離特性と整合させる必要がある。

【0040】

本明細書では、偏光画素における偏光主軸の方位を表示する4つの数字「1、2、3、4」と、カラーを区別するため3つの符号「R、G、B」の組合せ(例えば「R1」や「G1」など)を用いて、偏光画素の特性を示すこととする。偏光画素R1および偏光画素G1は、数字が同じであるため、偏光主軸の方向は一致しているが、RGB符号が異なるため、透過する光の波長帯域が異なる偏光画素に相当している。本実施形態では、このような偏光画素の配列を、図2に示すカラーフィルタ201およびパターン化偏光子202の組合せによって実現している。

40

【0041】

被写体の特に明るい鏡面反射部分に含まれる偏光成分や、被写体の影領域に含まれる偏光成分などを確実に取得するため、撮像素子の輝度ダイナミックレンジとビット数はなるべく大きいこと(例えば16bit)が望ましい。

【0042】

図2に示す構成によって偏光画素毎に取得された輝度の情報は、図1の偏光情報処理部

50

103で処理される。以下、この処理を説明する。

【0043】

図7は、方向が異なる偏光主軸 ($i = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$) を有する4種類の偏光子を透過した光の輝度501~504を示している。ここで、偏光主軸の回転角 θ_i のときにおける観測輝度を I_i とする。ただし、「 i 」は、1以上N以下の整数、「N」はサンプル数とする、図7に示す例では、 $N = 4$ であるため、 $i = 1, 2, 3, 4$ となる。図7には、4画素のサンプル (θ_i, I_i) に対応する輝度501~504が示されている。

【0044】

偏光主軸の角度 θ_i と輝度501~504との関係は、正弦関数によって表現される。図7では、輝度501~504の4点が1本の正弦関数カーブ上に位置するように記載されているが、より多くの観測輝度に基づいて正弦関数カーブを決定した場合、観測輝度の一部が正弦関数カーブ上から僅かに外れる場合もあり得る。

10

【0045】

なお、本明細書における「偏光情報」とは、輝度の偏光主軸角度に対する依存性を示す正弦関数カーブにおける振幅変調度および位相情報を意味するものとする。

【0046】

実際の処理では、図3(a)に示す同一カラー領域301~304ごとに内部の4個の画素輝度値をサンプルとして、パターン化偏光子の主軸角 θ_i に対する反射光輝度 I を以下のように近似する。

20

【数1】

$$I(\psi) = A \cdot \sin 2(\psi - B) + C \quad (\text{式1})$$

【0047】

ここで図5に示すようにA、B、Cは定数であり、それぞれ、偏光輝度の変動カーブの振幅、位相、平均値を表現している。(式1)は、以下のように展開できる。

【数2】

$$I(\psi) = a \cdot \sin 2\psi + b \cdot \cos 2\psi + C \quad (\text{式2}) \quad 30$$

【0048】

ただし、AおよびBは、それぞれ、以下の(式3)および(式4)で示される。

【数3】

$$A = \sqrt{a^2 + b^2}, \quad \sin(-2B) = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}, \quad \cos(-2B) = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (\text{式3})$$

【数4】

$$B = -\frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right) \quad (\text{式4}) \quad 40$$

【0049】

以下の(式5)を最小にするA、B、Cを求めれば、輝度 I と偏光主軸角 θ_i との関係を(式1)の正弦関数によって近似できる。

【数5】

$$f(a,b,C) = \sum_{i=1}^N (I_i - a \cdot \sin 2\psi_i - b \cdot \cos 2\psi_i - C)^2 \quad (\text{式5})$$

【0050】

以上の処理で1つのカラーについて正弦関数近似のA、B、Cの3パラメータが確定する。

【0051】

こうして、偏光度 を示す偏光度画像と偏光位相 を示す偏光位相画像が求められる。偏光度 は、該当画素の光が偏光している程度を表し、偏光位相 は、該当画素の光の部分偏光の主軸角度を表している。なお、偏光の主軸角度は0と180°()は同一である。値 および (0)は、それぞれ、以下の(式6)および(式7)によって算出される。

10

【数6】

$$\rho = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{A}{C} = \frac{A}{\bar{I}} \quad (\text{式6})$$

【数7】

$$\phi = \frac{\pi}{4} + B \quad (\text{式7})$$

20

【0052】

なお、本実施形態の画像処理装置は、偏光度画像 と偏光位相画像 とを出力しているが、出力する偏光情報は、図7の正弦関数から得られる情報であれば、他の情報の組であってもよい。たとえば、正弦関数の最高輝度 I_{\max} 、最低輝度 I_{\min} の値と、それぞれの値をとる角度 ϕ_{\max} 、 ϕ_{\min} などの組み合わせを偏光情報として出力してもよい。

30

【0053】

図8は、球体であるプラスチック製ボールの被写体の入力画像である。図9(a)および(b)は、それぞれ、図8の被写体に対する、偏光度画像 (x、y)および偏光位相画像 (x、y)の例を示している。図9の画像は、各画像において、偏光度、偏光位相 が大きいほど、高い明度を示すように表示されている。

【0054】

図10(a)および(b)は、図9の画像を説明するための模式図である。偏光度画像 (x、y)では、カメラの視線方向とボールの表面法線とが同一になる中心付近から方位7101の向きに画素位置が離れるほど、その画素の偏光度 は増加する。また、ボールの表面法線がカメラの視線方向に対して90度に近くなるボールの遮蔽エッジ(背景との境界)付近では、偏光度 が最大になっている。図10(a)では、この偏光度 を等高線で模式的に表現した。

40

【0055】

図10(b)の偏光位相画像 (x、y)では、位相 = 0度を示す画像の天地方向の垂線に対して偏光位相が180度周期で球体の周囲を反時計回りに矢印7102、7103の向きに単調増加していることがわかる。これら偏光情報画像によれば、偏光度 と偏光位相 が、被写体の表面法線の2自由度の向きに相当していることがよくわかる。すなわち偏光情報が被写体の形状を推定することが可能になる。

【0056】

なお、本実施形態では、被写体の反射光のうち拡散反射成分の偏光度画像と偏光位相画

50

像を出力としているが、これは鏡面反射成分でもよく、その場合偏光位相が 90° 異なるものとなる。

【0057】

また偏光情報としては、(,)という組み合わせの他、図5の正弦関数から得られる情報であれば、他の情報の組であってもよく、その情報から生成される画像でもよい。たとえば偏光情報から被写体の拡散反射成分と鏡面反射成分を分離することが応用面で重要である。これを本発明で実行するには、鏡面反射領域の偏光に対して(x , y)に一定の比率を乗じて原画像から減算すればよい。このようにして生成された画像の例を図11(a)から(d)に示す。

【0058】

図1に示すカラー情報処理部102は、カラー偏光取得部101から出力される情報を用いて、カラー輝度を計算する。偏光子を透過した光の輝度は、偏光子に入射する前の光が有する本来の輝度とは異なる。非偏光照明の場合、理論的には、偏光のすべての偏光主軸における観測輝度を平均化した値が偏光子に入射する前の光が有する本来の輝度に相当する。偏光画素R1における観測輝度を I_{R1} と表現すると、以下の(式8)に基づいて、カラー輝度を算出することができる。

【数8】

$$\bar{I}_R = (I_{R1} + I_{R2} + I_{R3} + I_{R4}) / 4$$

$$\bar{I}_G = (I_{G1} + I_{G2} + I_{G3} + I_{G4}) / 4$$

$$\bar{I}_B = (I_{B1} + I_{B2} + I_{B3} + I_{B4}) / 4$$

(式8)

【0059】

各偏光画素における輝度を得ることにより、通常のカラームosaic画像を生成できる。Mosaic画像に基づいて各画素でRGB画素値を有するカラー画像へ変換することにより、カラー画像Imが生成される。このような変換は、例えばペイヤーMosaicの補間方法などの公知の補間技術を用いて実現される。

【0060】

カラー画像Im、偏光度画像、偏光位相画像の各々における各画素の輝度および偏光情報は、図3(b)に示す4つの偏光画素を用いて得られるため、個々の輝度および偏光情報は、図3(b)に示す4つの偏光画素の中心に位置する仮想画素点305における値を示していると考えることができる。従って、カラー画像および偏光画像の解像度は、いずれも、撮像素子の解像度の縦 $1/2 \times$ 横 $1/2$ に低下する。

【0061】

しかしながら本実施形態では、図3や図4に示すように、1色のカラームosaic画素内に複数の微細な偏光子が存在するため、微細画像にて4分割しないカラームosaic画素を用いる場合の解像度と比較した場合には同等の解像度である。

【0062】

次に、図12を参照しながら、図1におけるカラー情報処理部102および偏光情報処理部103の動作を説明する。

【0063】

まず、最初にカラー偏光取得部101にてカラー動画像と偏光情報画像を同時にリアルタイムに取得する。ステップS801～S803において、カラー動画像のR、G、Bの各画素における複数の偏光輝度の観測値を取得する。ステップS801～S803の順序は任意であり、並列的に実行されてもよい。具体的には、R、G、Bのカラームosaic画素内で4種類の偏光輝度を取得する。偏光輝度を示す信号は、偏光情報処理部103に送られ、ステップS804～S808において、以下のように処理される。

【0064】

10

20

30

40

50

すなわち、ステップ S 8 0 4 ~ S 8 0 6 の各々において、R 画素、G 画素、B 画素の各々から得られる変動輝度に基づいて、正弦関数パラメータを算出する。正弦関数パラメータは、前述の(式 1)における A、B、C で規定される。ステップ S 8 0 4 ~ S 8 0 6 の処理も、互いに独立しているため、任意の順序で行うことができ、並列的に実行されてもよい。

【 0 0 6 5 】

その後、図 1 のカラー情報処理部 1 0 2 により、ステップ S 8 0 8 の処理が実行される。具体的には、前述の(式 8)を用いて、R、G、B の平均輝度が求められ、カラー輝度画像 $I(x, y)$ が生成される。

【 0 0 6 6 】

本実施形態の画像処理装置によれば、以下に示す従来技術の課題 1)、2) を解決することができる。

- 1) カラー分離特性と偏光特性の干渉
- 2) カラー輝度取得と偏光情報取得の両立が困難

【 0 0 6 7 】

すなわち、課題 1) について、本実施形態によれば、R、G、B のカラー別に各波長の狭い帯域で偏光特性が動作する偏光素子を独立に利用して干渉をなくすことができる。また、課題 2) について、本実施形態によれば、1 つのカラー分離系に偏光情報分離系を完全に包含させ 1 種類のカラー毎に偏光情報を得ることを可能にする。

【 0 0 6 8 】

なお、本実施形態では、パターン化偏光子にフォトニック結晶を用いているが、偏光素子は、フィルム型の偏光素子、ワイヤーグリッド型、その他の原理による偏光素子であってもよい。

【 0 0 6 9 】

(第 2 の実施形態)

以下、本発明による画像処理装置の第 2 の実施形態を説明する。

【 0 0 7 0 】

第 1 の実施形態では、単板カラー撮像素子を使用していたため、本来の撮像素子が有している解像度よりも、解像度が低下していた。このような解像度の低下は、カラーを光線の入射位置に応じて分離するカラーモザイクフィルタに起因している。本実施形態では、カラーモザイクフィルタに代えて、同一領域に入射した光を波長帯域に応じて異なる色に分離する色分解素子を用い、それによって第 1 の実施形態よりも解像度を高めることができる。

【 0 0 7 1 】

本実施形態の基本的構成も、図 1 のブロック図で示されるため、ここでも適宜、図 1 を参照する。本実施形態の画像処理装置も、被写体からリアルタイムにカラー画像情報を取得すると同時に偏光画像情報を取得し、2 種類の偏光画像(偏光度画像、および偏光位相画像)として出力する。レンズ 1 0 0 a および絞り 1 0 0 b を通った光は、カラー偏光取得部 1 0 1 に入射し、この入射光から、カラー偏光取得部 1 0 1 がカラー動画像情報および偏光画像情報の両方をリアルタイムに取得する。後述するように、本実施形態のカラー偏光取得部 1 0 1 は、色分解プリズムを備えている。カラー偏光取得部 1 0 1 からは、カラー動画像情報および偏光情報画像情報を示す信号が出力され、それぞれ、カラー情報処理部 1 0 2 および偏光情報処理部 1 0 3 に送られる。カラー情報処理部 1 0 2 および偏光情報処理部 1 0 3 は、上記信号に対して各種の処理を施し、カラー画像 I_m 、偏光度画像、偏光位相画像 を出力する。

【 0 0 7 2 】

まず、図 1 3 A および図 1 3 B を参照しながら、色分解(ダイクロック)プリズムを用いたカラー偏光取得部 1 0 1 の最も単純な構成例を説明する。図 1 3 A に例示したカラー偏光取得部 1 0 1 は、R のパターン化偏光子が付加された撮像素子 1 2 0 1、R のパターン化偏光子が付加された撮像素子 1 2 0 2、R のパターン化偏光子が付加された撮像素子

10

20

30

40

50

1 2 0 3を備えており、色分解プリズムによって分立されたR、G、Bの光は、それぞれ、撮像素子1 2 0 1、1 2 0 2、1 2 0 3に入射する。

【0 0 7 3】

図1 3 Bは、撮像素子1 2 0 1、1 2 0 2、1 2 0 3にそれぞれ付加された3種類のパターン化偏光子の配列を示す図である。この例では、R、G、Bのパターン化偏光子の各々において、透過偏光面が0度、45度、90度、135度という組み合わせのパターンが繰り返されている。また、偏光の波長特性は、図5に示す特性を満足する。

【0 0 7 4】

図1 3 Bに示す配列の例では、4画素で1セットが構成されるため、図3を参照しながら説明したように、RGBの各色ごとに偏光情報を取得することができる。また、4画素の輝度を平均することにより、カラー画像も取得できる。

10

【0 0 7 5】

しかしながら、上述の構成例では、人間の視覚特性に重要なG画素の空間解像度が低下するという課題が残る。以下、図1 3 Cを参照しながら、この課題を解決したカラー偏光取得部1 0 1の構成を説明する。

【0 0 7 6】

本実施形態のカラー偏光取得部1 0 1は、色分解プリズム9 0 0と、R、G、B専用の撮像素子9 0 1、9 0 2、9 0 3と、RおよびB用のパターン化偏光子9 0 4、9 0 5とを備えている。パターン化偏光子9 0 4、9 0 5における微小な各偏向素子単位が設置された画素を、以下、偏光画素と称する。

20

【0 0 7 7】

色分解プリズム9 0 0を使用することにより、被写体の各画素からR、G、Bの画像情報を取得できるため、解像度が向上する。また、本実施形態では、パターン化偏光子をR用撮像素子9 0 1およびB用撮像素子9 0 3の前に配置し、G用撮像素子9 0 2の前には配置していない。このため、G画像の解像度を、R画像やB画像の解像度よりも高めることができる。G光は、R、B光に比べて人間の視覚感度が最も高い色であるため、G画像を高解像度化することにより、解像度増加の視覚効果を効率的に得ることができる。

【0 0 7 8】

図1 4 (a) から (c) は、RおよびB用のパターン化偏光子9 0 4、9 0 5と、対応するG用の画素とを示す図である。G用撮像素子9 0 2には、パターン化偏光子が設置されない。B用のパターン化偏光子9 0 5、およびR用パターン化偏光子9 0 4は、それぞれ、図5 (a) および図5 (c) に示すように、B光およびR光の波長帯域において偏光特性を有している。R用パターン化偏光子9 0 4の偏光主軸は、以下の通りである。

30

【0 0 7 9】

【表1】

偏光画素	R1	R2	R3	R4
偏光主軸	0°	45°	90°	135°

【0 0 8 0】

一方、B用パターン化偏光子9 0 5の偏光主軸は、以下の通りである。

40

【0 0 8 1】

【表2】

偏光画素	B6	B7	B8	B9
偏光主軸	22. 5°	67. 5°	112. 5°	157. 5°

【0 0 8 2】

4種類の偏光画素から得られる偏光情報を表現する画素は、中心画素1 0 0 1である。

【0 0 8 3】

50

パターン化偏光子 904、905 における配列の特徴は、以下の通りである。

(1) 2 × 2 画素からなるブロック内において、偏光主軸の異なる 4 つの偏光画素が隣接している。

(2) 上記の各ブロック内において、隣接する偏光画素の偏光主軸は相互に 45° 異なる。

(3) 偏光画素 R1 ~ R4、B5 ~ B9 の偏光主軸は、0° から 180° までの間に等間隔 (22.5°) で存在している。

【0084】

これらの性質を満足すれば、偏光画素 R1 ~ R4 および偏光画素 B5 ~ B9 の配列順序は任意である。たとえば、図 15 (a) に示すよう順序で配列されていても良い。図 15 (a) では、偏光画素 R1 ~ R4 および偏光画素 B5 ~ B8 の他の配置例が示されている。なお、図 15 (b) の例では、R 画素として偏光画素 R5 ~ R8 が配列され、B 画素として偏光画素 R1 ~ R4 が配置されている。ここで、偏光画素に付与される参照符号 1 ~ 9 により、以下に示すように偏光主軸の角度が規定されている。

【0085】

【表 3】

1	2	3	4	5	6	7	8
0°	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°

【0086】

このようなパターン化偏光子は、例えば非特許文献 2 に記載されたフォトニック結晶を用いて作製することができる。

【0087】

本実施形態では、異なる 8 つの方位を有する偏光主軸が画素 R および画素 B に分散して配置されているが、これらの画素から得られる輝度情報を統合して処理することにより、合計 8 点の異なる偏光角度における輝度情報が得られる。以下、この統合化処理の方法を説明する。

【0088】

図 16 は、図 13 C に示す構成のカラー偏光取得部 101 を用いて被写体を観測した場合に得られる輝度の偏光主軸方向依存性を示すグラフである。自然界にある被写体は様々である。しかし、金属以外の誘電体を想定した場合、照明が被写体に照射されて得られる反射光の性質は、フレネル反射の理論で記述される。そのため、鏡面反射および拡散反射のいずれの場合においても、その偏光の性質は、R、G、B の波長帯域で大きく変化はしない。すなわち、R、G、B の輝度変動を示す正弦関数は、すべて、周期 180° であり、等しい位相で変化する。したがって、(式 6) の偏光度 の関係式を用いて、3 種類の輝度変動は、(式 9) に示す式で表現できる。

【数 9】

$$I_R(\psi) = \bar{I}_R + A_R \sin(2\psi - 2B) = \bar{I}_R [1 + \rho \sin(2\psi - 2B)]$$

$$I_G(\psi) = \bar{I}_G + A_G \sin(2\psi - 2B) = \bar{I}_G [1 + \rho \sin(2\psi - 2B)]$$

$$I_B(\psi) = \bar{I}_B + A_B \sin(2\psi - 2B) = \bar{I}_B [1 + \rho \sin(2\psi - 2B)]$$

(式 9)

【0089】

屈折率、光の入射角、および出射角は、R、G、B の間で実質的に一定であるため、偏光度 も R、G、B の間で一定となる。このため、(式 9) における 3 種類の正弦関数の変動部分は、R、G、B に共通となる。

【0090】

図 16 に示すカーブ 1101、1102、1103 は、それぞれ、R、G、B の輝度変化を示している。また、ライン 1104、1105、1106 は、それぞれ、R、G、B の平均輝度を示す。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 1 】

本実施形態では、図 1 3 C に示す構成を有しているため、G 撮像素子 9 0 2 にはパターン化偏光子が設置されていない。このため、G の輝度変動観測値は存在せず、カーブ 1 1 0 2 は、あくまで理論式から求められる曲線にすぎない。しかし、ライン 1 1 0 5 によって示される G の輝度平均値は理論値ではなく、図 1 4 に示す画素 G₀₀ から画素 G₁₁ の 4 つ画素の輝度の平均値である。この平均値は、点 1 0 0 1 における輝度値として観測される。図 1 6 における点 1 1 0 7 は、G の輝度平均値が実測値であることを示すため、グラフ中に記載したものである。

【 0 0 9 2 】

白点で示される輝度 $I_{R1} \sim I_{R4}$ は、図 1 4 に示す R 用パターン化偏光子 9 0 4 の 4 画素での観測輝度を示し、黒点で示される観測輝度 $I_{R5} \sim I_{R8}$ は、B 用パターン化偏光子 9 0 5 の 4 画素での観測輝度を示す。すなわち、4 方向の偏光情報は、R および B の 2 種のカラー成分に分散している。本発明者らの実験によれば、偏光主軸が 4 方向の輝度測定値のみに基づいて 1 本の輝度変化カーブを決定すると、ノイズが多くなる場合があり、輝度変化カーブを高い精度で決定することが容易ではない。しかし、本実施形態のように偏光主軸が 8 方向の輝度測定値を用いると、ノイズが低減されるため、輝度変化カーブを高い精度で決定することができる。異なる色について得られる輝度測定値に基づいて 1 つの輝度変化カーブを決定することを「統合化」と称することにする。統合化のためには、測定された輝度 $I_{R1} \sim I_{R4}$ 、 $I_{B5} \sim I_{B8}$ に対して、(式 1 0) に示す変換を実施して補正を行う必要がある。補正後の輝度値を用いて統合化することにより、正弦関数カーブを決定する。

【 数 1 0 】

$$I_{R1}' = K_{rr} \cdot I_{R1}, I_{R2}' = K_{rr} \cdot I_{R2}, I_{R3}' = K_{rr} \cdot I_{R3}, I_{R4}' = K_{rr} \cdot I_{R4}$$

$$K_{rr} = \frac{\bar{I}_G}{\bar{I}_R} = \left(\frac{I_{G00} + I_{G01} + I_{G10} + I_{G11}}{I_{R1} + I_{R2} + I_{R3} + I_{R4}} \right) \quad (\text{式 1 0})$$

$$I_{B5}' = K_{bb} \cdot I_{B5}, I_{B6}' = K_{bb} \cdot I_{B6}, I_{B7}' = K_{bb} \cdot I_{B7}, I_{B8}' = K_{bb} \cdot I_{B8}$$

$$K_{bb} = \frac{\bar{I}_G}{\bar{I}_B} = \left(\frac{I_{G00} + I_{G01} + I_{G10} + I_{G11}}{I_{B1} + I_{B2} + I_{B3} + I_{B4}} \right)$$

【 0 0 9 3 】

図 1 7 は、この統合化の結果を示している。本来は存在しない仮想的な G の輝度変動カーブに合致するように R および B の輝度観測値を補正して統合化している。輝度 $I'_{R1} \sim I'_{R4}$ 、 $I'_{B5} \sim I'_{B8}$ は、平均輝度がライン 1 1 0 5 となる正弦関数カーブ上に位置する。これら 8 点の輝度補正值について、(式 5) に示す最小 2 乗誤差が最小となる正弦関数カーブを算出する。

【 0 0 9 4 】

ここでは、G について仮想的な輝度変化カーブを設定し、R および B の輝度が G の輝度変化カーブ上に位置するようにして統合化を行っているが、G 以外の色の輝度カーブ上に他の色の輝度が位置するように統合化を行っても良い。

【 0 0 9 5 】

図 1 8 は、B の輝度を R の輝度にあわせこんだ統合化の例を示す。この場合、B の輝度 $I_{B5} \sim I_{B8}$ から B の輝度補正值 $I''_{B5} \sim I''_{B8}$ を、以下の(式 1 1)に基づいて算出する。

10

20

30

40

【数 1 1】

$$I''_{B5} = L_{bb} \cdot I_{B5}, I''_{B6} = L_{bb} \cdot I_{B6}, I''_{B7} = L_{bb} \cdot I_{B7}, I''_{B8} = L_{bb} \cdot I_{B8}$$

$$L_{bb} = \frac{\bar{I}_R}{\bar{I}_B} = \left(\frac{I_{R1} + I_{R2} + I_{R3} + I_{R4}}{I_{B1} + I_{B2} + I_{B3} + I_{B4}} \right) \quad (\text{式 1 1})$$

【0096】

RおよびBの輝度値は、それぞれ、理論的に周期180度の正弦関数カーブ上にあることがわかっている。このため、RおよびBの輝度値は、それぞれ、同一カラーで位相（偏光主軸の方向）が等間隔でずれた4点における輝度の観測値を平均した値によって与えられる。すなわち、RおよびBの輝度値は、以下の（式12）によって表される。

【数 1 2】

$$\bar{I}_R = (I_{R1} + I_{R2} + I_{R3} + I_{R4}) / 4$$

$$\bar{I}_B = (I_{B1} + I_{B2} + I_{B3} + I_{B4}) / 4 \quad (\text{式 1 2})$$

【0097】

一方、Gの輝度値は、G用撮像素子902の前に偏光子が存在しないため、輝度の観測値に等しい。

【0098】

本実施形態によれば、Gについては高解像度画像が得られ、RおよびBについては、Gに比べて解像度が1/4に低下した画像が得られることになる。しかし、人間の視感度に最も影響を与えるGの解像度が高いため、全体として、人間の目に感じる画質はあまり劣化しないと期待できる。

【0099】

本実施形態においては色分解プリズムを使うことにより解像度が向上することを述べたが、色分解においてカラーモザイクフィルタのように光吸収に起因するロスが発生しないという利点もある。概算でカラーモザイクフィルタに比較して約3倍の光量を有効に使うことができるため、感度向上も同時に達成される。

【0100】

図19は、本実施形態の動作を図1における画像処理装置に対応させて説明するための図である。

【0101】

まず、最初にカラー偏光取得部101にてカラー動画像と偏光情報画像を同時にリアルタイムに取得する。ステップS1301～S1303において、カラー動画像のR、G、Bの各画素における複数の偏光輝度の観測値を取得する。ステップS1301～S1303の順序は任意であり、並列的に実行されてもよい。Gについては高解像度にて実際の輝度が取得されるが、RとBについては低解像度で偏光子を透過した輝度のみが取得される。

【0102】

両者の解像度が異なるため偏光情報画像としては、図14の位置1001において、RおよびBの偏光情報を統合化する。ステップS1304において、（式10）に従い、補正係数 K_{rr} を用いてR画像の異なる偏光輝度をGに統合する。同様に、ステップS1305において、補正係数 K_{bb} を用いてB画像の異なる偏光輝度をGに統合する。これらのステップS1304～S1306の順番も任意であり、並列に実行されてもよい。

【0103】

ステップS1306では、図14の位置1001における偏光度画像（ x, y ）および偏光位相画像（ x, y ）が生成される。

【0104】

図1に示すカラー情報処理部102では、（式11）に基づいて、RおよびBの位置1

10

20

30

40

50

001に相当する低解像度画像を生成し(ステップS1307)、Gの高解像度画像と画素位置を合わせてカラー輝度画像 $I_m(x, y)$ が生成される(S1308)。

【0105】

本実施形態の画像処理装置によれば、以下に示す従来技術の課題1)、2)を解決することができる。

1) カラー分離特性と偏光特性の干渉

2) カラー輝度取得と偏光情報取得の両立が困難であること

【0106】

すなわち、課題1)について、本実施形態によれば、R、G、Bのカラー別に各波長の狭い帯域で偏光特性が動作する偏光素子を独立に利用して干渉をなくすることができる。また、課題2)について、本実施形態では、色分解プリズムによるR、G、B分離を行ない、Gは通常のカラ－輝度画素とし、RおよびBを偏光画素とする。不足する偏光角度情報は、RおよびBの観測輝度値に一定の補正係数を乗じて統合化することによって求めている。これにより実質的に6種類の偏光角度情報を得るようにしてカラー輝度と偏光情報の取得の両立を実現できる。

10

【0107】

なお、本実施形態でも、パターン化偏光子にフォトニック結晶を用いているが、偏光素子は、フィルム型の偏光素子、ワイヤ－グリッド型、その他の原理による偏光素子であってもよい。

【0108】

(第3の実施形態)

以下、本発明による画像処理装置の第3の実施形態を説明する。

20

【0109】

第2の実施形態では、パターン化偏光子を使用していたため、特にRおよびBの解像度が本来の撮像素子における解像度よりも低下していた。本実施形態では、RおよびBの解像度低下を回避できる。

【0110】

本実施形態の基本的構成も、図1のブロック図で示されるため、ここでも適宜、図1を参照する。本実施形態の画像処理装置も、被写体からリアルタイムにカラー画像情報を取得すると同時に偏光画像情報を取得し、2種類の偏光画像(偏光度画像、および偏光位相画像)として出力する。レンズ100aおよび絞り100bを通った光は、カラー偏光取得部101に入射し、この入射光から、カラー偏光取得部101がカラー動画像情報および偏光画像情報の両方をリアルタイムに取得する。後述するように、本実施形態のカラー偏光取得部101は、色分解プリズムを備えている。カラー偏光取得部101からは、カラー動画像情報および偏光情報画像情報を示す信号が出力され、それぞれ、カラー情報処理部102および偏光情報処理部103に送られる。カラー情報処理部102および偏光情報処理部103は、上記信号に対して各種の処理を施し、カラー画像 I_m 、偏光度画像、偏光位相画像を出力する。

30

【0111】

図20を参照して、本実施形態におけるカラー偏光取得部101の構成を説明する。

40

【0112】

図20は、本実施形態におけるカラー偏光取得部101の構成を示す図である。このカラー偏光取得部101は、色分解プリズム900と、R、G、B用の偏光ビームスプリッタ1407、1408、1409を備えている。R用の偏光ビームスプリッタ1408で分離されたR光は、それぞれ、P偏光成分を取得する撮像素子1401およびS偏光成分を取得する撮像素子1402に入射する。同様に、G用の偏光ビームスプリッタ1407で分離されたG光は、それぞれ、P偏光成分を取得する撮像素子1403、およびS偏光成分を取得する撮像素子1404に入射し、B用の偏光ビームスプリッタ1409で分離されたB光は、それぞれ、P偏光成分を取得する撮像素子1406およびS偏光成分を取得する撮像素子1405に入射する。

50

【 0 1 1 3 】

本実施形態では、パターン化偏光子の代わりに、偏光ビームスプリッタを用いて偏光情報を取得しているため、解像度の低下が無く、また、視覚感度の高いG成分からも偏光情報を取得できる。

【 0 1 1 4 】

なお、「偏光ビームスプリッタ」は、入射光をその偏光成分によって分離するフィルタであり、入射光線の光軸に対して45°の角度で傾斜したフィルタ面が、P偏光成分を透過、S偏光成分を反射する。偏光ビームスプリッタの動作波長域は、パターン化偏光子の場合と同様に、可視光全域にわたるものではなく、比較的狭い。本実施形態では、R用ビームスプリッタ1407と、G用ビームスプリッタ1408と、B用のビームスプリッタ1408は、いずれも、図5のように色分解プリズムが3色分解するRGB波長域に各々の動作波長域が一致するように設計されている。

10

【 0 1 1 5 】

通常、偏光ビームスプリッタでは、P成分とS成分という直交する2方向の偏光からしか偏光情報が得られない。しかし、本実施形態では、R用の偏光ビームスプリッタ1407およびB用の偏光ビームスプリッタ1409を、それぞれの光軸まわりに所定の角度だけ回転させて固定することにより、複数の偏光角度における偏光情報を得ることができる。図20に示す、R用およびB用の撮像素子1407、1409の記載は、その回転角度が若干不明瞭であるが、図21は、回転角度をより詳しく説明するための図である。図20は、R、G、B用の各ビームスプリッタ1407～1409が、各々の光軸まわりに回転して固定され、かつ撮像素子もそれに対応して設置されている構成を示す図である。

20

【 0 1 1 6 】

図21に示されるように、R用の偏光ビームスプリッタ1407は+30°、B用の偏光ビームスプリッタ1409は-30°、G用の偏光ビームスプリッタ1408に対して回転している。このため、Gの偏光は0°および90°、Rの偏光は30°および120°、Bの偏光は60°および150°の角度だけ回転した偏光主軸における観測を行うことができる。すなわち、撮像素子1401によって、Rp(R光のP偏光成分)が、撮像素子1402によってRs(R光のS偏光成分)が取得される。同様に撮像素子1403によって、Gp(G光のP偏光成分)が、撮像素子1404によってGs(G光のS偏光成分)が取得される。また同様に、撮像素子1405によって、Bs(G光のS偏光成分)が、撮像素子1406によってBp(B光のP偏光成分)が取得される。

30

【 0 1 1 7 】

図22は、図20および図21に示すビームスプリッタによって観測される偏光の主軸角度を同一の角度座標上にて示す図である。図22における符号は、図20、図21の対応する撮像素子の参照符合である。輝度が観測される偏光の偏光主軸は、0°から180°まで、Gp、Rp、Bs、Gs、Rs、Bpの順に30°ずつ回転している。

【 0 1 1 8 】

図23は、Rの輝度変化カーブ1701、Gの輝度変化カーブ1702、Bの輝度変化カーブ1703と、R、G、Bの平均輝度1704、1705、1706を示している。撮像素子1403、1404で観測される輝度 I_{GP} 、 I_{GS} は、斜線のサークルで示されている。また、撮像素子1401、1402で観測される輝度 I_{RP} 、 I_{RS} は、白いサークルで示され、撮像素子1405、1406で観測される輝度 I_{BS} 、 I_{BP} は、黒いサークルで示されている。すなわち、PおよびS偏光の直交する偏光主軸に関する偏光情報は、R、G、およびBの3種のカラー成分に分散している。理論上、2点の輝度値から1本の正弦関数カーブを決定することは不可能であるので、カラー別に正弦関数カーブを決定することはできない。本実施形態では、各カラーについて観測される輝度値を統合化することにより、正弦関数カーブを決定している。統合化のため、第2の実施形態について説明したように、得られた6個の輝度 $I_{RP} \sim I_{BS}$ に対して、(式13)の変換を実施する。すなわち、補正係数 K_r 、 K_b を用いてRおよびBの輝度をGの輝度に合わせ込む補正を行う。補正を行った上で統合した輝度のサンプルを用いて、正弦関数カーブの決定を実施する。

40

50

【数 1 3】

$$\begin{aligned}
 I_{RP}' &= Kr \cdot I_{RP} \quad , \quad I_{RS}' = Kr \cdot I_{RS} \\
 I_{GP}' &= I_{GP} \quad , \quad I_{GS}' = I_{GS} \\
 I_{BP}' &= Kb \cdot I_{BP} \quad , \quad I_{BS}' = Kb \cdot I_{BS}
 \end{aligned}$$

(式 1 3)

$$\begin{aligned}
 Kr &= \frac{\bar{I}_G}{\bar{I}_R} = \left(\frac{I_{GP} + I_{GS}}{I_{RP} + I_{RS}} \right) \\
 Kb &= \frac{\bar{I}_G}{\bar{I}_B} = \left(\frac{I_{GP} + I_{GS}}{I_{BP} + I_{BS}} \right)
 \end{aligned}$$

10

【0 1 1 9】

図 2 4 は、上記の統合化によって得られた正弦関数カーブを示している。R および B の観測値は、統合化され、G の輝度変動カーブ上に位置している。こうして得られる 6 点の輝度について、(式 5) の最小 2 乗誤差最適化を行うことにより正弦関数カーブを決定すれば、偏光情報を高い精度で求めることができる。

【0 1 2 0】

20

カラー輝度の正弦関数カーブの周期は、周期 180° であるため、同じカラーで位相が 90° 異なる 2 点の観測値を平均すれば、そのカラーの輝度値が求められる。

【数 1 4】

$$\begin{aligned}
 \bar{I}_R &= (I_{RP} + I_{RS}) / 2 \\
 \bar{I}_G &= (I_{GP} + I_{GS}) / 2 \\
 \bar{I}_B &= (I_{BP} + I_{BS}) / 2
 \end{aligned}$$

(式 1 4)

【0 1 2 1】

このように本実施形態では、偏光ビームスプリッタを用いるため、R および B の解像度低下を回避できるのみならず偏光フィルタの光吸収による光量のロスが無くなり、感度の向上を達成することができる。

30

【0 1 2 2】

図 2 5 は、図 1 における画像処理装置に対応してその動作を説明する図であり、カラー偏光取得部については第 3 の実施形態について述べるものとする。最初にカラー偏光取得部 1 0 1 にてカラー動画像と偏光情報画像を同時にリアルタイムに取得され、その信号は偏光情報処理部 1 0 3 に送られ以下のように処理される。まず S 1 9 0 1 ~ S 1 9 0 3 のステップで 1 0 1 にて撮像された R、G、B の各画像の異なる複数の偏光輝度の観測値を取得する。すなわち、R、G、B 画像で各々 P 偏光と S 偏光という 2 種類の偏光輝度が取得されるため、画像としては R、G、B 画像が各々 2 枚取得されることとなる。この S 1 9 0 1 から S 1 9 0 3 の処理順番は任意であり並列に実行されてもよい。

40

【0 1 2 3】

次に S 1 9 0 4 において、補正係数 Kr を用いて R 画像の異なる偏光輝度を G に統合し、同様に S 1 9 0 4 において補正係数 Kb を用いて B 画像の異なる偏光輝度を G に統合する。この処理は、(式 1 3) の処理を用いて実行され、結局 R、G、B で合計 6 枚の画像に統合される。この S 1 9 0 4 と S 1 9 0 5 の処理の順番も任意であり並列に実行されてもよい。次に、S 1 9 0 6 において、これらの画像を使って画素毎に(式 5)を用いて正弦関数、すなわち、パラメータ A、B、C を決定する。最後に S 1 9 0 7 にて、(式 6) を使って偏光度画像 (x、y) が生成される。

【0 1 2 4】

50

カラー情報処理部 102 では、R、G、B 画像が P 偏光と S 偏光の 2 枚取得された後、これらから、(式 14) を用いて R、G、B の平均輝度を求めてカラー輝度画像 $I(x, y)$ が生成される。

【産業上の利用可能性】

【0125】

本発明の画像処理装置は、特別な投光装置などを用いなくても被写体からの偏光情報を取得できるため、各種デジタルスチルカメラ、デジタルムービーカメラ、監視カメラなどに適用可能である。また、今後のカメラの小型化に際して不足すると思われる画像輝度情報に対し、偏光情報から算出される表面の形状情報などを用いて加工処理を行うことが可能になる。

10

【図面の簡単な説明】

【0126】

【図 1】本発明における画像処理装置の構成を示すブロック図である。

【図 2】カラー偏光取得部の第 1 実施形態の構成の説明図である。

【図 3】(a) および (b) は、それぞれ、第 1 の実施形態のカラーフィルタおよびパターン化偏光素子の配列状態の説明図である。

【図 4】(a) および (b) は、それぞれ、第 1 の実施形態のカラーフィルタおよびパターン化偏光素子の別の配列状態の説明図である。

【図 5】(a) から (c) は、第 1 の実施形態のパターン化偏光素子の波長特性の説明図である。

20

【図 6】パターン化偏光素子のカラー分離特性と偏光分離特性の干渉を説明する図である。

【図 7】第 1 の実施形態における正弦関数状輝度変動と観測輝度点を説明する模式図である。

【図 8】プラスチック球の被写体を示す図である。

【図 9】(a) および (b) は、それぞれ、偏光度画像 (x, y) と偏光位相画像 (x, y) の図である。

【図 10】(a) および (b) は、それぞれ、偏光度画像 (x, y) と偏光位相画像 (x, y) の説明をする模式図である。

【図 11】(a) および (b) は、それぞれ、鏡面反射画像および拡散反射画像を示す写真であり、(c) および (d) は、それぞれ、鏡面反射画像および拡散反射画像を示す模式図である。

30

【図 12】第 1 の実施形態における偏光情報処理部とカラー情報処理部の動作を説明するフローチャートである。

【図 13 A】カラー偏光取得部の構成例を示す図である。

【図 13 B】(a) から (c) は、図 13 A の構成例における G、R、B のパターン化偏光子の配列を示す図である。

【図 13 C】カラー偏光取得部の第 2 の実施形態の構成を示す図である。

【図 14】(a) から (c) は、第 2 の実施形態における R、B のパターン化偏光子の配列を示す図である。

40

【図 15】(a) および (b) は、第 2 の実施形態における R と B のパターン化偏光子の別の配列を示す図である。

【図 16】第 2 の実施形態における正弦関数状輝度変動と観測輝度点を説明する図である。

【図 17】第 2 の実施形態においてカラーに分散した偏光情報の G への統合化を説明する図である。

【図 18】第 2 の実施形態においてカラーに分散した偏光情報の R への統合化を説明する図である。

【図 19】第 2 の実施形態における偏光情報処理部とカラー情報処理部の動作を説明するフローチャートである。

50

【図20】カラー偏光取得部の第3の実施形態の構成の説明図である。

【図21】(a)から(c)は、第3の実施形態における偏光ビームスプリッタの配置を示す図である。

【図22】第3の実施形態におけるR、G、Bの偏光情報の観測角度を示す図である。

【図23】第3の実施形態における正弦関数状輝度変動と観測輝度点を説明する図である。

。

【図24】第3の実施形態においてカラーに分散した偏光情報の統合化を説明する図である。

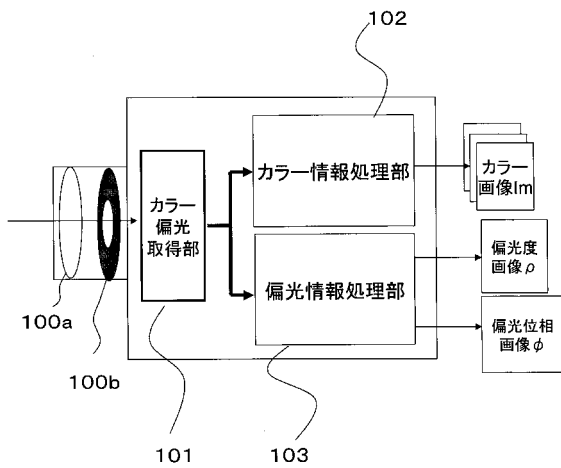
【図25】第3の実施形態における偏光情報処理部とカラー情報処理部の動作を説明するフローチャートである。

【符号の説明】

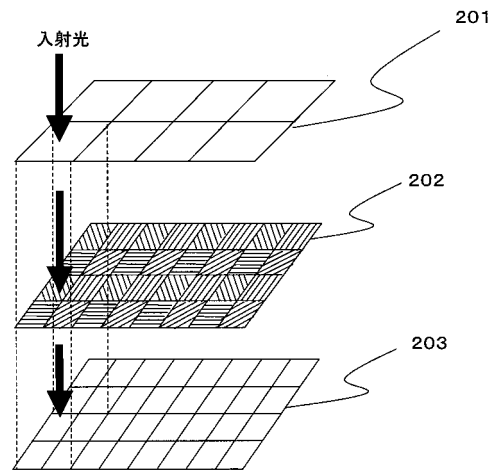
【0127】

- 100 a レンズ
- 100 b 絞り
- 101 カラー偏光取得部
- 102 偏光情報処理部
- 103 カラー情報処理部

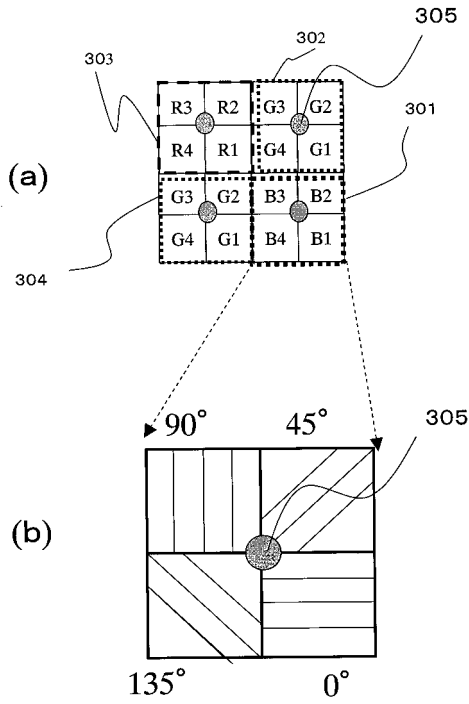
【図1】



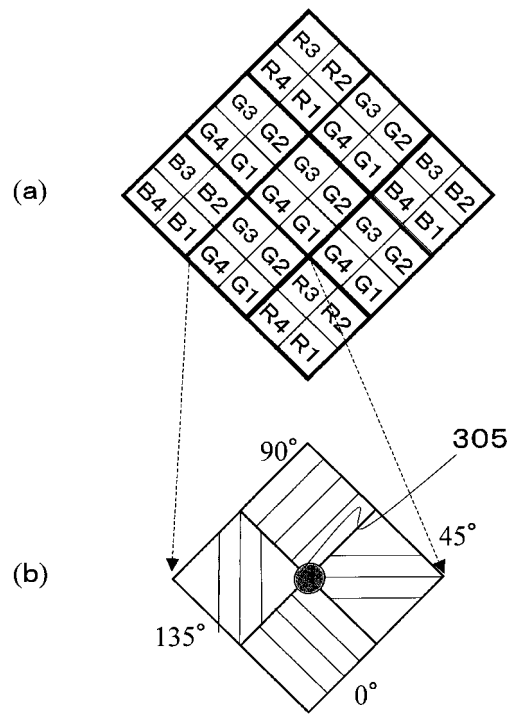
【図2】



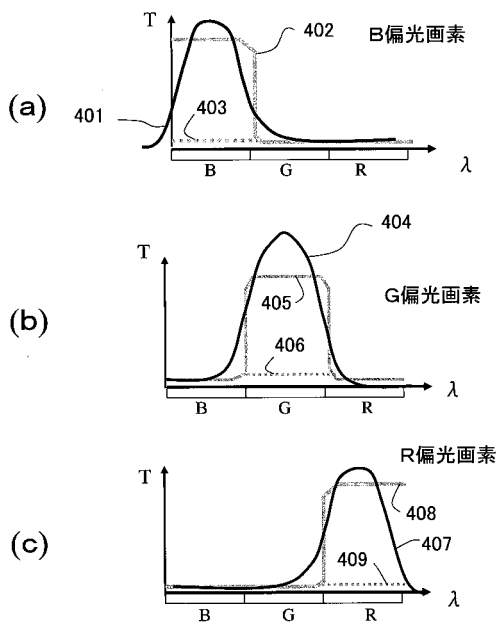
【 図 3 】



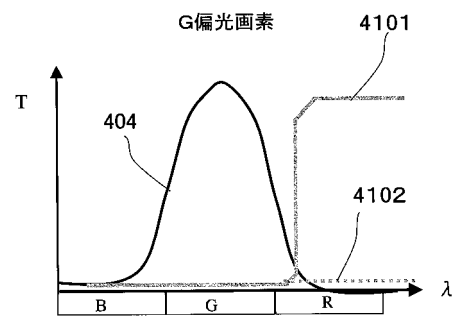
【 図 4 】



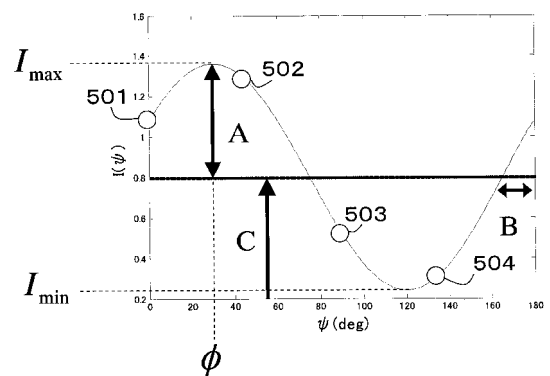
【 図 5 】



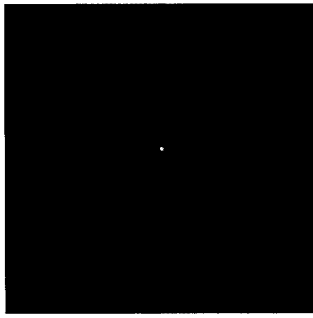
【 図 6 】



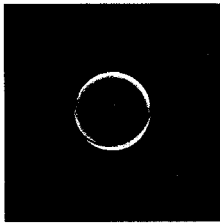
【 図 7 】



【 図 8 】

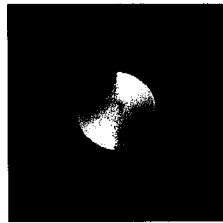


【 図 9 】



偏光度画像 $\rho(x,y)$

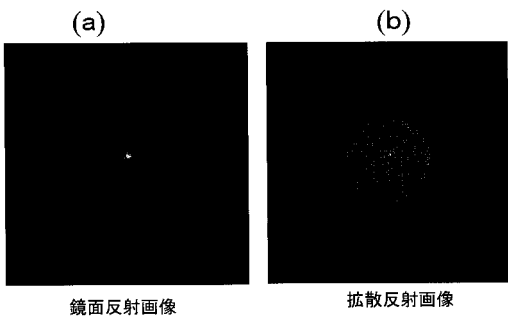
(a)



偏光位相画像 $\phi(x,y)$

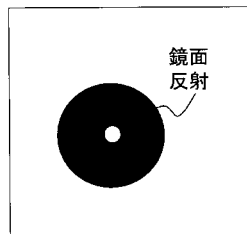
(b)

【 図 1 1 】



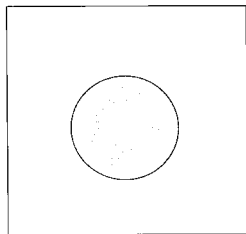
鏡面反射画像

拡散反射画像



鏡面反射画像(模式図)

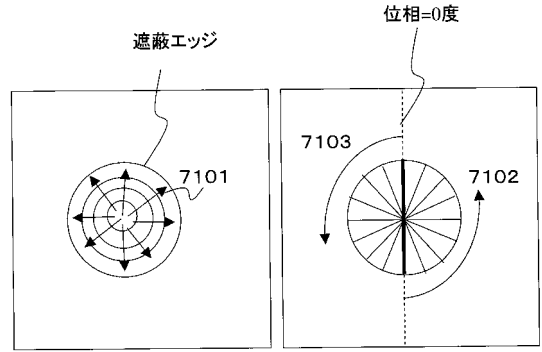
(c)



拡散反射画像(模式図)

(d)

【 図 1 0 】



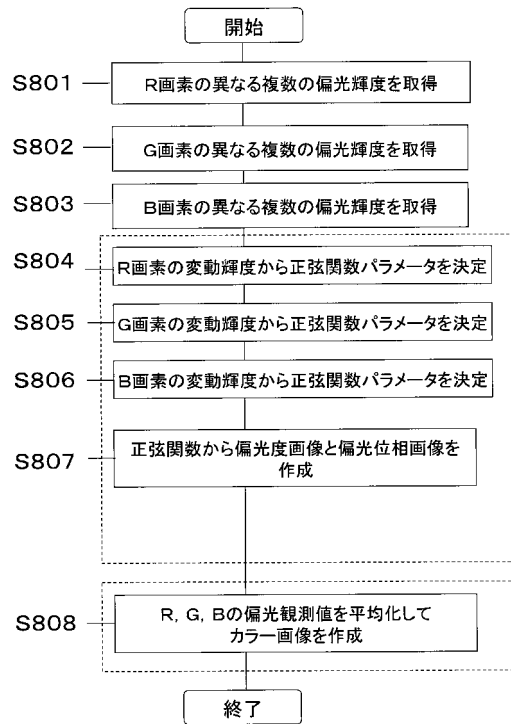
偏光度画像 $\rho(x,y)$

偏光位相画像 $\phi(x,y)$

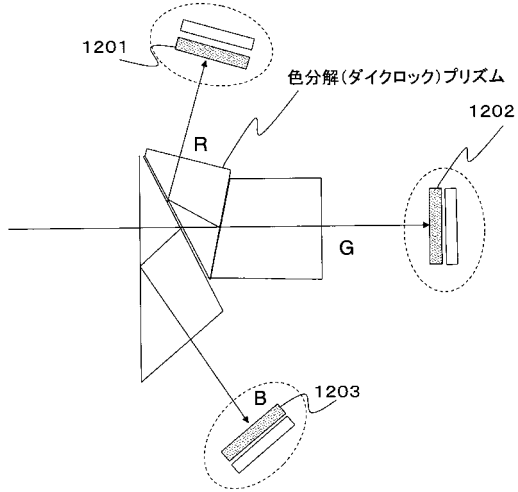
(a)

(b)

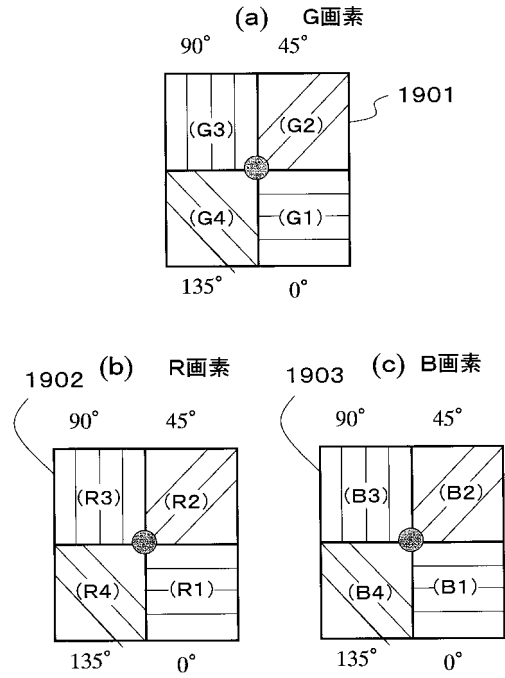
【 図 1 2 】



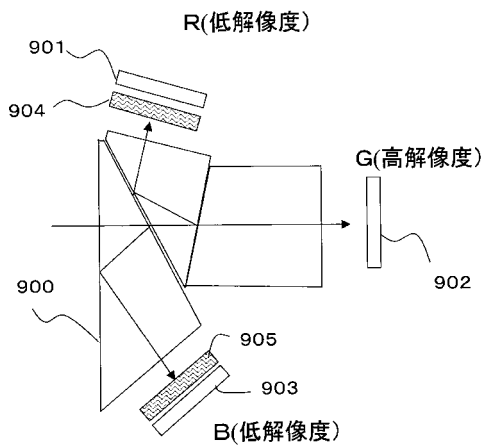
【図13A】



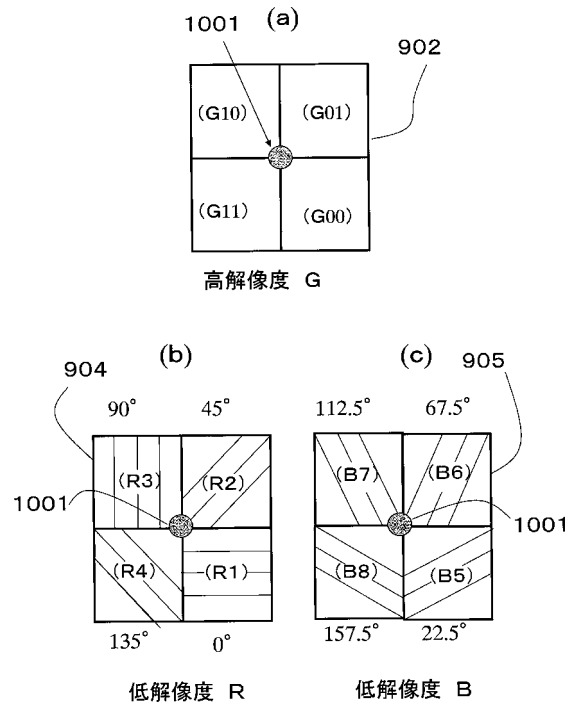
【図13B】



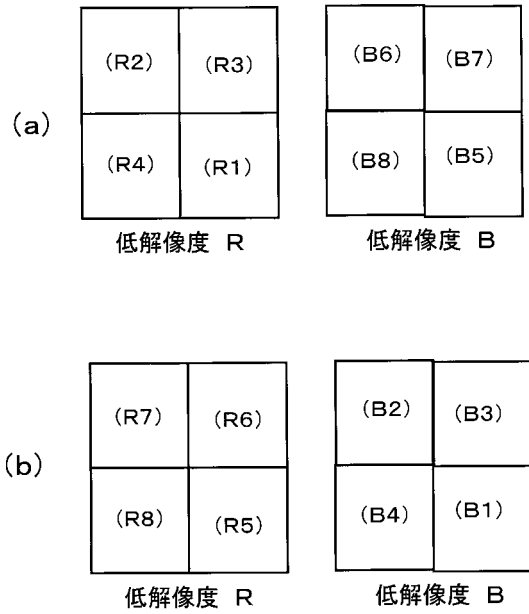
【図13C】



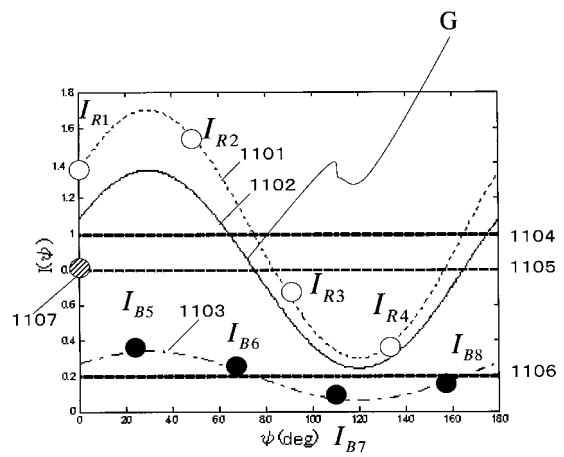
【図14】



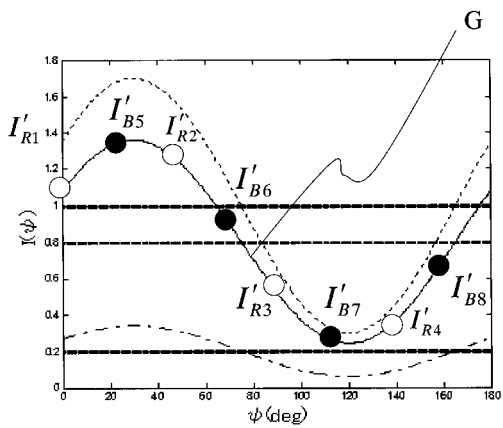
【 図 1 5 】



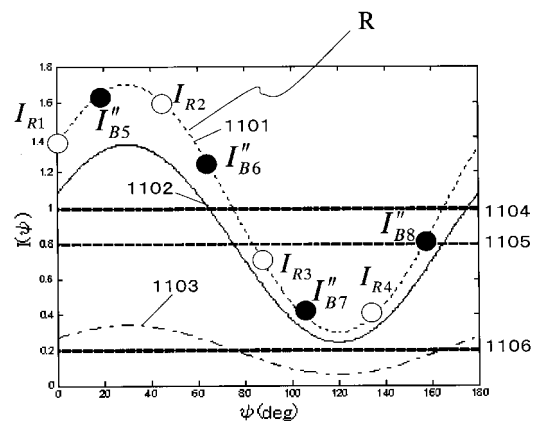
【 図 1 6 】



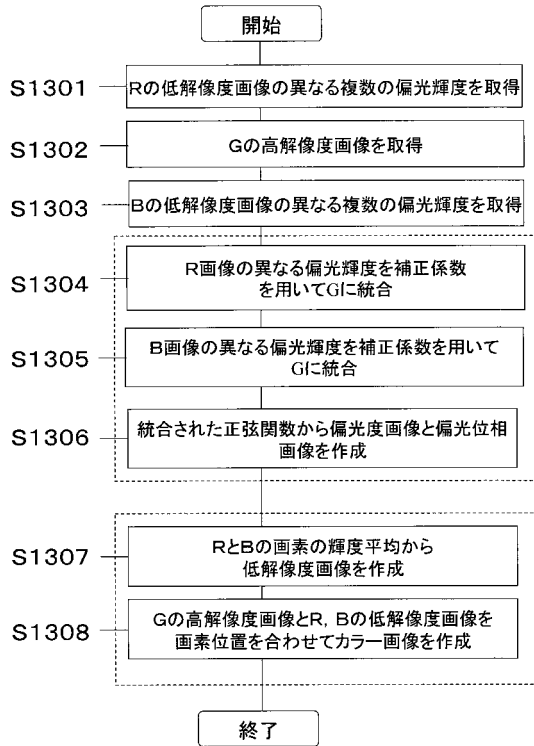
【 図 1 7 】



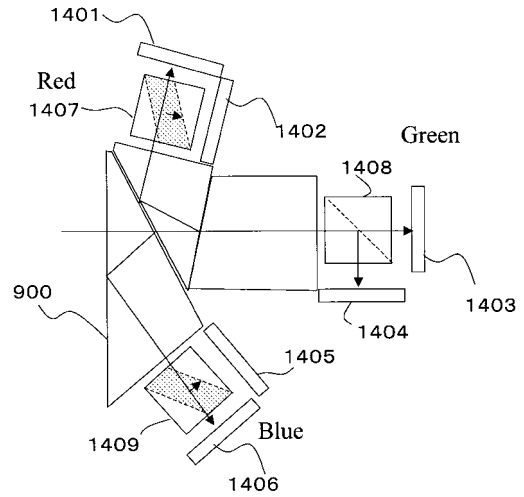
【 図 1 8 】



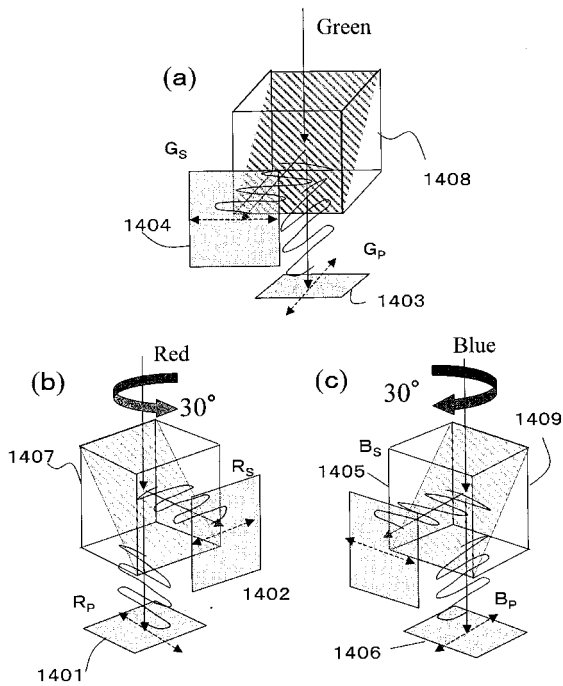
【図19】



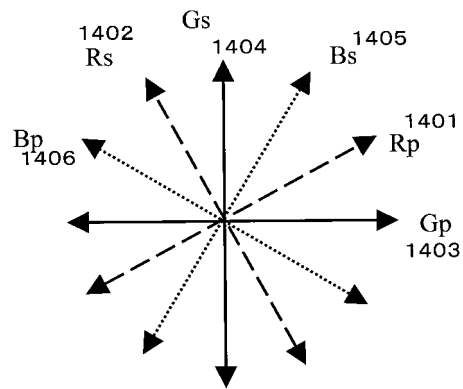
【図20】



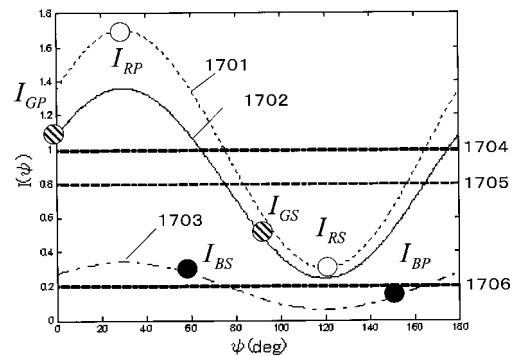
【図21】



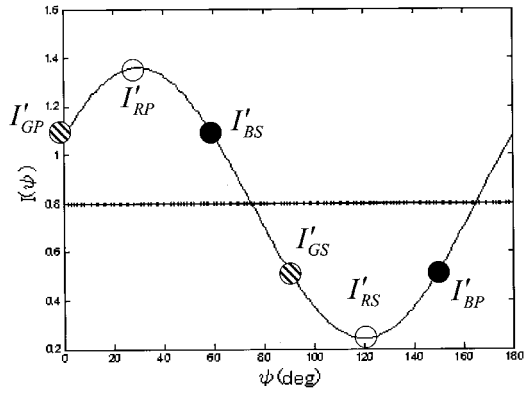
【図22】



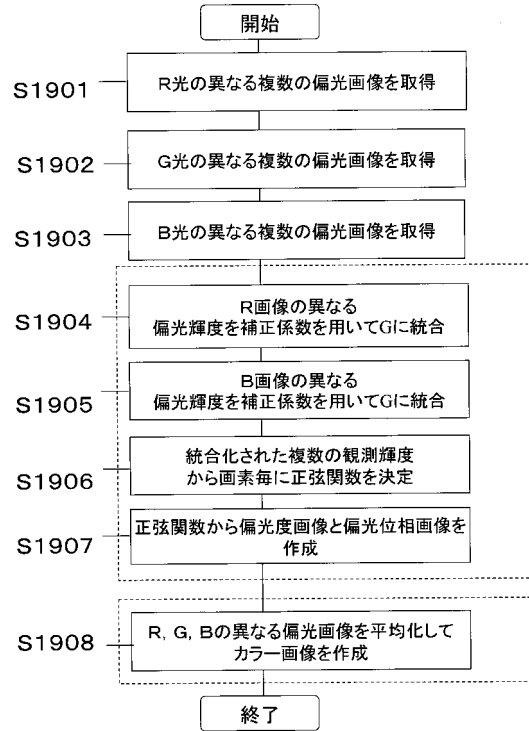
【図23】



【図24】



【図25】



フロントページの続き

審査官 松田 岳士

(56)参考文献 特開2005-019958(JP,A)
特開2005-287073(JP,A)
特開2006-254331(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H04N 9/04 - 9/11