

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4971531号
(P4971531)

(45) 発行日 平成24年7月11日(2012.7.11)

(24) 登録日 平成24年4月13日(2012.4.13)

(51) Int.Cl.		F I			
HO4N	5/225	(2006.01)	HO4N	5/225	C
HO4N	5/232	(2006.01)	HO4N	5/232	Z
A61B	1/04	(2006.01)	A61B	1/04	370
GO2B	23/24	(2006.01)	GO2B	23/24	B

請求項の数 15 (全 34 頁)

(21) 出願番号	特願2012-503816 (P2012-503816)	(73) 特許権者	000005821
(86) (22) 出願日	平成23年7月8日(2011.7.8)		パナソニック株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2011/003931		大阪府門真市大字門真1006番地
(87) 国際公開番号	W02012/011246	(74) 代理人	100101683
(87) 国際公開日	平成24年1月26日(2012.1.26)		弁理士 奥田 誠司
審査請求日	平成24年1月24日(2012.1.24)	(74) 代理人	100155000
(31) 優先権主張番号	特願2010-164074 (P2010-164074)		弁理士 喜多 修市
(32) 優先日	平成22年7月21日(2010.7.21)	(74) 代理人	100135703
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 岡部 英隆
早期審査対象出願		(74) 代理人	100125922
			弁理士 三宅 章子
		(74) 代理人	100152663
			弁理士 山口 美里

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】

偏光面の角度が異なる3種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明部と、

前記3種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像し、その際に前記被写体からの戻り光を、偏光子を介さずに受けて輝度値を取得する撮像部と、

前記撮像部から出力される輝度値を示す信号に基づいて、前記偏光面の角度と各画素の輝度値との関係を求め、各画素について前記輝度値が最大となる前記偏光面の角度によって定義される輝度最大角画像、および各画素について前記偏光面の変化にともなう前記輝度値の変動の振幅と輝度平均値との比率によって定義される輝度変調度画像を生成する変動輝度処理部と、

前記輝度最大角画像および前記輝度変調度画像に基づいて、前記被写体の表面に存在するV字グループ内の傾斜面の法線を画素単位で推定する法線推定部と、を備える画像処理装置。

【請求項2】

前記法線推定部は、

前記輝度最大角画像から前記法線の方位角の候補を求める方位角処理部と、

前記輝度変調度画像から前記法線の天頂角を求める天頂角処理部と、

前記法線の方位角の候補から前記法線の1つの方位角を決定する方位角不定性処理部と

、
有している、請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 3】

前記法線推定部によって推定された法線の画像を生成する法線画像生成部を備えている、請求項 1 または 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 4】

前記方位角不定性処理部は、非偏光照明下での画像に相当する非偏光輝度画像、または前記輝度変調度画像に基づいて、前記法線の方位角の候補から 1 つを選択する、請求項 1 から 3 のいずれかに記載の画像処理装置。

【請求項 5】

前記変動輝度処理部は、前記撮像部によって取得された複数の輝度画像の加算平均を行うことにより、前記非偏光輝度画像を生成し、前記方位角不定性処理部に与える、請求項 4 に記載の画像処理装置。

【請求項 6】

前記方位角不定性処理部は、前記非偏光輝度画像の空間的な勾配ベクトル、および、前記輝度変調度画像の空間的な勾配ベクトルの少なくとも一方に基づいて、前記法線の方位角の候補から 1 つを選択する、請求項 4 または 5 に記載の画像処理装置。

【請求項 7】

前記偏光照明部および前記撮像部は、内視鏡に取り付けられている請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 8】

前記偏光照明部は、非偏光の光を、偏光面を可変可能な偏光面変換素子を透過させることによって偏光面が 3 種類以上に順次変化する直線偏光を照射する請求項 1 から 7 のいずれかに記載の画像処理装置。

【請求項 9】

前記偏光照明の光軸と前記撮像部の光軸との間の角度は 15° 以下である請求項 1 から 8 のいずれかに記載の画像処理装置。

【請求項 10】

前記撮像部はモノクロ撮像素子またはカラー撮像素子を有している請求項 1 から 9 のいずれかに記載の画像処理装置。

【請求項 11】

前記被写体の照明方向を仮想的に自在変化させるための照明方向設定部と、
前記照明方向から照明された状態の前記被写体の輝度画像を前記法線推定部の出力に基づいて生成する輝度画像生成部と、
を備える、請求項 1 から 10 のいずれかに記載の画像処理装置。

【請求項 12】

前記偏光照明部は、前記被写体の表面の分光反射率特性が極小になる反射率に相当する波長帯域を透過する分光フィルタを出力段に備える請求項 1 から 11 のいずれかに記載の画像処理装置。

【請求項 13】

前記偏光照明部は、
非偏光の光を放射するリング型照明光源と、
前記リング型照明光源から放射された非偏光の光を前記直線偏光に変換するリング型偏光面変換素子であって、前記直線偏光の偏光面の角度を順次変化させることができるリング型偏光面変換素子と、
を備える請求項 1 から 12 のいずれかに記載の画像処理装置。

【請求項 14】

偏光面の角度が異なる 3 種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射するステップと、
前記 3 種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像し、その際に前記被写体からの戻り光を、偏光子を介さずに受けて輝度

10

20

30

40

50

値を取得するステップと、

前記偏光面の角度と各画素の輝度値との関係を求め、各画素について前記輝度値が最大となる前記偏光面の角度によって定義される輝度最大角画像、および各画素について前記偏光面の变化にともなう前記輝度値の変動の振幅と輝度平均値との比率によって定義される輝度変調度画像を生成するステップと、

前記輝度最大角画像および前記輝度変調度画像に基づいて、前記被写体の表面に存在するV字グループ内の傾斜面の法線を画素単位で推定するステップと、
を含む画像処理方法。

【請求項15】

被写体を照射する直線偏光の偏光面の角度が3種類以上異なる複数の偏光画像を受け取り、画像処理により、前記被写体の表面に存在するV字グループ内の傾斜面の法線を画素単位で推定する画像処理プロセッサであって、

前記複数の偏光画像から前記偏光面の角度と各画素の輝度値との関係を求め、各画素について前記輝度値が最大となる前記偏光面の角度によって定義される輝度最大角画像、および各画素について前記偏光面の变化にともなう前記輝度値の変動の振幅と輝度平均値との比率によって定義される輝度変調度画像を生成するステップと、

前記輝度最大角画像および前記輝度変調度画像に基づいて、前記被写体の表面に存在するV字グループ内の傾斜面の法線を画素単位で推定するステップと、
を実行する画像処理プロセッサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、撮像素子によって取得される2次元輝度画像から得られる情報を越えた表面凹凸情報を得ることができる画像処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

半透明の粘膜で覆われた生体の臓器表面に対して照明を照射して撮像する内視鏡の分野では、表面からの正反射(鏡面反射)を回避しつつ、表面のテクスチャや表面下の血管画像などを確認する必要がある。そのために偏光照明と偏光撮像を用いた偏光内視鏡が提案されている。例えば、特定の偏光成分の光を物体に照射する偏光照射部と、受光部とを備え、前記物体の表面の形状変化を示す形状変化画像を生成する内視鏡が特許文献1に開示されている。この内視鏡の受光部は、物体からの戻り光における前記特定の偏光成分の光、および前記戻り光における前記特定の偏光成分と異なる偏光成分の光を受光する。特許文献1に開示されている撮像部は、RGBのカラーモザイクと、偏光透過軸が異なる3つ方向を向くように配列された偏光子とを備えている。特許文献1には、特に観察者が粘膜の表面凹凸を視認しやすくするため、偏光特性算出部が偏光方位を算出し表面の傾斜情報の2次元分布を生成できると記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2009-246770号公報

【特許文献2】特開平11-313242号公報

【特許文献3】米国特許出願公開第2009/0079982号

【特許文献4】特開2007-86720号公報

【特許文献5】国際公開第2008/149489号

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】Nicolas Lefaudeux, et al : "Compact and robust linear Stokes polarization camera", Proc. SPIE, Vol. 6972, 69720B, Polariz

10

20

30

40

50

ation: Measurement, Analysis, and Remote Sensing VIII (2008);

【非特許文献2】Cary A. Atkinson, Edwin R. Hancock: "Recovery of surface orientation from diffuse polarization", IEEE Transaction of image processing, Vol 15, No. 6, June 2006, PP1653-1664.

【非特許文献3】宮崎大輔、池内克史:「偏光と放物的曲面の解析による透明物体の表面形状計測」、情報処理学会論文誌、Vol. 44, No. SIG9、July 2003、86-93

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明者らの実験によると、引用文献1に開示されているような撮像部では、1画素毎の正しい偏光情報を得ることができない。また、被写体の空間周波数との干渉によって偏光画像にモアレ発生が著しく、さらにカラーモザイクの一部が偏光モザイク化されるため、再現されるフルカラー画像の画質も劣化する。

【0006】

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、その主な目的は、画素単位で偏光情報を得ることができ、その偏光情報に基づいて被写体表面の凹凸情報を取得する画像処理装置を提供することにある。

20

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の画像処理装置は、偏光面の角度が異なる3種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明部と、前記3種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像し、その際に前記被写体からの戻り光を、偏光子を介さずに受けて輝度値を取得する撮像部と、前記撮像部から出力される輝度値を示す信号に基づいて、前記偏光面の角度と各画素の輝度値との関係を求め、各画素について前記輝度値が最大となる前記偏光面の角度によって定義される輝度最大角画像、および各画素について前記偏光面の变化にともなう前記輝度値の変動の振幅と輝度平均値との比率によって定義される輝度変調度画像を生成する変動輝度処理部と、前記輝度最大角画像および前記輝度変調度画像に基づいて、前記被写体の表面に存在するV字グループ内の傾斜面の法線を画素単位で推定する法線推定部とを備える。

30

【0008】

ある実施形態において、前記法線推定部は、前記輝度最大角画像から前記法線の方位角の候補を求める方位角処理部と、前記輝度変調度画像から前記法線の天頂角を求める天頂角処理部と、前記法線の方位角の候補から前記法線の1つの方位角を決定する方位角不定性処理部と有している。

【0009】

ある実施形態において、前記法線推定部によって推定された法線の画像を生成する法線画像生成部を備えている。

40

【0010】

ある実施形態において、前記方位角不定性処理部は、非偏光照明下での画像に相当する非偏光輝度画像、または前記輝度変調度画像に基づいて、前記法線の方位角の候補から1つを選択する。

【0011】

ある実施形態において、前記変動輝度処理部は、前記撮像部によって取得された複数の輝度画像の加算平均を行うことにより、前記非偏光輝度画像を生成し、前記方位角不定性処理部に与える。

【0012】

50

ある実施形態において、前記方位角不定性処理部は、前記非偏光輝度画像の空間的な勾配ベクトル、および、前記輝度変調度画像の空間的な勾配ベクトルの少なくとも一方に基づいて、前記法線の方位角の候補から1つを選択する。

【0013】

ある実施形態において、前記偏光照明部および前記撮像部は、内視鏡に取り付けられている。

【0014】

ある実施形態において、前記偏光照明部は、非偏光の光を、偏光面を可変可能な偏光面変換素子を透過させることによって偏光面が3種類以上に順次変化する直線偏光を照射する。

10

【0015】

ある実施形態において、前記偏光照明の光軸と前記撮像部の光軸との間の角度は15°以下である。

【0016】

ある実施形態において、前記撮像部はモノクロ撮像素子またはカラー撮像素子を有している。

【0017】

ある実施形態において、前記被写体の照明方向を仮想的に自在変化させるための照明方向設定部と、前記照明方向から照明された状態の前記被写体の輝度画像を前記法線推定部の出力に基づいて生成するとを備える。

20

【0018】

ある実施形態において、前記偏光照明部は、前記被写体の表面の分光反射率特性が極小になる反射率に相当する波長帯域を透過する分光フィルタを出力段に備える。

【0019】

ある実施形態において、前記偏光照明部は、非偏光の光を放射するリング型照明光源と、前記リング型照明光源から放射された非偏光の光を前記直線偏光に変換するリング型偏光面変換素子であって、前記直線偏光の偏光面の角度を順次変化させることができるリング型偏光面変換素子とを備える。

【0020】

本発明の画像処理方法は、偏光面の角度が異なる3種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射するステップと、前記3種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像し、その際に前記被写体からの戻り光を、偏光子を介さずに受けて輝度値を取得するステップと、前記偏光面の角度と各画素の輝度値との関係を求め、各画素について前記輝度値が最大となる前記偏光面の角度によって定義される輝度最大角画像、および各画素について前記偏光面の角度による前記輝度値の変動の振幅と輝度平均値との比率によって定義される輝度変調度画像を生成するステップと、前記輝度最大角画像および前記輝度変調度画像に基づいて、前記被写体の表面に存在するV字グループ内の傾斜面の法線を画素単位で推定するステップとを含む。

30

【0021】

本発明の画像処理プロセッサは、被写体を照射する直線偏光の偏光面の角度が3種類以上異なる複数の偏光画像を受け取り、画像処理により、前記被写体の表面に存在するV字グループ内の傾斜面の法線を画素単位で推定する画像処理プロセッサであって、前記複数の偏光画像から前記偏光面の角度と各画素の輝度値との関係を求め、各画素について前記輝度値が最大となる前記偏光面の角度によって定義される輝度最大角画像、および各画素について前記偏光面の角度による前記輝度値の変動の振幅と輝度平均値との比率によって定義される輝度変調度画像を生成するステップと、前記輝度最大角画像および前記輝度変調度画像に基づいて、前記被写体の表面に存在するV字グループ内の傾斜面の法線を画素単位で推定するステップとを実行する。

40

【発明の効果】

【0022】

50

本発明の画像処理装置では、偏光面の角度が異なる3種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明部と、3種類以上の直線偏光の各々によって被写体が照射されているときに、順次、被写体を撮像し、その際に前記被写体からの戻り光を、偏光子を介さずを受けて輝度値を取得する撮像部とを備えているため、特別な偏光撮像素子を新たに開発する必要なしにカラー画像と同時に輝度最大角画像、輝度変調度画像に相当する情報を取得することができる。そして、これらの画像から表面凹凸の法線情報を得る。通常のカラ撮像素子をそのまま利用することができるので、高コストの偏光撮像素子を使う必要もモアレなどにより画質を劣化させることもなく、表面凹凸を視認するための情報を取得することができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0023】

【図1A】本発明の画像処理装置の構成例を示す図

【図1B】偏光照明の偏光状態を示す図

【図1C】本発明の実施形態1における画像処理装置の構成を示す図

【図2】偏光面制御素子の動作を示す図

【図3】偏光面角度の定義図

【図4】(a)および(b)は、それぞれ、本発明の実施形態1で使用され得る撮像素子における光感知セル配置例を示す図

【図5】カラー画像と偏光画像を取得するための別の画像処理装置の構成を示す図

【図6】図5の画像処理装置における偏光撮像素子の光感知セル配置を示す図

20

【図7A】偏光照明の偏光面回転による輝度パターン画像の変化を示す図

【図7B】偏光照明の偏光面回転による輝度パターン画像の変化を示す模式図

【図8】(a)および(b)は、入射光が被写体表面に対して直上から入射して1回反射をする図

【図9】横軸を入射角とした際のP波とS波のエネルギーのフレネル反射率を示すグラフ

【図10A】偏光照明の偏光面回転による画素ごとの輝度変動を示すグラフ

【図10B】図10Aのグラフに示すデータの取得に用いたサンプルの表面形状を示す写真を示す図

【図10C】図10Bの表面形状を模式的に表す図

【図11】(a)は、偏光照明の偏光方向を示す図、(b)は偏光照明による輝度変動の様子を示す図

30

【図12】(a)および(b)は多重反射による偏光反射光の輝度変動の説明図

【図13】(a)、(b)、(c)は、被写体表面のグループを直上から見た図

【図14A】グループに偏光が $I = 0^\circ$ にて入射する場合の図

【図14B】図14Aの状態グループ方位角に平行、垂直方向に反射光が発生する図

【図15】グループに対して非偏光が入射しグループ方位角に平行、垂直方向に反射光が発生する図

【図16】本発明の実施形態1に関する画像処理プロセッサの構成図

【図17】4種類の偏光照明に対応する偏光輝度サンプルから余弦関数フィッティングをする図

40

【図18A】表面法線のXYZ成分と方位角、天頂角との関係を示す図

【図18B】表面法線Nと光源ベクトルL、視線ベクトルV、2等分ベクトルHとの関係を示す図

【図19A】法線の方位角の 180° の不定性解決に輝度勾配ベクトルを利用する図

【図19B】法線の方位角の 180° の不定性解決に輝度変調度勾配ベクトルを利用する図

【図19C】法線の方位角の不定性を解決するフローチャート

【図20A】入射角とフレネル反射による偏光度の関係を示す理論値のグラフ

【図20B】天頂角の探索範囲を示す図

【図20C】天頂角を決定するフローチャート

50

【図 2 1】(a) は、被写体にレンチキュラーレンズ板を使った実験結果を示す図、(b) は、(a) の一部を拡大し模式的に表現した図

【図 2 2】レンチキュラーレンズ板の断面における 1 回反射と 2 回反射の発生現象を説明する図

【図 2 3】レンチキュラーレンズ板の輝度と輝度変調度 Y D の実験結果を示す図

【図 2 4 A】星型グループ被写体例を示す図

【図 2 4 B】図 2 5 A を模式的に表現した図

【図 2 5】星型被写体のグループの法線ベクトルの方位角 推定結果を示す図

【図 2 6】星型被写体のグループの法線ベクトルの天頂角 推定結果を示す図

【図 2 7 A】星型被写体の法線画像に 4 方向の照明を照射した画像生成実験結果を示す図

10

【図 2 7 B】図 2 7 A を模式的に表現した図

【図 2 8】本発明の実施形態 2 における画像処理装置の構成を示す図

【図 2 9】最適化された分光フィルタの特性を示す図

【図 3 0 A】本発明の実施形態 3 の構成を示す図

【図 3 0 B】本発明の実施形態 3 の外観を示す図

【発明を実施するための形態】

【0024】

本発明による画像処理装置の例は、図 1 A に示すように、偏光照明部 1 2 0 と、撮像部 1 4 0 と、変動輝度処理部 1 6 0 と、法線推定部 1 7 0 とを備えている。変動輝度処理部 1 6 0 および法線推定部 1 7 0 は、画像処理部 1 5 0 に含まれている。

20

【0025】

偏光照明部 1 2 0 は、偏光面の角度が異なる 3 種類以上の直線偏光を、順次、被写体 1 0 0 に照射する。本発明が撮像の対象とする被写体 1 0 0 の表面には、複数の溝（以下、「グループ」と称する）1 0 0 a が存在する。被写体 1 0 0 が例えば生体の臓器表面には、複数のグループが観察される。直線偏光は、被写体 1 0 0 の表面に存在するグループ 1 0 0 a によって反射され、撮像部 1 4 0 に入射する。撮像部 1 4 0 は、3 種類以上の直線偏光の各々によって被写体 1 0 0 が照射されているときに、順次、被写体 1 0 0 を撮像し、その際に前記被写体からの戻り光を、偏光子を介さずに受けて輝度値を取得する。

【0026】

本明細書において、「戻り光」とは、偏光照明部 1 2 0 から出た光のうち、被写体 1 0 0 の表面によって反射され、撮像部 1 4 0 に入射する光を意味する。照明光源 1 2 0 から光によって被写体 1 0 0 の表面に存在するグループ 1 0 0 a の内部を照らすためには、偏光照明部 1 2 0 の光軸と撮像部 1 4 0 の光軸との間の角度を大きくしすぎないことが好ましい。偏光照明部 1 2 0 の光軸と撮像部 1 4 0 の光軸との間の角度は、例えば 1 5 ° 以下に設定される。

30

【0027】

図 1 B は、偏光面の角度が異なる 3 種類の直線偏光の偏光方向を模式的に示す斜視図である。図示されている 3 つの偏光状態 1 0、1 2、1 4 は、それぞれ、角度の異なる偏光面を有している。図 1 B の各偏光状態 1 0、1 2、1 4 を模式的に示すサークルの内部には、双方向の矢印が記載されている。この矢印は、直線偏光の偏光面を規定する電場ベクトルの振動方向を示している。

40

【0028】

図 1 B には、右手系の X Y Z 座標を示している。本明細書では、撮像部 1 4 0 によって取得される画像面内に X 軸および Y 軸を設定し、Z 軸の向きを視線（光軸）方向に設定する。直線偏光の偏光面は、振動する電場ベクトルに平行な、光軸を含む平面である。上記の座標系を採用する場合、直線偏光の電場ベクトルの振動方向は X Y 平面に平行である。このため、偏光面の角度（ θ ）は、X 軸の正方向に対して偏光方向（電場ベクトルの振動方向）が形成する角度によって規定される。この角度 θ については、後に図 3 を参照して、より詳しく説明する。

【0029】

50

本発明では、偏光照明部 120 から、偏光面の角度が異なる 3 種類以上の直線偏光が、順次、被写体 100 に照射され、撮像部 140 が、3 種類以上の直線偏光の各々によって被写体 100 が照射されているときに、順次、被写体 100 を撮像し、その際に前記被写体からの戻り光を、偏光子を介さずに受けて輝度値を取得する。

【0030】

再び図 1A を参照する。変動輝度処理部 160 は、撮像部 140 から出力される輝度値を示す信号に基づいて、偏光面の角度と各画素の輝度値との関係を求め、「輝度最大角画像」および「輝度変調度画像」を生成する。本明細書において、「輝度最大角画像」とは、撮像によって得られた画像を構成する各画素について、輝度値が最大となる偏光面の角度によって定義される画像である。例えば、ある座標 (x、y) によって特定される画素 P (x、y) の輝度値が、角度 45° の偏光面を有する直線偏光によって被写体 100 が照射されたときに最大になる場合、その画素 P (x、y) に対して、輝度最大角である 45° の値が設定される。1 つの「輝度最大角画像」は、このような輝度最大角の値を各画素に設定することによって構成される。一方、「輝度変調度画像」とは、各画素について偏光面の変化にともなう輝度値の変動の振幅と輝度平均値との比率によって定義される画像である。ある画素 P (x、y) における輝度変調度が 0.3 であるならば、この画素 P (x、y) に対して 0.3 の値が設定される。1 つの「輝度変調度画像」は、このような輝度変調度の値を各画素に設定することによって構成される。

【0031】

このように、本明細書における「画像」とは、人間の視覚によって直接的に認識される輝度画像を意味するだけでなく、複数の画素の各々に与えられた数値の配列を広く含むものとする。例えば 1 つの「輝度最大角画像」を表示する場合、「輝度最大角画像」の各画素に設定されている輝度最大角の値に応じた明度で画像を表示することができる。このようにして表現された「輝度最大角画像」は、人間の視覚によって認識できる明暗のパターンを含んでいるが、これは、被写体の輝度を示す通常の輝度画像とは異なるものである。また、本明細書では、簡単のため、各種の「画像」を示すデータそのものを「画像」と称する場合がある。

【0032】

図 1A に示される法線推定部 170 は、輝度最大角画像および輝度変調度画像に基づいて、被写体 100 の表面に存在する V 字グループ 100a 内の傾斜面の法線を画素単位で推定する。V 字グループ 100a を真正面から観察するとき、V 字グループ 100a 内の傾斜面の法線の方位角は、V 字グループ 100a が延びる方向に垂直である。本発明の好ましい実施形態では、まず、V 字グループ 100a の方向、すなわち、V 字グループ 100a 内の傾斜面の法線の方位角を決定する。そして、V 字グループ 100a 内の傾斜面の法線の天頂角を決定する。本発明における法線推定部 170 が、どのような原理に基づいて V 字グループ 100a 内の傾斜面の法線を画素単位で推定するかについては、後に詳しく説明する。

【0033】

(実施形態 1)

図 1C は、本発明の実施形態 1 における画像処理装置の全体構成を模式的に示す図である。

【0034】

本画像処理装置は、内視鏡 101 と制御装置 102 とを備える。内視鏡 101 は、撮像センサを有する先端部 113、ライトガイド 105 と映像信号線 111 を有する挿入部 103 とを有している。内視鏡 101 の挿入部 103 は、図示されているようにも左右に長く、フレキシブルに曲がり得る構造を有している。ライドガイド 106 は曲がった状態でも光を伝達することができる。なお、内視鏡には、本実施形態のようにフレキシブルな挿入部 103 を有する軟性鏡と、フレキシブルではない挿入部を有する硬性鏡が存在する。内視鏡のもう一つのタイプである硬性鏡は、挿入部 103 はリレー光学系などを用いて後方に位置する撮像素子へ戻り光を導く構造を有している。本発明は、軟性鏡と硬性鏡のいず

れに対しても適用可能である。

【 0 0 3 5 】

制御装置 1 0 2 には光源 1 0 4 と画像処理プロセッサ 1 0 8 と同期装置 1 1 2 とが含まれる。光源 1 0 4 から発した白色非偏光の光は、ライトガイド 1 0 5 を経由して先端部 1 1 3 の偏光面制御素子 1 0 6 に導かれる。偏光面制御素子 1 0 6 は、例えば偏光板と液晶素子から構成されており、電圧により非偏光を任意の偏光面の直線偏光へと変換できる。

【 0 0 3 6 】

偏光面制御素子 1 0 6 は、液晶を用いた偏光面を回転させることが可能なデバイスである。その構成例は、特許文献 2、3 ならびに非特許文献 1 等に既に開示されている。偏光面制御素子 1 0 6 は、例えば強誘電性液晶と、偏光フィルムと、1 / 4 波長板などを組み合わせた電圧印加型液晶デバイスで構成され得る。偏光面制御素子 1 0 6 は、光源 1 0 4 で発生し、ライトガイド 1 0 5 を通過した非偏光の光を、任意の角度に偏光面を有する直線偏光へと変換する。

【 0 0 3 7 】

同期装置 1 1 2 は、偏光面制御素子 1 0 6 に偏光面回転の指示を送って照明の偏光面を回転させる。この偏光照明は、照明レンズ 1 0 7 を通って被写体に照射される。同期装置 1 1 2 は同時に撮像素子 1 1 0 に撮影開始信号を送って映像を取得し、以上の処理を複数回実施する。

【 0 0 3 8 】

被写体からの戻り光は、撮影レンズ 1 0 9 を通って撮像素子 1 1 0 上に結像する。この撮像素子 1 1 0 はモノクロ撮像素子、あるいはカラーモザイクを有する単板カラー撮像素子であってよい。撮像映像の信号は映像信号線 1 1 1 を経由して画像プロセッサ 1 0 8 に到達する。

【 0 0 3 9 】

本実施形態では、光源 1 0 4、ライトガイド 1 0 5、偏光面制御素子 1 0 6、および照明レンズ 1 0 7 によって図 1 A の偏光照明部 1 2 0 が実現されている。また、撮影レンズ 1 0 9 および撮像素子 1 1 0 によって図 1 A の撮像部 1 4 0 が実現されている。図 1 A の変動輝度処理部 1 6 0 および法線推定部 1 7 0 は、画像プロセッサ 1 0 8 によって実現されている。

【 0 0 4 0 】

次に、図 2 を参照して、偏光面制御素子 1 0 6 の動作を説明する。

【 0 0 4 1 】

偏光面が 0 ° 状態 2 0 3 で第 1 の画像を撮像し、偏光面が 4 5 ° 状態 2 0 4 で第 2 の画像を撮像し、偏光面が 9 0 ° 状態 2 0 5 で第 3 の画像を撮像し、偏光面が 1 3 5 ° 状態 (2 0 6 で第 4 の画像を撮像する。この角度は、4 5 ° 以外でもよく、1 8 0 ° を 3 以上の整数で除算した角度であればかまわない。撮像素子が高感度である場合、あるいは照明の照度が高い場合には露光時間が短縮できるので、回転角をより細かく設定できる。

【 0 0 4 2 】

偏光面の回転に要する時間は、上記文献によれば、動作速度は 2 0 (m s) 程度の遅いものから 4 0 ~ 1 0 0 (μ s e c) 程度的高速型まで存在する。高速型の液晶を用いてかつこの時間での撮像が可能な程度まで撮像素子の感度を上げれば、4 方向の偏光回転を実施して撮影しても、動画映像の撮影に十分な性能を持たせることが可能である。

【 0 0 4 3 】

図 1 C から明らかなように、照明レンズ 1 0 7 の光軸と撮影レンズ 1 0 9 の光軸は略等しい。これは内視鏡での観察時に被写体上になるべく影を発生させないためである。

【 0 0 4 4 】

なお、内視鏡の通常の使い方では、非偏光を被写体に照射したい場合が多い。本発明では、例えば上記第 1 の画像から第 4 の画像までの別々の偏光画像を加算することによって非偏光の平均輝度画像を生成することができる。本発明者らの実験によると、偏光面の角度 I が等間隔の複数の偏光を被写体に照射したときの戻り光の画像を加算すると、偏光

10

20

30

40

50

の効果が打ち消されるため、結果的に非偏光照明を用いたのと同様の効果が得られることが判明している。

【0045】

図3は、偏光照明における偏光面の角度 I の定義を示す図である。前述したように、被写体に向かって $X - Y$ 座標系を設定している。偏光面の角度 I は、 X 軸負向きを 0° として Y 軸正向きを正向に定義するものとする。角度 I が反射において保存される場合には、反射光の偏光面の角度と入射光の偏光面の角度は同一となる。偏光面の角度 I を増加または減少させていくと、 180° の周期で同一の偏光状態が繰り返される。すなわち、偏光面の角度 I を変数とする関数は、 180° の周期を有する周期関数である。なお、本明細書において、偏光照明における偏光面の角度 I を、「入射偏光面角度」と称する場合がある。

10

【0046】

図4(a)および(b)は、それぞれ、撮像素子110の撮像面の構成例を示す図である。図4(a)に示すように撮像面には、複数の光感知セル(フォトダイオード)が行および列状に規則的に配列されている。カラー撮像の場合には、図4(b)に示すにRGB3種の波長を透過するカラーモザイクフィルタが設置される。個々の光感知セルは、光電変換により、入射した光の量に応じて電気信号を生成する。このように撮像素子110としては、従来の輝度画像用のものを利用できる。本実施形態では、照明光を直線偏光として、その偏光面を回転させながら撮像することによって被写体の表面情報を取得する。

【0047】

カラー画像と偏光画像を同時取得する方法では、本発明のように偏光取得を時間軸に展開する方法のほか、カラー撮影を時間軸上に展開するいわゆるカラー面順次方式も考えることができる。

20

【0048】

図5は、このような別の構成を示す図である。図1Cの構成と異なるのは、光源104からの非偏光白色が回転カラーフィルタ501によってカラー照明となり、時間的に順次照射されることである。ライトガイド105は、このカラー照明をそのまま透過する。被写体からの戻り光は一般に偏光しているが、撮像素子はモノクロ画像用でよい。このため、例えば特許文献4に記載されているようなパターン偏光子を用いたモノクロ偏光画像撮像素子を適用できる。

30

【0049】

図6は、このようなパターン偏光子を配置したモノクロ偏光画像撮像素子の例である。このような撮像素子は、特許文献4に開示されているフォトニック結晶を用いた偏光イメージング素子によって構成され得る。

【0050】

このモノクロ偏光撮像素子のパターン偏光子は波長依存性を有するため、RGBの全波長帯での偏光画像は得られない。例えばパターン偏光子をBの波長域に対応するもので設計すると、Bの偏光画像しか得られない。さらに偏光画像、特に偏光度および偏光角度を得るためには、偏光モザイクの空間的処理画像にて 2×2 のセルでの空間的な一種の差分操作を実施することになり、その影響でB偏光画像にはモアレが発生することが避けられない。このパターン偏光子を用いた場合のモアレ発生は、単なる画素サンプリングによるモアレとは異なり上記のように偏光画像を得るための空間的画像処理に主原因があり本願発明者らの実験によれば通常の画素サンプリングのモアレ発生にくらべ非常に著しいことが判明している。このように図5の構成においては偏光観察における画質が大きく劣化してしまう。

40

【0051】

本実施形態では、通常の撮像素子を用いて偏光情報を1画素単位で得ることができ、この問題が回避される。すなわち、本実施形態における撮像部は、偏光子を介することなく、戻り光を受け、輝度値を示す信号を出力する。さらにカラーRGB各波長成分にて偏光画像が得られる。コスト高となる偏光撮像素子も不要となる。

50

【 0 0 5 2 】

次に偏光照明の偏光面を回転した時の輝度の変動について説明する。以下の説明では、被写体は生体臓器粘膜ではなくプラスチックや木など一般的な材質の物体を例にとる。これは、粘膜表面での反射が基本的には鏡面反射であるためであり、反射は被写体の材質に依存することなく物理現象として同一とみなせるためである。

【 0 0 5 3 】

図 7 A および図 7 B は、本発明者らが表面の滑らかな陶器製コップと表面に微細凹凸を有する木の板を被写体として偏光撮像をした画像を示す。図 7 A の左側に位置する 2 つの画像は、入射偏光面角度 $I = 0^\circ$ の偏光照明で被写体が照射されているときの輝度画像である。一方、図 7 A の右側に位置する 2 つの画像は、入射偏光面角度 $I = 90^\circ$ の偏光照明で被写体が照射されているときの輝度画像である。

10

【 0 0 5 4 】

図 7 B の 4 つの画像は、それぞれ、図 7 A の 4 つの画像を模式的に描いた図である。図 7 A および図 7 B の上段に位置する画像から明らかなように、表面が滑らかな陶器では、偏光照明の偏光を変化させても輝度パターンの変化はあまり観測されなかった。しかし、多くの凹凸が存在する木の板では、図 7 A および図 7 B の下段に位置する画像から明らかなように、偏光照明の偏光面の角度 I を変化させると、観測される輝度画像に大きな変化があることが判明した。このような差は、以下のように説明される。

【 0 0 5 5 】

図 8 は、表面 8 0 1 に対して入射角がゼロに近い偏光が入射して直接反射をカメラで観測する様子を示している。図 8 (a)、(b) では、入射する偏光の偏光面が 90° 異なっている。しかし、反射光の直線偏光は、光の進行方向が変わるだけでエネルギーである輝度は入射光とほぼ同一である。これは以下の理由による。

20

【 0 0 5 6 】

図 9 は、フレネル理論による鏡面反射率の入射角依存性を示すグラフである。横軸が入射角、縦軸がフレネル反射率を示す。屈折率は $N_2 = 1.8$ を想定した。垂直入射とみなせる $0^\circ \sim 15^\circ$ 付近の入射角度は、範囲 9 0 1 に相当する。グラフから読み取れるように、この入射角範囲 9 0 1 では、P 波も S 波も反射率がほぼ同一である。したがって、偏光がほぼ垂直に表面に入射した場合には、表面に対する P 波と S 波という偏光の区別が無くなって同じ挙動で反射する。なお、この事実は、屈折率 $n = 1.4 \sim 2.0$ の自然物体

30

【 0 0 5 7 】

以上のように、滑らかな表面に対して入射角度がほぼゼロで偏光が入射し、それが 1 回反射して観測される場合、偏光照明の偏光面を角度 I だけ回転させても反射光のエネルギーが変わらないため、観測される輝度 Y は不変となる。

【 0 0 5 8 】

図 1 0 A は、木の板の表面に入射する光 (偏光照明) の偏光面を変化させながら輝度画像を撮影した場合における同一画素の輝度変動を示すグラフである。図 1 0 B は、撮像対象となる木の板の輝度画像 (非偏光照明時の輝度画像) である。図 1 0 C は、図 1 0 B に示される木の板の表面の凹凸を模式的に示した図である。

40

【 0 0 5 9 】

図 1 1 は、偏光照明の偏光面の角度 I が 0° 、 45° 、 90° 、 135° のときに得られた輝度画像の特定の画素における輝度 Y の変動を示している。このグラフから、輝度 Y は各偏光照明の偏光面の角度 I に対して周期的に変動を示すことがわかる。木の板の表面は滑らかではなく多くのグループが存在し、そこで入射光が多重反射する。そのため輝度 Y は、照明の偏光角度 I に依存して変動を起こすのだと考えられる。この理由を詳述する。

【 0 0 6 0 】

図 1 2 は、表面にグループ 1 2 0 1 が形成され、その斜面で 2 回の多重反射が発生している様子を示す。この多重反射は、表面の凹凸が多い被写体表面、例えば布、木材、人の

50

肌、皮など様々な自然物で発生していると考えられる。1回目と2回目の反射の性質が重要となり、3回目以降の多重反射は輝度が小さくほぼ無視できるので2回反射のみを考える。一般に反射の性質を鏡面反射と拡散反射に分離した場合、

- 1) 1回目：拡散反射 2回目：鏡面反射
- 2) 1回目：拡散反射 2回目：拡散反射
- 3) 1回目：鏡面反射 2回目：拡散反射
- 4) 1回目：鏡面反射 2回目：鏡面反射

の4通りの現象が想定できる。

【0061】

このうち、1)と2)は最初の反射によって拡散光として非偏光となり、あらゆる方向に反射する。しかし実験によると被写体が着色しており輝度が暗い場合はこの1回目の拡散反射成分は比較的弱い。これは被写体の内部への光の浸透が少ないことを意味し、フレネル理論によればそれと相補的な3)4)の鏡面反射の現象が優位となる。また、3)のように2回目を拡散反射と考えた場合には、その入射と反射の幾何学的関係から、当然、4)も同時に発生していることがわかる。この場合には、偏光度、輝度のいずれの基準でも、鏡面反射が主たる輝度成分となる。

10

【0062】

以上から、4)の1回目も2回目も鏡面反射という現象を主要な現象として考えればよい。グループの斜面の表面は完全に滑らかではなく、照明光も完全な平行光ではない場合には、鏡面反射といえども理想的な鏡面とは異なる。このため実験によれば正反射条件を完全に満たさない位置でも、この2回反射は比較的容易に観測、撮像でき、その偏光特性は鏡面反射で起因するものであることが確認できた。

20

【0063】

次に図12(a)、(b)を参照する。図12(a)および図12(b)には、それぞれ、被写体の表面に存在するグループ1201の一部が示されている。グループ1201の少なくとも一部は、被写体表面上において、一方向に延長している。この延長方向を「主軸方向」と称する。現実のグループ1201は、直線的に伸びている必要はなく、曲線的に伸びていてもよい。曲線的に伸びているグループであっても、その一部は、近似的に主軸方向に伸びる直線的なグループとみなすことができる。

30

【0064】

なお、被写体表面に存在するグループ1201の断面は、V字形状によって近似することができる。このため、生体の臓器表面に存在するようなグループは、「V字グループ」と称することができる。このようなV字グループの断面は、厳密な意味で「V字」である必要はなく、曲面を含んでいてもよい。概略的に「V字型」の断面を有するグループが被写体表面に存在すれば、以下の説明が適用可能である。後に参照する図22に示されているような、隣接する2つの凸面に挟まれた凹部が紙面に垂直な方向の伸びる構造も、V字グループの一例である。

【0065】

図12(a)で示すように、グループの主軸方向1202に対して垂直に入射する偏光照明はP波である。再び図9を参照すると、被写体のグループ1201の傾斜角が45°程度と仮定して、そこに真上から照明が入射すると、フレネル反射率のグラフから読み取れるとおり、この入射角範囲90°では、S波にくらべてP波の反射率が極めて弱くなる。さらにP波は1回および2回反射を経由する間にさらに弱くなる。一方図12(b)で示すS偏光は、2回の反射を経てもそれほど弱まらない。その結果、グループに対してP波となる入射偏光面においては、反射光はエネルギー的にも極めて弱くなり、輝度が低下する。一方、S波となる入射偏光面においては、反射光はそれほどエネルギーが減衰せず輝度も高い。

40

【0066】

以上のように表面グループを仮定すれば、実験にて得られた入射光の偏光面の回転による反射光の輝度変化が説明できる。

50

【 0 0 6 7 】

グループにおける偏光照明の2回反射によって得られる輝度Yの変化の関数形が、非偏光を入射した場合と実質的に同等の変動をすることを本願発明者は見出した。以下、この点を説明する。

【 0 0 6 8 】

図13(a)は、被写体表面のグループを表面の直上から見た図である。これは図12を上から見ることに相当する。図13(a)には、撮像画像面に平行なX-Y座標が記載されている。グループ1201の主軸方向1202に垂直な方向とX軸の正部分との間に形成される角度がθで示されている。図13(b)は、被写体に入射する偏光照明の偏光面の角度Iを示しており、図13(c)は、図13(a)の内容と図13(b)の内容を1つに表示した図である。以降、グループの向きを角度θにて指定するものとする。これはグループの主軸の方位角と90°異なっている。

10

【 0 0 6 9 】

図14Aは、簡単のためI=0として偏光面がX軸に合致している場合にグループに対して垂直と水平方向に分配される入射光エネルギーを説明するための図である。グループの方向は、角度θによって特定されている。入射光が図12に示すようにグループ内で2回反射を起こすと仮定する。このとき、ある角度φの偏光面を有する直線偏光の輝度を観測する。図14Bは、輝度が観測される直線偏光の角度φを示す図である。角度θにおける偏光輝度をI(θ, φ)とすると、これは以下の式で表現できる。ただし、グループの方向(θ)および主軸方向(θ/2)のエネルギー反射率を、それぞれ、AおよびBとしている。

20

【 数 1 】

$$I(\psi, \varphi) = A \cos^2 \psi \cos^2(\psi - \varphi) + B \sin^2 \psi \sin^2(\psi - \varphi) \quad (\text{式1})$$

【 0 0 7 0 】

この偏光輝度I(θ, φ)は、式1の変形をすることにより、以下の式2で表される。この式2から、偏光輝度I(θ, φ)はθについて周期π/2で変動することがわかる。

【 数 2 】

$$I(\psi, \varphi) = \frac{(A+B)}{4} + \frac{(A-B)}{4} \cos 2\psi + \left[\frac{(A+B)}{8} + \frac{(A-B)}{4} \cos 2\psi + \frac{(A+B)}{8} \cos 4\psi \right] \cos 2\varphi + \left[\frac{(A-B)}{4} \sin 2\psi + \frac{(A+B)}{8} \sin 4\psi \right] \sin 2\varphi \quad (\text{式2})$$

30

【 0 0 7 1 】

ここで、入射偏光面角度を0°でなく、一般的なIとする。以上の議論から、入射偏光面角度がI、観測角度がφの場合の偏光輝度は、以下の式で与えられる。

40

【数3】

$$\begin{aligned}
 & I(\psi - \psi_I, \varphi - \psi_I) \\
 &= \frac{(A+B)}{4} + \frac{(A-B)}{4} \cos 2(\psi - \psi_I) + \\
 &= \left[\frac{(A+B)}{8} + \frac{(A-B)}{4} \cos 2(\psi - \psi_I) + \frac{(A+B)}{8} \cos 4(\psi - \psi_I) \right] \cos 2(\varphi - \psi_I) \quad (\text{式3}) \\
 &+ \left[\frac{(A-B)}{4} \sin 2(\psi - \psi_I) + \frac{(A+B)}{8} \sin 4(\psi - \psi_I) \right] \sin 2(\varphi - \psi_I)
 \end{aligned}$$

10

【0072】

この式で示される偏光輝度は特定方向の観測角度において観測される偏光輝度であるから、非偏光の平均輝度の観測を行う場合には、式3に示される偏光輝度を観測角度について1周期積分すればよい。1周期とは $180^\circ = \pi$ である。この積分によって関する正弦関数、余弦関数はゼロになる。すなわち、入射偏光面角 ψ_I の偏光が角度 ψ で特定されるグループに入射し、2回反射する場合に観測される輝度 $PY(\psi_I, \psi)$ は、以下の式のように ψ_I について 180° の周期関数で表現される。

【数4】

$$\begin{aligned}
 PY(\psi_I, \psi) &= \int_0^\pi I(\psi - \psi_I, \varphi - \psi_I) d\varphi \\
 &= \frac{A+B}{4} + \frac{A-B}{4} \cos 2(\psi - \psi_I) \quad (\text{式4})
 \end{aligned}$$

20

【0073】

輝度 $PY(\psi_I, \psi)$ が式4に示すような ψ_I の余弦関数となる場合、輝度 $PY(\psi_I, \psi)$ は、 $\psi = \psi_I$ で最大値をとる。このため、輝度 $PY(\psi_I, \psi)$ が最大となる角度 $\psi = \psi_I$ を輝度最大角 YPH と称する。また変動の振幅については余弦関数項が $+1 \sim -1$ に変動することを考慮し、輝度変動の変調度を考えることができる。この比率を輝度変調度 YD と称することとする。この輝度変調度 YD は以下の式で得られる。

30

【数5】

$$YD = \frac{MAX - MIN}{MAX + MIN} = \frac{B - A}{A + B} \quad (\text{式5})$$

【0074】

なお、輝度最大角 YPH および輝度変調度 YD は、画素単位で与えられる。このため、画像を構成する各画素に輝度最大角 YPH を設定した画像を「輝度最大角画像 YPH 」と称する。同様に、画像を構成する各画素に輝度変調度 YD を設定した画像を「輝度変調度画像 YD 」と称する。

40

【0075】

この輝度最大角 YPH および輝度変調度 YD は、それぞれ、通常の偏光観測における偏光主軸角および偏光度に対応する量であるが、その量的関係は明確ではなかった。そこで、両者の関係を明確にするため、非偏光の照明をグループに入射した場合の2回反射の偏光状態について検討する。

【0076】

図15は、非偏光の光1501がグループに入射する場合の図である。非偏光の光1501が ψ の角度を有するグループに入射する場合には、エネルギーはグループの主軸方向とその垂直方向に均等に分配されると考えられるため、エネルギー反射率 A, B を乗じた

50

エネルギーがグループの主軸方向とその垂直方向に射出される。 の角度で偏光観測した場合、図 1 2 における説明から、偏光輝度はグループの主軸方向において最大値（反射率 B）をとり、主軸の垂直方向にて最小値（反射率 A）をとる。偏光度 D O P を計算すると、

【数 6】

$$DOP = \frac{MAX - MIN}{MAX + MIN} = \frac{B - A}{A + B} \quad (\text{式6})$$

となる。

10

【0077】

上記の議論から、偏光照明における偏光面の角度 I を回転させた場合の輝度変動の位相角である輝度最大角 Y P H と非偏光照明時の偏光主軸とは一致することが判明した。同様に偏光照明における偏光面の角度 I を回転させた場合の輝度変動の振幅である輝度変動 Y D と非偏光照明時の偏光度 D O P とが一致することも判明した。よって、非偏光の照明を前提としたフレネル反射理論と表面法線の議論を本発明における偏光輝度の変動に利用することができる。

【0078】

本実施形態における画像処理プロセッサ 108 は、上述の輝度最大角画像 Y P H および輝度変動画像 Y D を得て、被写体の表面凹凸情報を取得する。次に、図 1 6 を参照して、画像処理プロセッサ 108 の構成例と動作を説明する。

20

【0079】

図 1 6 は画像処理プロセッサ 108 の構成を示すブロック図である。照明の入射偏光面角度 I を 0°、45°、90°、135° と変え、それぞれの入射偏光面角度 I の偏光で被写体を照明しながら、4 枚の輝度画像からなる輝度画像群 1601 が取得される。こうして撮像された 4 枚の輝度画像群 1601 が画像処理プロセッサ 108 の変動輝度処理部 160 に入力される。

【0080】

前述のように、偏光照明の偏光面を回転した場合の輝度変動は周期 180° の余弦関数になる。変動輝度処理部 160 では、輝度変動を余弦関数にフィッティングする。輝度変動を示す Y (I) は、照明の偏光面の角度 I を変数として以下のように表現される。

30

【数 7】

$$Y(\psi_I) = Y_{\psi_I_ave} + A_I \cos(2(\psi_I - \psi_0)) \quad (\text{式7})$$

【0081】

図 1 7 は、この輝度変動の余弦関数を示したものであり、上記の振幅 A I、位相 ψ_0 、平均値 $Y_{\psi_I_ave}$ の意味を表している。4 個のサンプル点は、簡単のため、この余弦関数上にちょうど載るように描かれている。

40

【0082】

4 つの等間隔の角度サンプルから余弦関数をフィッティングして上記の値を推定する手法は、以下のとおりである。まず、非偏光照明下での原画像の輝度 $Y_{\psi_I_ave}$ を以下の式で求める。この式の右辺は、I = 0°、45°、90°、135° の偏光照明で照射された被写体から得られる 4 つの輝度画像を加算し、平均化することを意味している。輝度 $Y_{\psi_I_ave}$ は近似的に非偏光照明下での輝度画像を再現しており、内視鏡の通常観察画像として利用することができる。このため、輝度 $Y_{\psi_I_ave}$ を「非偏光平均輝度画像」と称することができる。

【数 8】

$$Y_{\psi_I_AVE} = \frac{1}{4}(Y(\psi_I=0^\circ) + Y(\psi_I=45^\circ) + Y(\psi_I=90^\circ) + Y(\psi_I=135^\circ))$$

$$\approx \frac{1}{2}(Y_{\max} + Y_{\min})$$
(式 8)

【0083】

次にサンプルされた輝度から余弦関数への最小 2 乗誤差を用いた最適フィッティングを行う。ここでは、 0° 、 45° 、 90° 、 135° という 4 方向のサンプルから実施する。余弦関数は振幅、位相、平均値の 3 種の情報で決定されるため、これらを決定するためには 3 点のサンプル以上であれば実際には何点でもかまわない。しかし、 45° サンプルの場合には最適フィッティングが簡単になる性質がある。

10

【0084】

まず偏光角度が 0° 、 45° ($= \pi/4$)、 90° ($= \pi/2$)、 135° ($= 3\pi/4$) における輝度の 2 乗誤差 E を以下のように定義する。

【数 9】

$$E = (Y(\psi_I = 0) - I_0)^2 + (Y(\psi_I = \frac{\pi}{4}) - I_1)^2 + (Y(\psi_I = \frac{\pi}{2}) - I_2)^2 + (Y(\psi_I = \frac{3\pi}{4}) - I_3)^2$$

$$= (Y_{\psi_I_AVE} + A_I \cos(2\psi_O) - I_0)^2 + (Y_{\psi_I_AVE} + A_I \sin(2\psi_O) - I_1)^2 +$$

$$(Y_{\psi_I_AVE} - A_I \cos(2\psi_O) - I_2)^2 + (Y_{\psi_I_AVE} - A_I \sin(2\psi_O) - I_3)^2$$
(式 9)

20

この 2 乗誤差を最小化する余弦関数の位相 ψ_O は、以下の式から求められる。

【数 10】

$$\frac{\partial E}{\partial \psi_O} = 4A_I [(I_3 - I_1)\cos(2\psi_O) + (I_0 - I_2)\sin(2\psi_O)] = 0$$
(式 10)

30

この式から、解は、次の式で与えられる。

【数 11】

$$\begin{cases} \psi_O^{(+)} = \frac{1}{2} \cos^{-1} \left(\sqrt{\frac{c^2}{a^2 + c^2}} \right) \\ \psi_O^{(-)} = \frac{1}{2} \cos^{-1} \left(-\sqrt{\frac{c^2}{a^2 + c^2}} \right) \end{cases}$$
(式 11)

40

【数 12】

$$\begin{cases} a \equiv (I_3 - I_1) \\ c \equiv (I_0 - I_2) \end{cases}$$
(式 12)

逆三角関数などの数学関数では一般に以下のような制限が課されている。

【数 1 3】

$$0 \leq \text{acos}(x) \leq \pi \quad (\text{式13})$$

【0085】

この角度範囲を考慮すると、aとcの大小関係からの場合わけを行うことによって、最小値をとる角度と最大値をとる角度は以下のように計算できる。

【数 1 4】

$$\left\{ \begin{array}{ll} a < 0, c > 0 \text{ の場合} & \psi_{0\min} = \frac{\pi}{2} + \psi_0^{(+)} \quad \psi_{0\max} = \psi_0^{(+)} \\ a < 0, c < 0 \text{ の場合} & \psi_{0\min} = \frac{\pi}{2} + \psi_0^{(-)} \quad \psi_{0\max} = \psi_0^{(-)} \\ a > 0, c < 0 \text{ の場合} & \psi_{0\min} = \psi_0^{(+)} \quad \psi_{0\max} = \frac{\pi}{2} + \psi_0^{(+)} \\ a > 0, c > 0 \text{ の場合} & \psi_{0\min} = \psi_0^{(-)} \quad \psi_{0\max} = \frac{\pi}{2} + \psi_0^{(-)} \end{array} \right. \quad (\text{式14})$$

10

この最大値をとる $\psi_{0\max}$ の値を、そのまま、輝度最大角画像 YPH とすればよい。

【数 1 5】

$$YPH = \psi_{0\max} \quad (\text{式15})$$

【0086】

次に、振幅の最大値と最小値を求める。まず、振幅 A_I を求めるため、以下の式を用いて2乗誤差の最小化を行う。

【数 1 6】

$$\frac{\partial E}{\partial A_I} = 0 \quad (\text{式16})$$

30

【数 1 7】

$$A_I = \frac{1}{2} [(I_0 - I_2) \cos(2\psi_0) - (I_3 - I_1) \sin(2\psi_0)] \quad (\text{式17})$$

40

【0087】

振幅 A_I を用いて、振幅の最大値と最小値は以下のようになる。

【数 1 8】

$$\begin{aligned} Y_{\max} &= Y_{\psi I_AVE} + A_I \\ Y_{\min} &= Y_{\psi I_AVE} - A_I \end{aligned} \quad (\text{式18})$$

50

【 0 0 8 8 】

そこで(式5)に(式18)の振幅最大値 Y_{max} と最小値 Y_{min} をそれぞれMAX、MINとして用いると輝度変調度画像YDが求められる。

【 0 0 8 9 】

なお余弦関数への一般の最適フィッティングは3点以上のサンプルにおいて可能であり、その方法は例えば特許文献5に記載されている。

【 0 0 9 0 】

以上の処理によって輝度最大角画像YPHと輝度変調度画像YDが得られる。図16では、輝度最大角画像YPHに参照符号「YPH」、輝度変調度画像YDに参照符号「YPH」を付している。図16に示すように、輝度最大角画像YPHは方位角処理部1604に、輝度変調度画像YDは天頂角処理部1606にそれぞれ送られる。

10

【 0 0 9 1 】

図18Aは、被写体の表面の法線方向を特定する2つの角度、すなわち方位角と天頂角を示す図である。法線ベクトルは、3次元ベクトルであるが、長さが1に正規化されている。そのため、法線ベクトルの自由度は2であり、角度で表現する場合には、画面内の方位角と、視線に対する天頂角とによって表現される。通常の右手系では、画像内にX-Y軸を設定し、Z軸の向きが視線(光軸)方向となる。法線の3成分(N_x , N_y , N_z)との関係は図に示すとおりである。方位角と天頂角が求められたなら、その点での表面法線は以下ようになる。

【 数 1 9 】

20

$$\begin{aligned} N_x &= \cos\psi \sin\theta \\ N_y &= \sin\psi \sin\theta \\ N_z &= \cos\theta \end{aligned} \quad (\text{式19})$$

【 0 0 9 2 】

方位角処理部1604では、輝度最大角画像YPHを用いて方位角を算出する。ここで上述の議論から非偏光を入射した場合の鏡面反射に関するフレネル理論を参考にする。この理論では、非特許文献2にあるように非偏光が入射してそれをカメラの前の偏光板で偏光観測する。このとき、被写体表面で鏡面反射した反射光ではP波が減衰し、S波が優位となる。このため、グループ表面の法線の方位角は、輝度が最小となる偏光面の角度に等しくなる。この方位角で定まる方向は、輝度が最大となる偏光面に直角の方向に合致する。これを本発明の偏光照明に適用すると、グループ表面の法線の方位角は、偏光輝度最大角の方向に直角の方向に合致する。すなわち、輝度最大角画像YPHを用いて、方位角を求めることができる。

30

【 0 0 9 3 】

ここで問題となるのは、非特許文献2で、"180° ambiguity"と紹介されているとおり、この方位角に180°の不定性があることである。すなわち、グループ表面の法線の方位角として、180°異なる2つの候補が求められる。この2つの候補から1つを選択することを、ここでは「不定性の処理」と称する。

40

【 0 0 9 4 】

図16に示す方位角不定性処理部1607では、不定性の処理を行うため、非偏光輝度画像1612、あるいは輝度変調度輝度変調度画像YDを用いる。

【 0 0 9 5 】

次に、図19Aおよび図19Bを参照して、方位角不定性処理部1607の処理内容を説明する。図19Aには、グループの輝度画像および断面構成1902が示されている。個々の画素のサイズよりもグループは大きいため、1つのグループ内で輝度分布が存在する。なお、グループの断面構成1902は、2つの傾斜面を有しており、傾斜面の傾斜角度は30°~60°の範囲内にある。

50

【0096】

照明光がグループにほぼ直上から照射されると、輝度画像においては、網点で示す領域1903で輝度値が高く（明るく）なり、グループの底辺付近領域1913で輝度値が低く（暗く）なる。すなわち、グループの内部で輝度値が勾配を持つ。非偏光照明下で得られた輝度 Y_{I-ave} に空間的な微分処理を実施して、輝度値の勾配ベクトルを算出すると、輝度勾配ベクトル1904、1905が得られる。勾配ベクトル1904、1905は、グループ内の2つの傾斜面の各々について算出される。

【0097】

一方、輝度最大角画像YPHで求められる方位角 θ は180°の不定性を有するため、A点においては、2つ候補1906a、1906bが得られ、B点においては、2つの候補1907a、1907bが得られる。ここでこれらの候補のベクトルは図19Aでは、グループの正しい向きとは多少ずれて表示されているが、これは以下の角度差の説明をわかりやすくするために本質的ではない。

【0098】

そして、輝度勾配ベクトルに対する角度差の大きい方の方位角 θ を採用すると、A点においては候補1906aが、B点においては候補1907aがそれぞれ採用される。そのため、A点では下向きの矢印で示される候補1906aの方位角 θ が選択され、B点では上向きの矢印で示される候補1907aの方位角 θ が正しく求められる。

【0099】

次に、図19Bを参照しながら、輝度変調度画像YDによって2つの候補から1つを選択する例を説明する。

【0100】

照明光がグループに対してほぼ直上から照射されると、グループ内での2回反射のため、グループ底面付近で偏光度DOPが高くなる。前述の理論から偏光照明を回転した場合の輝度変調度値も同様の挙動を示す。そのため、輝度変調度画像YDにおいては、グループ底辺付近1913の領域1908で値（輝度変調度）が大きくなり、グループの外側では値が低くなる。そこで輝度変調度画像YDの勾配ベクトルを計算すると、輝度変調度勾配ベクトル1909、1910が算出される。一方、輝度最大角画像YPHで求められる方位角 θ は、180°の不定性を有するため、A点においては、2つ候補1911a、1911bが得られ、B点においては、2つの候補1912a、1912bが得られる。ここで、輝度変調度の勾配ベクトルと輝度最大角との角度差の評価値を使って、角度差の小さいほうの方位角 θ を採用すると、A点においては候補1911aが、B点においては候補1912aがそれぞれ採用される。なお、図19A、図19Bでは、勾配ベクトルの算出箇所と法線ベクトルの算出箇所とが異なるように描いてあるが、これは便宜上のためである。実際の画像処理において、勾配ベクトルは法線ベクトルを推定するA点、B点の位置で正確に算出する。

【0101】

なお、以上の説明では、輝度勾配ベクトル、あるいは輝度変調度ベクトルを単独で使っても正しく法線ベクトルが求められると錯覚するが実際は、これらの情報は空間微分による多くのノイズを含んでおり単独では全く信頼性がない。本発明の偏光照明を用いた輝度最大角画像と一緒に用いて初めて有用な情報となっていることに注意されたい。

【0102】

図19Cは方位角の決定手順のフローチャートである。

【0103】

ステップS19C01でグループの方位角 θ の候補 θ_1 を、輝度最大角画像YPHの値（輝度最大角）を90°回転することによって求める。ステップS19C02で、候補 θ_1 を180°回転したもう1つの方位角候補 θ_2 を求める。ステップS19C03では、輝度勾配、あるいは輝度変調度のいずれかから求められた勾配角（*gradient*）と候補 θ_1 、 θ_2 との角度差の評価値 Δ_1 、 Δ_2 を算出する。

【数 2 0】

$$\begin{aligned} \Delta 1 &= \min(|\psi 1 - \text{gradangle}|, 360 - |\psi 1 - \text{gradangle}|) \\ \Delta 2 &= \min(|\psi 2 - \text{gradangle}|, 360 - |\psi 2 - \text{gradangle}|) \end{aligned} \quad (\text{式} 20)$$

【0104】

輝度勾配を使うか、輝度変調度を使うかは被写体の表面凹凸の性質に従って決定すればよい。しかし輝度の変動がそのまま表面法線を表現するような簡単な状況は実際には少ない。多重反射、その他の工学的影響によって輝度は法線意外の影響で種々に変化する。それと比較すると輝度変調度画像は、安定的に取得できる特徴で、しかも本発明で開示したように偏光照明に工夫すれば観測する撮像素子側には特別な工夫なしで取得できるため有効性が大きい。

10

【0105】

ステップ S 1 9 C 0 4 で、輝度勾配を使うのか、輝度変調度勾配を使うのかを選択する。前者の場合には、ステップ S 1 9 C 0 5 の条件が設定されて 1、2 のうち角度差が大きい方が選択され、が決定される。一方、後者の場合には、ステップ S 1 9 C 0 6 の条件が設定されて、1、2 のうち角度差が小さい方が選択されて が決定される。

【0106】

天頂角処理部 1 6 0 6 では、輝度変調度画像 Y D を用いて天頂角 を算出する。現段階では表面グループの 2 回反射において偏光度と天頂角 の関係を正確に理論的に解明した従来技術はない。本実施形態では、非偏光を入射した場合のフレネル理論を採用する。この場合には、非特許文献 2 に記載されているように、非偏光が入射してそれをカメラの前の偏光板で偏光観測する。このとき、被写体表面にて鏡面反射した反射光の偏光度 D O P を算出すると、表面の法線の天頂角と、この D O P との間には屈折率 N N を用いたフレネル理論の曲線の関係が成立する。これを本発明の偏光照明に適用すると、輝度変調度画像 Y D 値を D O P の代わりに用いて天頂角が決定される。ただし、非特許文献 2、および非特許文献 3 でも説明されているように、この天頂角にはブリュースター角を挟んだ不定性がある。

20

【0107】

この不定性を説明する。図 2 0 A は照明の入射角と偏光度 D O P の関係を、屈折率 N N を 1 . 5 から 3 . 0 まで変えながら描いたものである。入射角はそのまま表面の天頂角となる。屈折率を大きくすると最大位置が角度の大きな方向に 5 5 ° から 7 0 ° 付近まで移動する。偏光度 D O P は、非偏光の入射光が入射角 で被写体表面に入射しおなじ出射角にて鏡面反射する場合には、材質の屈折率 N N を用いて以下のそのフレネル反射の式から計算される。

30

【数 2 1】

$$\begin{aligned} DOP &= \frac{FF_S - FF_P}{FF_S + FF_P} \\ FF_S &= \left(\frac{\cos \theta - \sqrt{(NN)^2 - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \sqrt{(NN)^2 - \sin^2 \theta}} \right)^2 \\ FF_P &= \left(\frac{-(NN)^2 \cos \theta + \sqrt{(NN)^2 - \sin^2 \theta}}{(NN)^2 \cos \theta + \sqrt{(NN)^2 - \sin^2 \theta}} \right)^2 \end{aligned} \quad (\text{式} 21)$$

40

【0108】

50

上記の不定性とは、DOPから天頂角を求める場合に曲線が最大となる角度であるプリュースター角を挟んで2つの角度が推定されて一方に決定できなくなることである。

【0109】

図20Bは、このプリュースター角を挟んだ不定性を解決する方法を示す図である。内視鏡で観察される生体内の表面粘膜によるグループ傾斜角は、ほぼプリュースター角相当の55°以下になるという仮定をおく。そして探索範囲を図20Bに示す0°からプリュースター角までに制限することにより困難を解決している。

【0110】

図20Cは、天頂角を決定するためのフローチャートである。

【0111】

ステップS20C01では、偏光度差の最大値MINDIFを設定し、ステップS20C02では、プリュースター角 θ_B を屈折率NNから理論的に求める。ステップS20C03で θ を0°にセットしてS20C04でプリュースター角より小さいならば以降の計算を行う。まずステップS20C05にて(式21)で示した理論的な偏光度DOPを求めておき、ステップS20C06にて、このDOPと輝度変調度YDとの差分絶対値DIFを計算する。ステップS20C07にてこのDIFがMINDIFより小さい場合には、 θ_{MIN} をこの θ にセットし、MINDIFにDIFをセットする。そしてS20C09にて θ の角度を1°刻みにて増加してループ処理を継続する。ステップS20C04にてこのループ処理を脱出した場合には θ_{MIN} を天頂角に決定する。

【0112】

法線画像生成部1608では、求めた方位角 θ と天頂角 θ_z から(式19)を用いてカメラ座標系における被写体表面の法線ベクトル(N_x, N_y, N_z)を求め、これを2次元的な法線画像とする。

【0113】

輝度画像生成部1609では、求められた法線画像に対して、カメラ視点方向と照明光源方向を与えることによって物理反射モデル式を用いて輝度画像を生成する。ここでは被写体の鏡面反射をよく表現するモデル式としてクック＝トランスモデルを使用する。それによると輝度 I_s は以下の式で表される。

【数22】

$$I_s = K \frac{FG \frac{1}{4m^2 \cos^4 \alpha} \exp\left(-\frac{\tan^2 \alpha}{m^2}\right)}{\cos \theta_r} \quad (\text{式22})$$

【0114】

図18Bはクック＝トランスモデルを用いる場合のベクトルと角度の関係を示す図であり、表面法線Nと、光源ベクトルLと視点ベクトルVが描かれている。光源ベクトルLと視点ベクトルVの2等分ベクトルHを用いると、上式における α は、2等分ベクトルHと法線Nとのなす角度であり、 θ_r は視線ベクトルと法線Nのなす角度である。フレネル係数Fおよび幾何減衰率Gは以下の式で表現される。

【数23】

$$F = \frac{1}{2} \frac{(g-c)^2}{(g+c)^2} \left(1 + \frac{[c(g+c)-1]^2}{[c(g-c)+1]^2} \right) \quad (\text{式23})$$

10

20

30

40

【数 2 4】

$$G = \min \left\{ 1, \frac{2(N \cdot H)(N \cdot V)}{(V \cdot H)}, \frac{2(N \cdot H)(N \cdot L)}{(V \cdot H)} \right\} \quad (\text{式}24)$$

【0115】

また係数Kは入射照度に関する係数である。このクック＝トランスモデルを使えば、表面法線画像から輝度画像を生成することができるが、そのためには屈折率NNのほかに、視線ベクトルV、光源ベクトルLなどの幾何学的な設定を与える必要がある。

10

【0116】

照明方向設定部1610は、この光源ベクトルを設定する要素であって、内視鏡診断などにおいては観察するユーザである医師が自由に設定する。

【0117】

以上の処理によって2次元画像から表面の凹凸を推定し、表面法線画像として輝度に反映した輝度画像1611が生成される。この画像は推定された法線画像に基づいているために照明変更がコンピュータ上で自在に替えることができ、内視鏡の欠点の1つである照明位置の変更ができないため表面凹凸の観察が困難である、という課題を解決することができる。

【0118】

20

なお、図16に示される各構成要素は、それぞれ、特別のハードウェアによって実現されても良いし、ハードウェアおよびソフトウェアの組み合わせによって実現されても良い。本実施形態では、プロセッサによって上記の構成要素の少なくとも一部が実現され得る。また、本実施形態の画像処理部の動作は、画像処理部のメモリ内に記憶されたコンピュータプログラムによって規定され得る。そのようなコンピュータプログラムは、画像処理装置に設けられたプロセッサに各種のステップ(図19C、図20C)を実行させる指令のセットである。

【0119】

図21(a)は、本実施形態による表面法線推定の実験の結果を示す図である。被写体は、かまぼこ型断面を有するレンチキュラーレンズ板である。被写体は、鏡面反射を支配的にするため、赤色系統、あるいはチョコレート色系統に塗装されている。この被写体に対して、上記の処理を実施した。

30

【0120】

図21(a)の上部画像は、図16の非偏光輝度画像1612を示し、図21(a)の下部画像は、図16の輝度変調度画像YDを示す。非偏光輝度画像では、白い(明度の高い)画素が高い輝度を示すが、輝度変調度画像では、暗い(明度の低い)画素が高い値(変調度)を示している。図21(b)は、図21(a)の四角形で囲まれた一部のみを模式的に描いた図である。輝度画像では、凸部2101に相当する高輝度部分(白色部分2104)と凹部2102に相当する低輝度部分(斜線部分2103)の繰り返しとなる。一方、輝度変調度画像では、輝度変調度が高い部分(網点部分2105)と低い部分(白色部分2106)の繰り返しとなっている。そして低輝度部分が高い輝度変調度に対応している。

40

【0121】

図22は、図21に示される被写体(レンチキュラー板)の断面図である。レンチキュラー板では凹凸が周期的に存在し、照明光は、凸部2201においては1回だけ反射してカメラで撮像される。凸部2201の像を形成する光は、1回反射であり、非常な高輝度となる。凹部2202はグループを形成しているため、光は2回反射してカメラで撮像される。このため、凹部2202で反射された光の像は、やや低輝度となる。

【0122】

図23は、図21における輝度および輝度変調度のプロファイルを示している。図中の

50

曲線 2301 が輝度、曲線 2302 が輝度変調度を表している。低輝度の部分（曲線 2301 の凹部）において、輝度変調度が増加していることがわかる。

【0123】

図 24 は、別の被写体を示す平面図である。この被写体は、プラスチック板上に A から I までの 8 本の溝を加工し、塗装したものである。図 24A は、実物の被写体から得られた輝度画像を示す写真を示す図であり、図 24B はその模式図である。平面内の溝どうしの方位角度間隔は 22.5° である。

【0124】

図 25 と図 26 は、それぞれ図 24 の被写体の A から I までの各グループについて図 16 の方位角不定性処理部 1607 および天頂角処理部 1606 を実施し、方位角、天頂角を推定した結果である。網点を施したグラフが正解を、斜線を施したグラフが推定結果を示す。なお正解は、レーザ変位計を用いて測定している。

10

【0125】

この結果を見ると、図 25 の方位角推定結果では、ほぼ 10° 程度の誤差で推定が行われている。一方 26 の天頂角の推定では誤差がやや大きい。

【0126】

図 27 は、図 24 の被写体に対して図 16 の処理を全て実施した輝度画像の結果である。図 27A は、照明光源の位置を (a) 画面向かって右側から、(b) 画面向かって左側から、(c) 画面向かって下側から (d) 画面向かって上側からそれぞれ照射した場合の画像を生成している。図 27B はその模式図であり (a) から (d) はそのまま対応する。A から I までで指定したグループは照明方向の変化によってグループが明瞭に表現されていることがわかる。したがって図 24A で示したような正面からの照明しかない内視鏡画像に対して明瞭な凹凸画像を提供することができる。

20

【0127】

(実施形態 2)

次に、図 28 を参照しながら、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。

【0128】

本実施形態の画像処理装置は、図 1C とほぼ同じ構成を備えているが、色フィルタ 2801 が追加されている点で異なる。

30

【0129】

本発明者による実験によると、被写体の色によってグループにおいて観測される偏光状態は大きく変化することが判明している。すなわち、波長 520 (nm) 付近の狭帯域観測によれば、チョコレート色、赤色などの被写体は、全体として暗い画像となり、グループにおいては非常に強い偏光を観測できるのに対し、イエロー系統色においては全体として明るい画像が得られるがグループでの偏光が非常に弱くなってしまふ。この理由は、明るい色では拡散反射成分が支配的となり、2 回反射の鏡面反射がほとんど隠されてしまうためと推察される。本実施形態においては、強い偏光を観測するため、被写体の分光反射率が低い波長帯に合致した偏光照明光を使う。例えば上記のイエローの場合には補色である青系統の照明色を用いて暗い画像を撮影する。照明光の波長域は、被写体の分光反射率を考慮して決定するのが望ましい。

40

【0130】

図 29 は、内視鏡観察における代表的臓器である大腸粘膜の分光反射率の例を示す図である。大腸粘膜は、 $520 - 600$ (nm) に強い吸収を有する。そこで分光フィルタの特性をこの低反射率領域に合致させて 2801 の特性を持たせれば、この波長帯では比較的暗い色として撮影されるため本発明で述べた偏光による表面グループの観察に好適となる。この目的のためにフィルタ 2801 が光源 104 の出力段に設置される。なおフィルタ 2801 は通常のカラ画像観察の場合と切り替えて利用されてよい。またカラーフィルタは撮像側 110 の前に設置されてもよい。

【0131】

50

(実施形態3)

以下、図30Aおよび図30Bを参照しながら、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。本実施形態の画像処理装置は、内視鏡のみならず、皮膚科や歯科などメディカル用途の照明付きカメラ、指紋撮影装置、表面検査装置などへ適用される装置である。

【0132】

図30Aは、本実施形態の一構成例を示している。本実施形態の画像処理装置は、図1Cの内視鏡101の代わりに、装置400を備えている。この装置400は、リング照明4001、リング状偏光面制御素子4002、撮影レンズ4003、撮像素子4004を有している。

10

【0133】

図30Bは、図30Aの概観を示す図である。本実施形態では、リング照明4001上にリング状偏光面制御素子4002が設置されている。リング照明4001および偏光面制御素子4002には、光ファイバーなどのライトガイドから非偏光が入力され、図2に示されるように、照明の偏光面を例えば0°、45°、90°、135°のみに回転させる。

【0134】

なお、リング照明4001は、光源からのライトガイドを使わないLEDなどによる自発光光源でもかまわない。また、撮像光軸と照明光の光軸のなす角度が15°以下であればリング照明以外のストロボ発光照明でもかまわない。リング照明を使うことにより、照明が1灯では観察が困難な被写体においても、表面凹凸、グループの推定を高精度に実施することができる。特に、照明光の光軸が撮影光軸と略同一であり、かつ均一化されるため、製品表面の傷や凹凸の検査装置、指紋撮影装置、皮膚科用の肌凹凸撮影装置などに好適である。撮像素子4004、図示されていない画像処理プロセッサは実施形態1における画像処理プロセッサが適用可能である。

20

【0135】

なお、上記の実施形態では、照明の直線偏光の回転角度の間隔を45°に設定しているが、この角度は同一である必要はなく、互いに異なっていてよい。また、この角度の間隔は45°にも限定されない。ただし、余弦関数の3個のパラメータを決定するために、3個以上のサンプルが必要になる。すなわち、照明の直線偏光の回転角度は、3種以上に変動させることが必要になる。サンプル角度が3種類の場合、例えば0°、60°、120°の3つの角度が選択され得る。

30

【産業上の利用可能性】

【0136】

本発明は、医療用内視鏡カメラ、皮膚科、歯科、内科、外科などのメディカル用途のカメラ、工業用内視鏡カメラ、指紋撮像装置、表面検査装置など被写体の表面凹凸の観察、検査、認識を必要とする画像処理分野に広く適用可能である。

【符号の説明】

【0137】

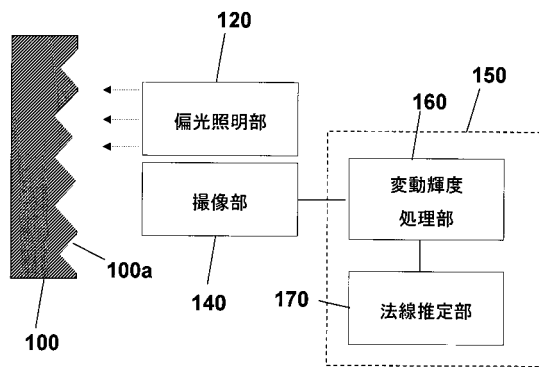
- 101 内視鏡
- 102 制御装置
- 103 挿入部
- 104 光源
- 105 ライトガイド
- 106 偏光面制御素子
- 107 照明レンズ
- 108 画像プロセッサ
- 109 撮影レンズ
- 110 撮像素子
- 111 映像信号線

40

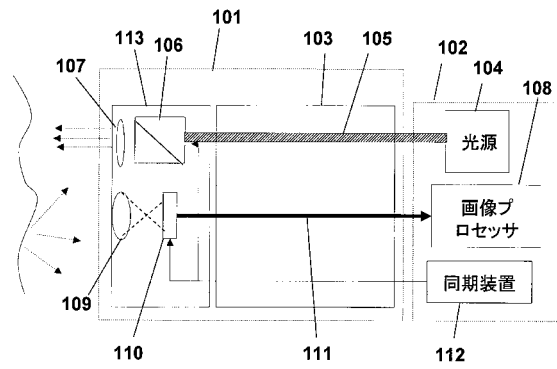
50

- 1 1 2 同期装置
- 1 1 3 先端部
- 1 2 0 偏光照明部
- 1 4 0 撮像部
- 1 5 0 画像処理部
- 1 6 0 変動処理部
- 1 7 0 法線推定部

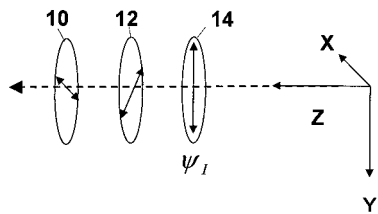
【図1A】



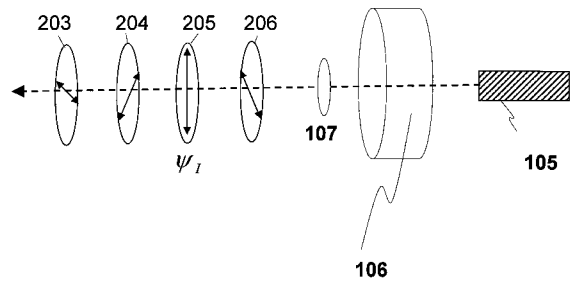
【図1C】



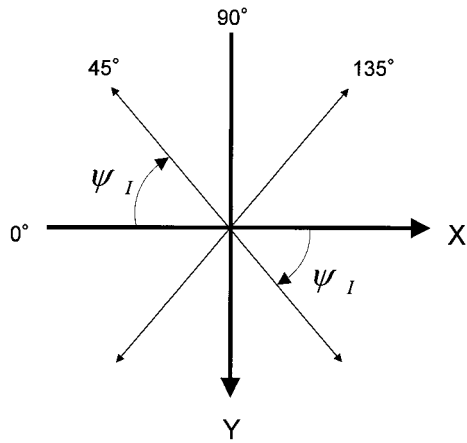
【図1B】



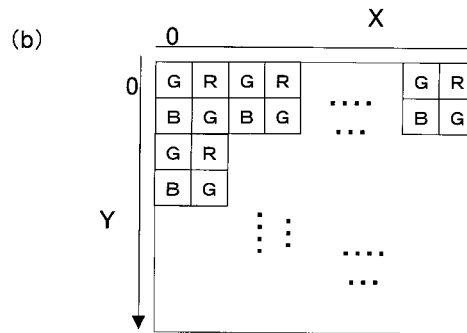
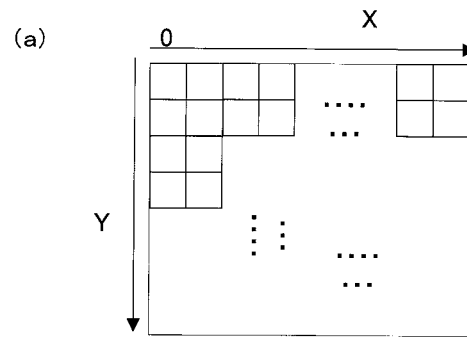
【図2】



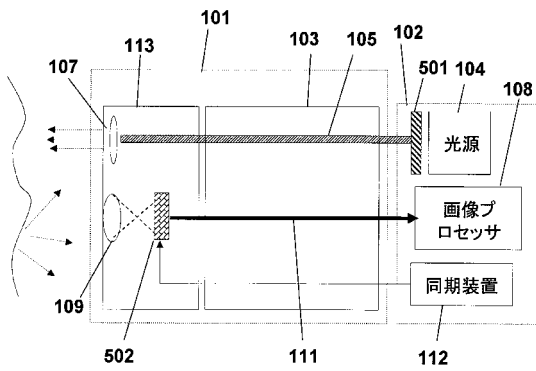
【図3】



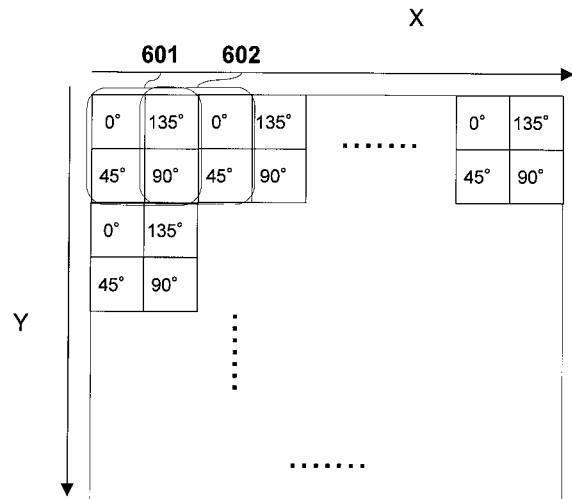
【図4】



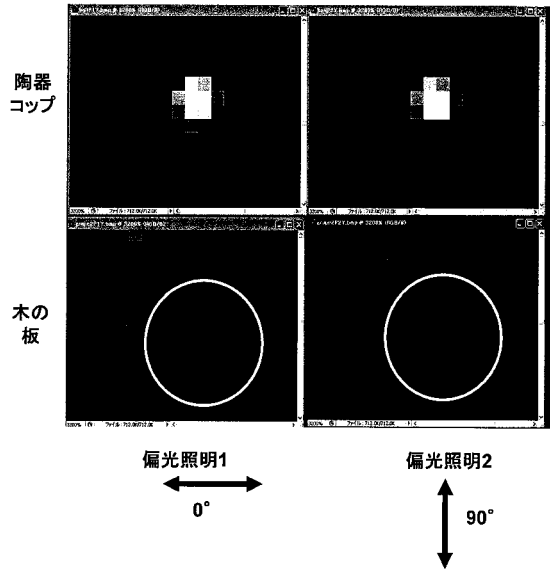
【図5】



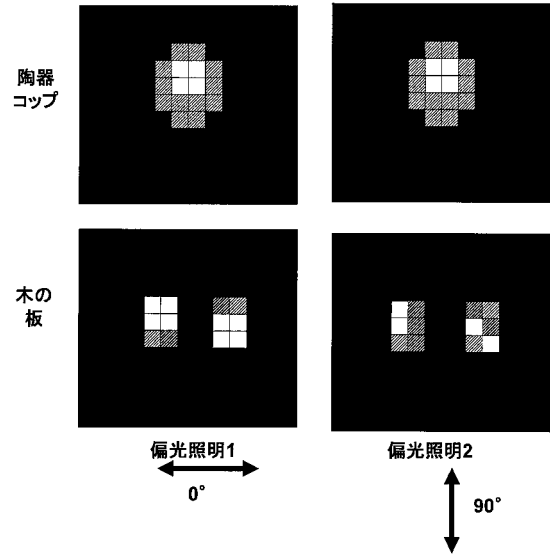
【図6】



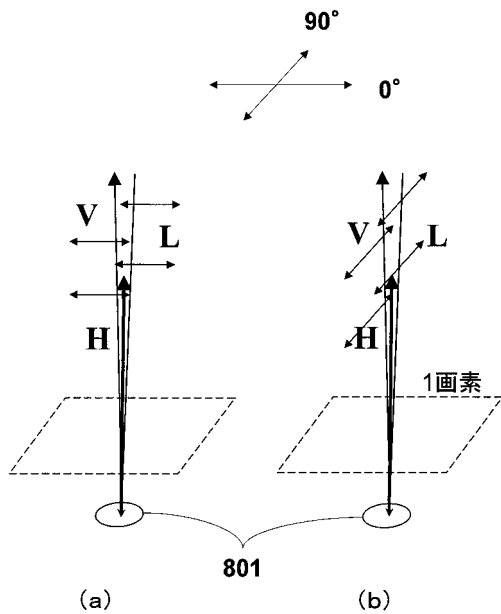
【図7A】



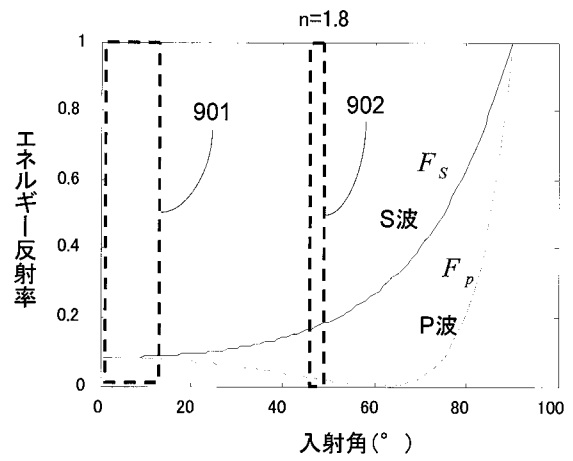
【図7B】



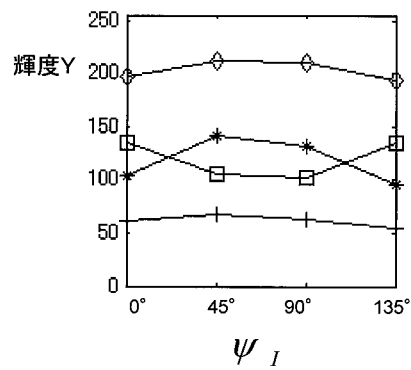
【図8】



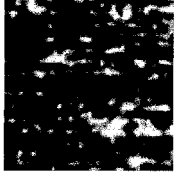
【図9】



【図10A】



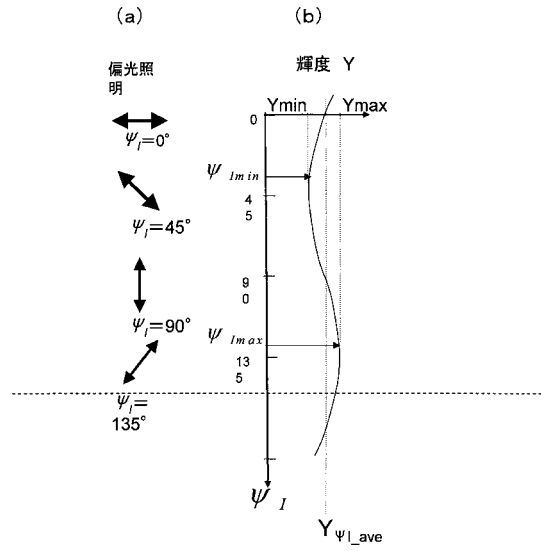
【図10B】



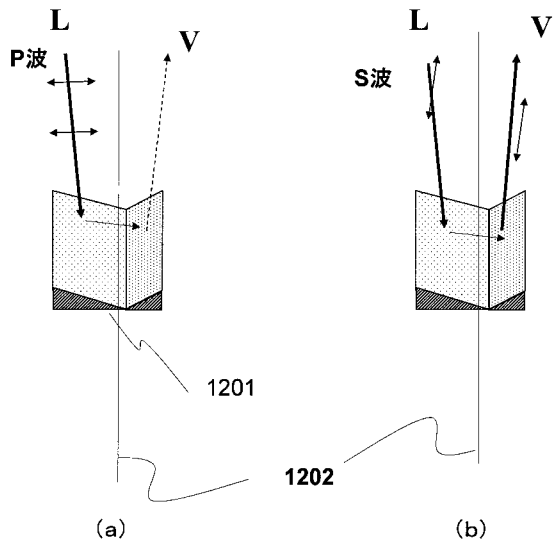
【図10C】



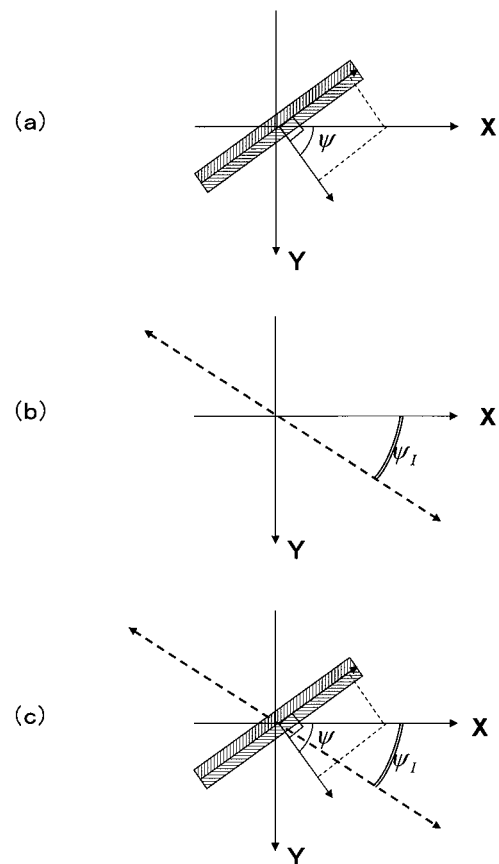
【図11】



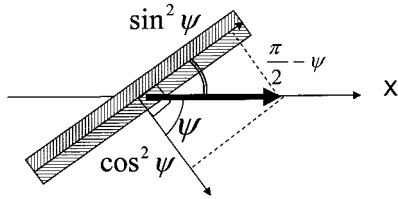
【図12】



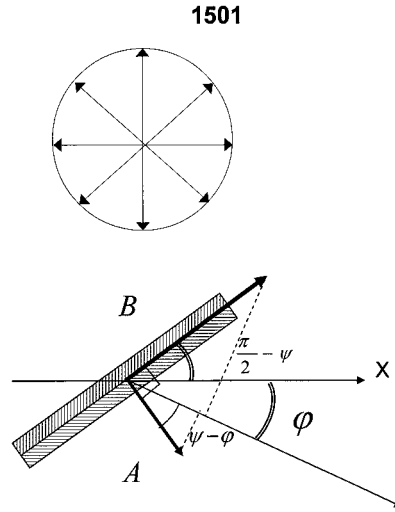
【図13】



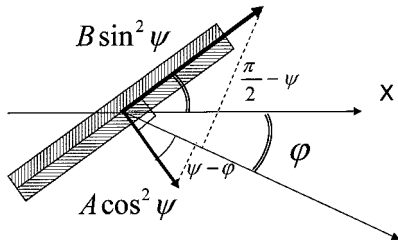
【 図 1 4 A 】



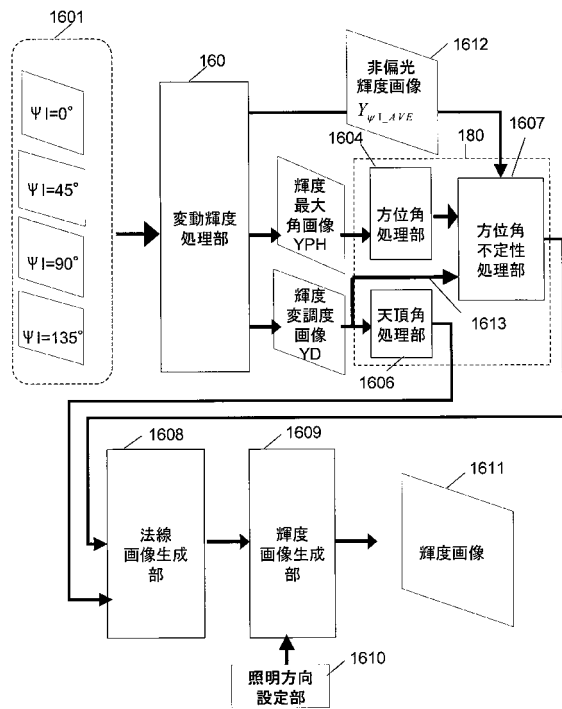
【 図 1 5 】



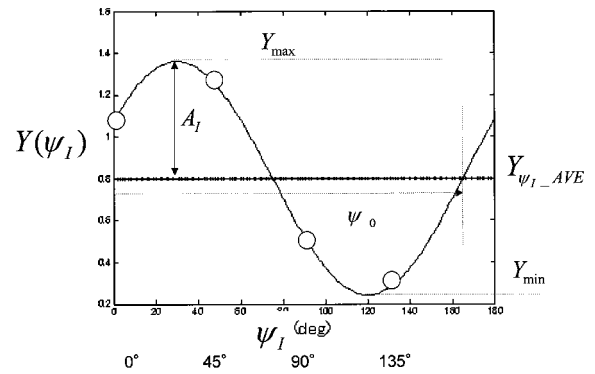
【 図 1 4 B 】



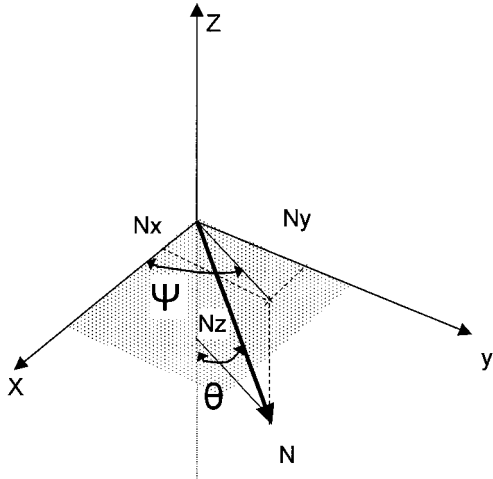
【 図 1 6 】



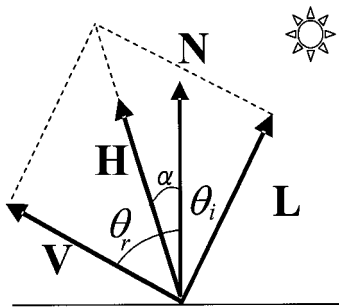
【 図 1 7 】



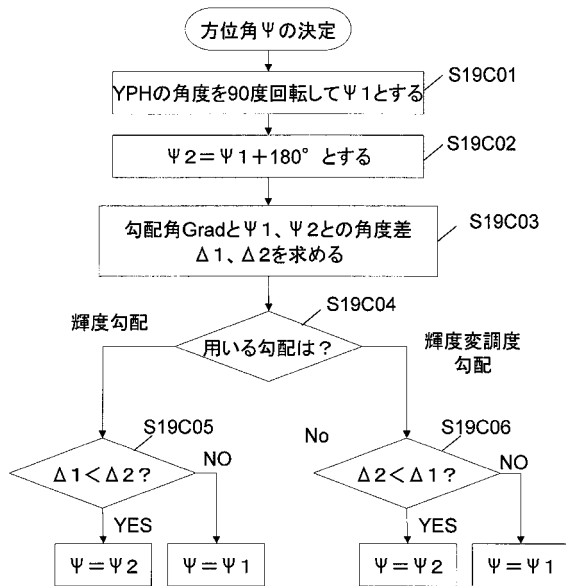
【図18A】



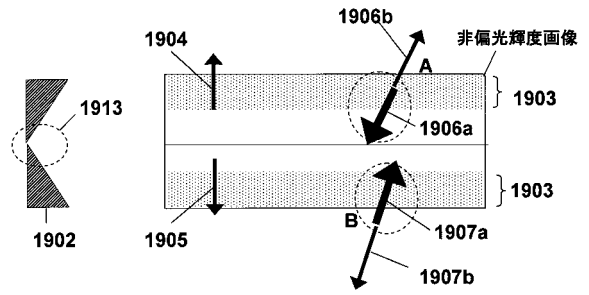
【図18B】



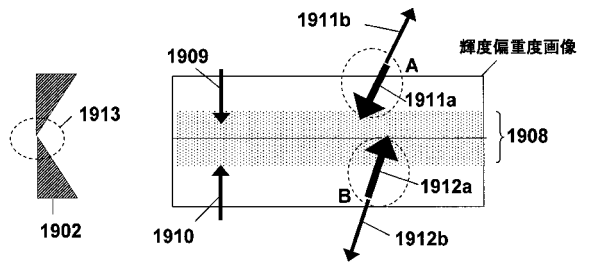
【図19C】



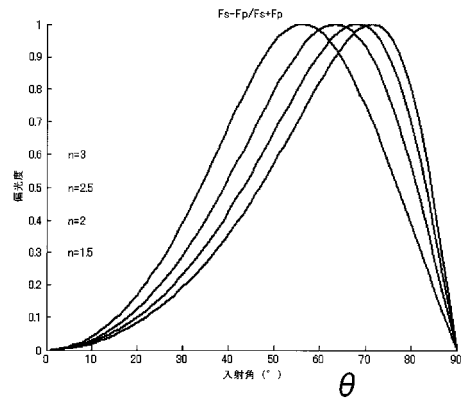
【図19A】



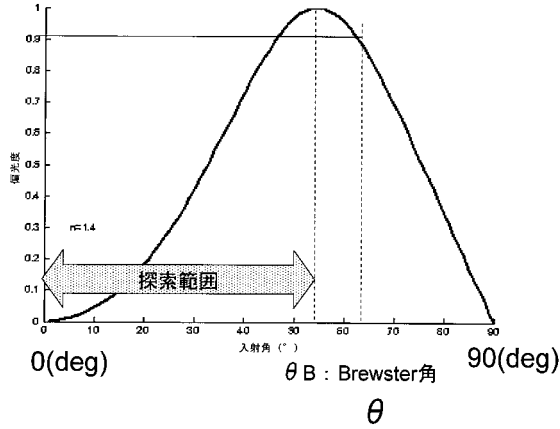
【図19B】



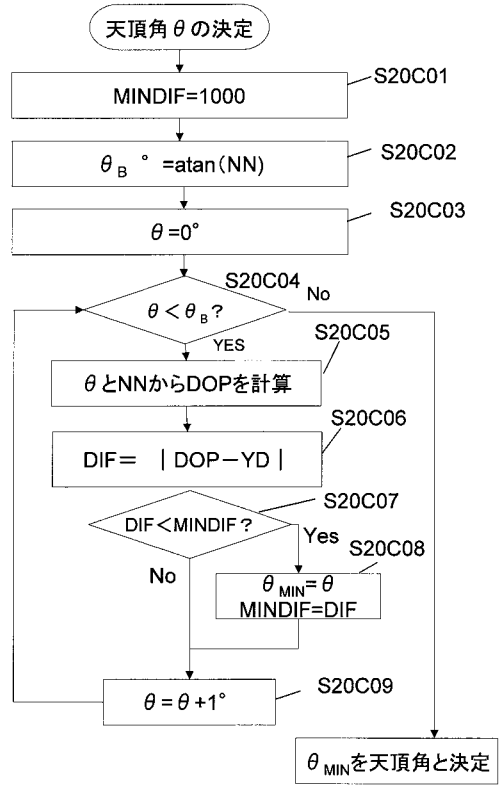
【図20A】



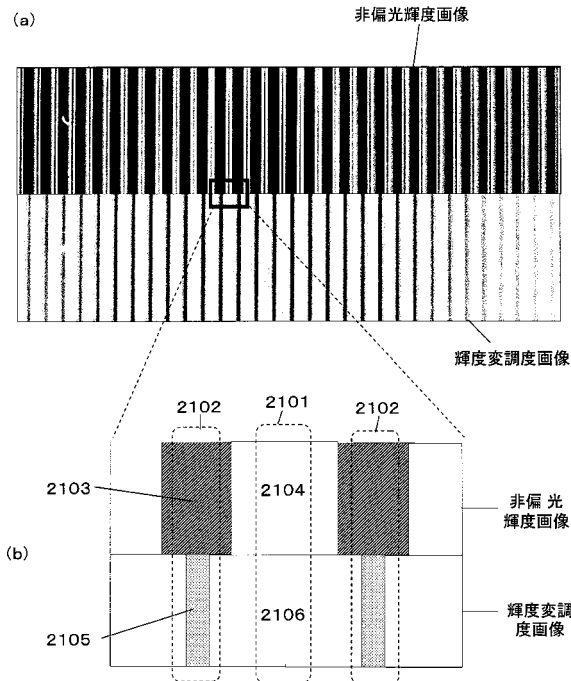
【図20B】



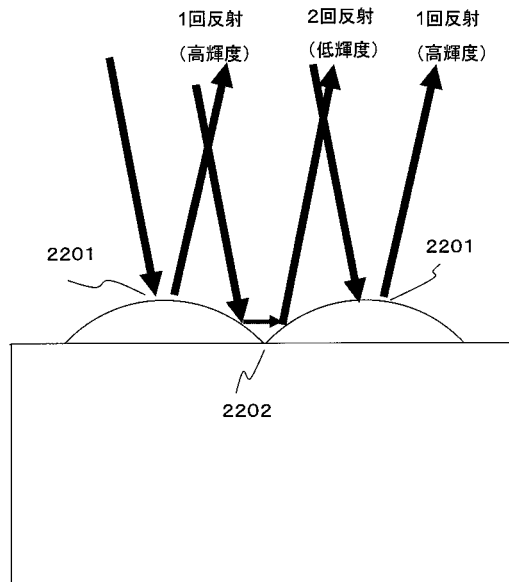
【図20C】



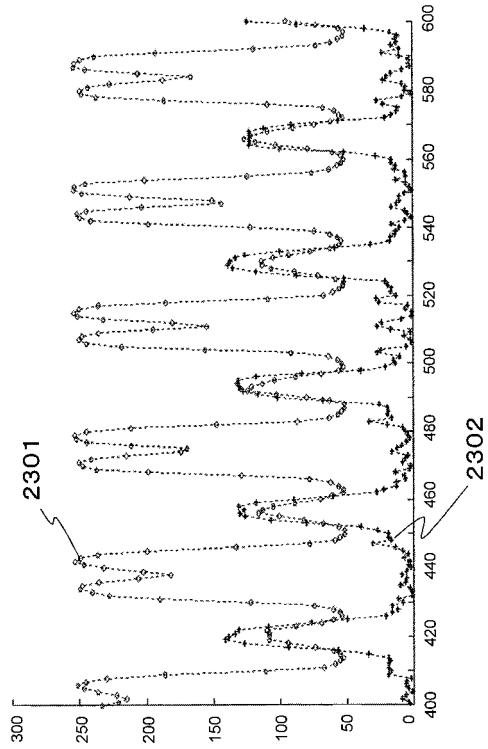
【図21】



【図22】



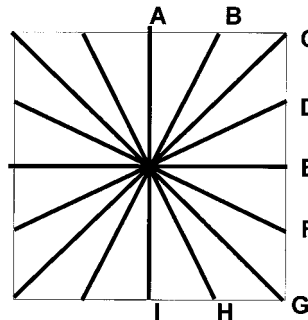
【図 23】



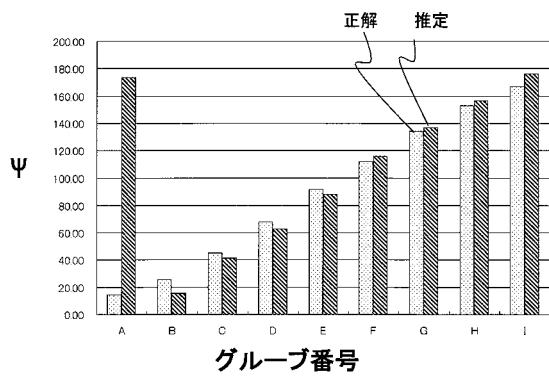
【図 24 A】



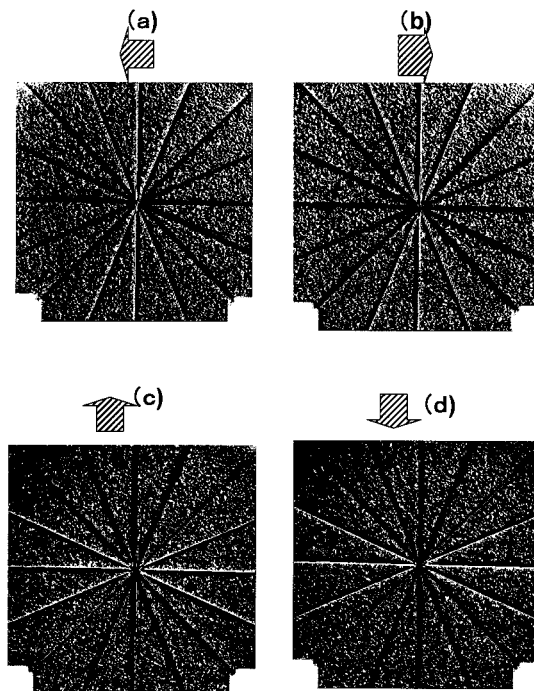
【図 24 B】



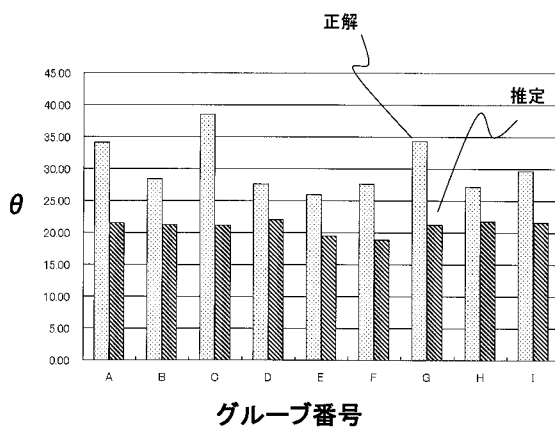
【図 25】



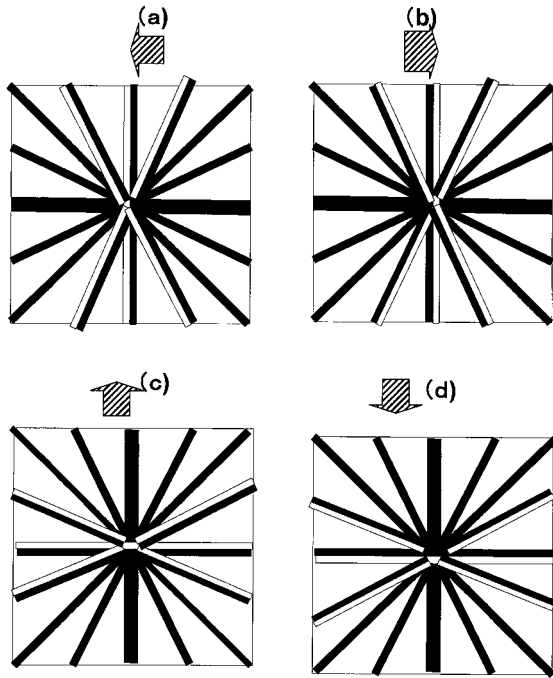
【図 27 A】



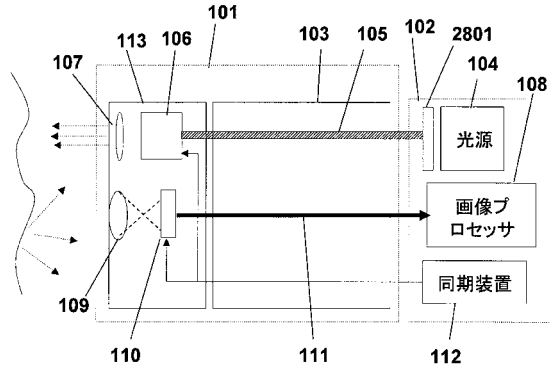
【図 26】



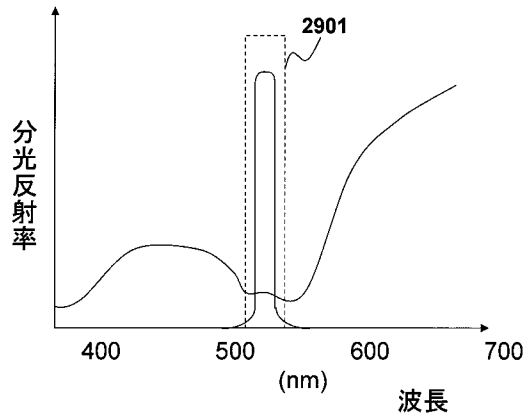
【図27B】



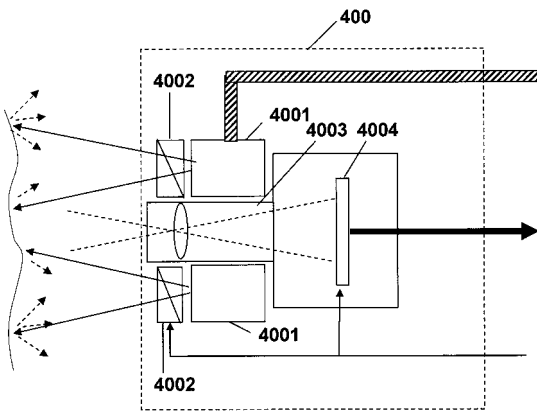
【図28】



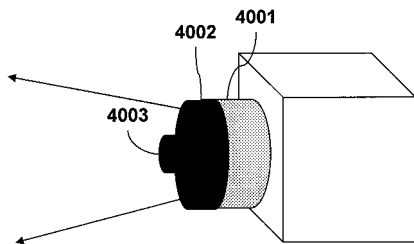
【図29】



【図30A】



【図30B】



フロントページの続き

(72)発明者 金森 克洋
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

審査官 藤原 敬利

(56)参考文献 国際公開第2009/157129(WO, A1)
特開2009-246770(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04N 5/222- 5/257

A61B 1/00 - 1/32

G02B 23/24 -23/26

专利名称(译)	图像处理设备		
公开(公告)号	JP4971531B2	公开(公告)日	2012-07-11
申请号	JP2012503816	申请日	2011-07-08
申请(专利权)人(译)	松下电器产业株式会社		
当前申请(专利权)人(译)	松下电器产业株式会社		
[标]发明人	金森克洋		
发明人	金森 克洋		
IPC分类号	H04N5/225 H04N5/232 A61B1/04 G02B23/24		
CPC分类号	G02B27/286 G02B23/2484 H04N5/2354 H04N2005/2255		
FI分类号	H04N5/225.C H04N5/232.Z A61B1/04.370 G02B23/24.B		
代理人(译)	奥田诚治 三宅明子		
优先权	2010164074 2010-07-21 JP		
其他公开文献	JPWO2012011246A1		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

本发明的实施例中的偏振面控制元件106由偏振板和液晶元件组成，并且可以通过电压将非偏振光转换为任意偏振面的线性偏振光。同步器112获取的图像发送拍摄开始信号时的成像装置110在对象上的由照明偏振面控制装置106的偏振面旋转的发送偏振面旋转的指示，多次此到。信号捕获的图像通过视频信号线111发送到图像处理器108。因此处理中的亮度值的变化，由于该照明偏振面的变化，获得表面从亮度最大角度图像正常的方位角的候选，确定来自强度调制的图像的程度，方位角正常的表面的天顶角解决模糊性并生成表面凹槽的正常图像。

$$I(\psi, \varphi) = \frac{(A+B)}{4} + \frac{(A-B)}{4} \cos 2\psi + \left[\frac{(A+B)}{8} + \frac{(A-B)}{4} \cos 2\psi + \frac{(A+B)}{8} \cos 4\psi \right] \cos 2\varphi + \left[\frac{(A-B)}{4} \sin 2\psi + \frac{(A+B)}{8} \sin 4\psi \right] \sin 2\varphi$$

【0071】