

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6971585号
(P6971585)

(45) 発行日 令和3年11月24日 (2021. 11. 24)

(24) 登録日 令和3年11月5日 (2021. 11. 5)

(51) Int. Cl.

F I

G O 6 T 17/00 (2006. 01)

G O 6 T 17/00

G O 6 T 15/80 (2011. 01)

G O 6 T 15/80

請求項の数 17 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2017-30152 (P2017-30152)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成29年2月21日 (2017. 2. 21)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2018-136693 (P2018-136693A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成30年8月30日 (2018. 8. 30)	(74) 代理人	100109380
審査請求日	令和1年12月17日 (2019. 12. 17)		弁理士 小西 恵
		(74) 代理人	100109036
			弁理士 永岡 重幸
		(72) 発明者	岩尾 知頼
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
			ヤノン株式会社内
		審査官	板垣 有紀
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像処理装置および画像処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体に光を照射する複数の光源の位置を表す第1位置情報と、前記物体において法線を算出する位置を表す第2位置情報と、前記物体を撮像する撮像装置の位置を表す第3位置情報と、に基づいて、前記法線を算出する位置における法線を算出する算出手段と、

所定の条件に応じて、前記算出された法線を用いて、前記法線を算出する位置の深度を補正する補正手段と、を有し、

前記算出手段は、前記補正手段が前記深度を補正した場合に、前記補正された深度の位置における法線を算出し、

前記第1位置情報は、前記複数の光源においてある方向に向かって明るさを変化させる照明パターンにより光が照射された前記物体を撮像して得られる輝度から、前記複数の光源を同じ明るさで発光させる照明パターンにより光が照射された前記物体を撮像して得られる輝度を除算することにより得られることを特徴とする画像処理装置。

【請求項 2】

前記補正手段が前記深度を補正すべきか否かを判定する判定手段をさらに有し、
前記補正手段は、前記判定手段が前記深度を補正すべきと判定した場合に、前記深度を補正することを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 3】

前記判定手段は、前記撮像装置の光軸方向に平行な法線と、前記算出手段が算出した法線と、がなす角度が所定の閾値以上である場合、前記深度を補正すべきと判定することを

特徴とする請求項 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 4】

前記補正手段は、前記撮像装置の光軸方向に平行な法線と、前記算出手段が算出した法線と、がなす角度が所定の閾値以上である場合、前記深度を補正することを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 5】

前記第 1 位置情報は、前記物体における鏡面反射光の強度に基づいて取得されることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか一項に記載の画像処理装置。

【請求項 6】

前記算出手段は、前記光源の位置と前記法線を算出する位置とに基づいて前記物体から前記光源へ方向を表す光源ベクトルを算出し、前記撮像装置の位置と前記法線を算出する位置とに基づいて前記物体から前記撮像装置へ方向を表す視線ベクトルを算出し、前記光源ベクトルと前記視線ベクトルとの和を算出することによって、前記法線を算出することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載の画像処理装置。

【請求項 7】

前記第 2 位置情報は、前記撮像装置から前記物体までの距離に基づいて取得されることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか一項に記載の画像処理装置。

【請求項 8】

前記撮像装置は前記複数の光源からの光が照射された前記物体を撮像し、
前記第 1 位置情報として、前記物体を撮像して得られる画像における前記物体に対応する各画素について、前記複数の光源の中から、前記物体の表面において鏡面反射する光を発する光源の位置情報が取得され、
前記算出手段は、前記各画素について、前記法線を算出することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか一項に記載の画像処理装置。

【請求項 9】

前記光源は複数の照明パターンによって前記物体に光を照射し、
前記撮像装置は前記照明パターンごとに前記物体を撮像することを特徴とする請求項 8 に記載の画像処理装置。

【請求項 10】

前記複数の照明パターンは、前記複数の光源を互いに異なる明るさで発光させた場合の照明パターンと、前記複数の光源を同じ明るさで発光させた場合の照明パターンとを含むことを特徴とする請求項 9 に記載の画像処理装置。

【請求項 11】

前記補正手段は、前記算出された法線を用いて前記物体の表面における高さ分布を算出し、前記高さ分布に基づいて、前記深度を補正することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 10 のいずれか一項に記載の画像処理装置。

【請求項 12】

前記補正手段は、前記高さ分布に基づいて前記撮像装置から前記物体までの距離を算出し、前記撮像装置から前記物体までの距離に基づいて前記深度を補正することを特徴とする請求項 11 に記載の画像処理装置。

【請求項 13】

前記第 2 位置情報は、前記撮像装置から前記物体までの距離を表す深度データまたは前記物体の形状を表す形状データに基づいて取得されることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 12 のいずれか一項に記載の画像処理装置。

【請求項 14】

物体に光を照射する複数の光源の位置を表す第 1 位置情報と、前記物体において法線を算出する位置を表す第 2 位置情報と、前記物体を撮像する撮像装置の位置を表す第 3 位置情報と、に基づいて、前記法線を算出する位置における法線を算出する算出手段と、
前記法線を算出する位置の補正と、前記補正された法線を算出する位置における法線の算出と、を含む処理が行われるか否かを判定する判定手段と、を有し、

前記算出手段は、前記判定手段が前記処理が行われないと判定するまで、前記処理を繰り返し行い、

前記第 1 位置情報は、前記複数の光源においてある方向に向かって明るさを変化させる照明パターンにより光が照射された前記物体を撮像して得られる輝度から、前記複数の光源を同じ明るさで発光させる照明パターンにより光が照射された前記物体を撮像して得られる輝度を除算することにより得られることを特徴とする画像処理装置。

【請求項 15】

物体に光を照射する複数の光源の位置を表す第 1 位置情報と、前記物体において法線を算出する位置を表す第 2 位置情報と、前記物体を撮像する撮像装置の位置を表す第 3 位置情報と、に基づいて、前記法線を算出する位置における法線を算出する算出ステップと、

所定の条件に応じて、前記算出された法線を用いて、前記法線を算出する位置の深度を補正する補正ステップと、を有し、

前記補正ステップにおいて前記深度が補正された場合に、前記算出ステップにおいて、前記補正された深度の位置における法線を算出し、

前記第 1 位置情報は、前記複数の光源においてある方向に向かって明るさを変化させる照明パターンにより光が照射された前記物体を撮像して得られる輝度から、前記複数の光源を同じ明るさで発光させる照明パターンにより光が照射された前記物体を撮像して得られる輝度を除算することにより得られることを特徴とする画像処理方法。

【請求項 16】

物体に光を照射する複数の光源の位置を表す第 1 位置情報と、前記物体において法線を算出する位置を表す第 2 位置情報と、前記物体を撮像する撮像装置の位置を表す第 3 位置情報と、に基づいて、前記法線を算出する位置における法線を算出する算出ステップと、

前記法線を算出する位置の補正と、前記補正された法線を算出する位置における法線の算出と、を含む処理が行われるか否かを判定する判定ステップと、を有し、

前記判定ステップにおいて前記処理が行われないと判定されるまで、前記算出ステップにおいて前記処理を繰り返し行い、

前記第 1 位置情報は、前記複数の光源においてある方向に向かって明るさを変化させる照明パターンにより光が照射された前記物体を撮像して得られる輝度から、前記複数の光源を同じ明るさで発光させる照明パターンにより光が照射された前記物体を撮像して得られる輝度を除算することにより得られることを特徴とする画像処理方法。

【請求項 17】

コンピュータを、請求項 1 乃至請求項 14 のいずれか一項に記載の画像処理装置の各手段として機能させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、画像処理装置および画像処理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

物体（被写体）の撮像画像から当該物体の法線を算出する技術としては、多灯照明を用いて当該物体に対して光を照射し、その鏡面反射光から法線を算出する技術が知られている（特許文献 1）。鏡面反射光から法線を算出する技術では、法線算出対象物体に対して輝度が空間的に変化する多灯照明から光を照射し、その反射光を撮像装置に入射させる。そして、当該反射光から拡散反射光を除外し、鏡面反射光のみを抽出する。その後、その鏡面反射光の強度に基づいて、物体から正反射して撮像装置に入射する光を照射する光源の位置を算出する。最後に、光源の位置と撮像装置の位置と法線取得位置（法線算出対象物体上の法線の起点となる位置）から、光源ベクトルと視線ベクトルを算出し、光源ベクトルと視線ベクトルから法線を算出する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 3 】

【特許文献 1】米国特許第 8 1 3 4 5 5 5 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

しかしながら特許文献 1 では、法線取得位置を特定の一点（例えば、多灯照明装置の中心）として、光源ベクトルと視線ベクトルを算出していた。そのため、法線算出対象物体がある程度の大きさを有する場合、光源ベクトルと視線ベクトルを正確に算出することができなくなる。つまり、法線算出対象物体が無視できない大きさを有する場合には、当該物体上の法線取得位置は一点に定まらないので、特許文献 1 のように法線取得位置を特定の一点としてしまうと、光源ベクトルと視線ベクトルを正確に算出することができない。したがって、特許文献 1 の技術では、法線算出精度が低下するという課題があった。

10

本発明は、上記した課題を解決すべく、法線算出対象物体の大きさにかかわらず、当該物体の法線をより高い精度で算出することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 5 】

上記した目的を達成するために、本発明の 1 つの態様に係る画像処理装置は、物体に光を照射する複数の光源の位置を表す第 1 位置情報と、前記物体において法線を算出する位置を表す第 2 位置情報と、前記物体を撮像する撮像装置の位置を表す第 3 位置情報と、に基づいて、前記法線を算出する位置における法線を算出する算出手段と、所定の条件に応じて、前記算出された法線を用いて、前記法線を算出する位置の深度を補正する補正手段と、を有し、前記算出手段は、前記補正手段が前記深度を補正した場合に、前記補正された深度の位置における法線を算出し、前記第 1 位置情報は、前記複数の光源においてある方向に向かって明るさを変化させる照明パターンにより光が照射された前記物体を撮像して得られる輝度から、前記複数の光源を同じ明るさで発光させる照明パターンにより光が照射された前記物体を撮像して得られる輝度を除算することにより得られる。

20

【発明の効果】

【 0 0 0 6 】

本発明によれば、物体の法線をより高い精度で算出できる。

【図面の簡単な説明】

30

【 0 0 0 7 】

【図 1】実施形態 1 の画像処理装置の構成を示すブロック図。

【図 2】実施形態 1 の法線算出システムの一例を示す図。

【図 3】実施形態 1 の法線算出システムの機能ブロック図。

【図 4】実施形態 1 の画像処理装置で行われる処理の流れを示すフローチャート。

【図 5】実施形態 1 の法線算出システムにおいて画素毎に法線を算出する模式図。

【図 6】実施形態 1 の画像処理装置の処理結果の一例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 8 】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。なお、以下の実施形態は本発明を限定するものではなく、また、本実施形態で説明されている特徴の組み合わせの全てが本発明の解決手段に必須のものとは限らない。実施形態の構成は、本発明が適用される装置の仕様や各種条件（使用条件、使用環境等）によって適宜修正又は変更され得る。

40

【 0 0 0 9 】

実施形態 1

本実施形態においては、従来の方法により算出した法線から深度を取得し、当該深度を用いて再度法線を算出するという処理を繰り返し行うことにより、高精度に法線を算出する。すなわち、繰り返し処理により取得した深度から、法線算出対象物体の法線取得位置を算出し、法線算出の際に視線ベクトルと光源ベクトルを補正することで法線算出精度を

50

向上させる。深度とは、撮像装置から法線算出対象物体までの距離である。

【0010】

(画像処理装置の構成)

図1は、本発明に係る画像処理装置100の構成の一例を示す図である。画像処理装置100は、CPU101、RAM102、ROM103、二次記憶装置104、入力インターフェース105、出力インターフェース106、およびシステムバス107を有する。画像処理装置100には、入力装置108と外部蓄積装置109と表示装置110が接続されている。より詳しくは、入力装置108は画像処理装置100の入力インターフェース105に接続され、外部蓄積装置109は画像処理装置100の入力インターフェース105と出力インターフェース106に接続されている。また、表示装置110は画像

10

処理装置100の出力インターフェース106に接続されている。CPU101は、RAM102をワークメモリとして、ROM103に格納されたプログラムを実行し、システムバス107を介して画像処理装置100の各部を統括的に制御する処理回路である。CPU101がプログラムを実行することにより、後述する様々な処理が実行される。

【0011】

二次記憶装置104は、システムバス107を介してプログラムの実行に必要なデータの蓄積を行うことができるメモリである。また、二次記憶装置104に蓄積されたデータは、システムバス107を介して読み出すことが可能である。二次記憶装置104としては、HDD、光ディスクドライブ、フラッシュメモリ等の記憶デバイスを用いることができる。HDDはHard Disk Driveの略である。

20

入力インターフェース105は、例えばUSBやIEEE1394等のシリアルバスインターフェースである。画像処理装置100は、入力インターフェース105を介して、入力装置108や外部蓄積装置109などからデータなどを取得することができる。

出力インターフェース106は、例えばDVIやHDMI(登録商標)等の映像出力端子である。画像処理装置100は、出力インターフェース106を介して、表示装置110に、処理された画像などを表示することができる。出力インターフェース106は、例えば、USBやIEEE1394等のシリアルバスインターフェースである。画像処理装置100は、出力インターフェース106を介して、外部蓄積手段109へのデータの蓄積を行うことができる。

30

【0012】

入力装置108は、ユーザが所望の情報やデータを画像処理装置100に入力するためのものである。入力装置108は、例えば、キーボード、マウス、タッチパネル、音声入力部等を含む。

外部蓄積装置109は、例えば、ハードディスク、メモリーカード、CFカード、SDカード、USBメモリである。CFはCompact Flashの略である。

表示装置110は、液晶ディスプレイなどの出力デバイスである。なお、表示装置110は音声出力部を備えてもよい。

画像処理装置100の構成要素は上記以外にも存在し得る(例えば、外部の機器と通信を行う通信部)が、法線の算出に関連がない構成要素の説明は本明細書において省略する。

40

【0013】

(法線算出システムの構成)

図2(A)は、法線算出システム200の概略構成を示している。図2(A)に示されているように、法線算出システム200は、画像処理装置100と、撮像装置201と、光源装置202と、撮影ステージ204とを有する。法線算出システム200は、法線算出対象物体(以下、「物体」と称する)203の法線を算出するシステムである。物体203は、例えば、球体である。画像処理装置100は、撮像装置201と光源装置202に接続されている。法線算出システム200は、画像処理装置100を含む画像処理システムである。

50

撮像装置 201 は、物体 203 の画像を撮像する装置である。撮像装置 201 は、例えば、カメラである。

光源装置 202 は、複数の点光源からなる照明装置である。点光源の配置等については、図 2 (B) を用いて後述する。

撮影ステージ 204 は、物体 203 を置くステージ (載置台) である。撮影ステージ 204 は、伸長収縮できるように構成されるか、移動可能に構成され、物体 203 を光源装置 202 の中心 O に配置することができる。

【0014】

(光源装置の複数の点光源)

図 2 (B) は、光源装置 202 が物体 203 に光を照射する様子を示している。図 2 (B) に示されるように、光源装置 202 は複数の照明 (点光源) 205 を有している。点光源 205 は離散的に且つ球面状に配置されている。光源装置 202 は、点光源 205 を異なる輝度で発光させることができる。つまり、光源装置 202 は、点光源 205 の輝度を連続して (徐々に、滑らかに、段階的に) 変化させることができる (勾配照明)。勾配照明は *gradient illumination* と称される。また、光源装置 202 は、点光源 205 を同一の輝度で発光させることもできる (均一照明)。図 2 (B) には、光源装置 202 が物体 203 に向けて、点光源 205 から異なる輝度で光を照射する様子を描いてある。

物体 203 から点光源 205 へ向かうベクトル L が光線ベクトルであり、物体 203 から撮像装置 201 へ向かうベクトル C が視線ベクトルである。符号 N は法線ベクトルを示す。物体 203 上の点 206 は、法線取得位置 (法線 N の起点になる位置) を示す。なお、撮像装置 201 の位置は、図示の都合上、図 2 (A) とは異なるように描かれている。

【0015】

次に、画像処理装置 100 で行われる処理について、図 3 に示すブロック図と図 4 に示すフローチャートとを参照して説明する。画像処理装置 100 は、CPU 101 が、ROM 103 に格納されたプログラムを、RAM 102 をワークメモリとして実行することで、図 3 に示す各ブロックとして機能し、図 4 に示す各ステップの処理を行う。なお、以下に示す処理の全てが CPU 101 によって実行される必要はなく、処理の一部又は全部が CPU 101 以外の一つ又は複数の処理回路によって行われるように画像処理装置 100 が構成されていてもよい。

【0016】

(画像処理装置の機能ブロック図)

図 3 に示されているように、機能ブロックで描くと、画像処理装置 100 は、画像取得部 301、制御部 302、光源位置算出部 303、法線算出部 304、繰り返し処理判定部 305、高さマップ算出部 306 および深度算出部 307 から成る。

画像取得部 301 は、光源装置 202 によって照射された物体 203 を撮像した撮像装置 201 から画像を取得する。また、画像取得部 301 は、物体 203 の画像から鏡面反射光成分を抽出する。

制御部 302 は、所定の規則 (例えば、3 種類の勾配照明パターンと、1 種類の均一照明パターン) に従って、光源装置 202 の点光源 205 を点灯させる。制御部 302 は、光源装置 202 からの照射光により物体 203 を照射し、撮像装置 201 が物体 203 を撮像できるようにしている。

【0017】

光源位置算出部 303 は、画像の画素毎に、法線算出のための点光源 205 の位置を算出 (取得) する。

法線算出部 304 は、物体 203 の深度 (法線取得位置) と、撮像装置 201 の位置と、点光源の位置とから、法線を算出する。撮像装置 201 の位置は、事前に、入力装置 108 から画像処理装置 100 に入力されていてもよいし、撮像中に取得してもよい。撮像装置 201 の位置の情報は、例えば、入力装置 108 から RAM 102 に入力・記憶され

10

20

30

40

50

、必要なときに、法線算出部 304 が RAM 102 から取得する。

【0018】

繰り返し処理判定部 305 は、所定の条件の下で、繰り返し処理（後述する）を続けるかを判定する。繰り返し処理を続けないという判定結果の場合、繰り返し処理判定部 305 は法線算出部 304 が算出した法線が適切な法線であるとして、画像処理装置 100 から当該法線を出力する。繰り返し処理を続けるという判定結果の場合、繰り返し処理判定部 305 は法線算出部 304 が算出した法線が適切な法線でないとして、当該法線を高さマップ算出部 306 に出力する。

高さマップ算出部 306 は、法線から画像の画素の高さマップを作成（算出）する。

深度算出部 307 は、高さマップを深度マップに変換する。物体 203 の深度は、深度算出部 307 から法線算出部 304 に入力される。物体 203 の深度は法線取得位置 206 として用いることができるので、深度算出部 307 は、算出された法線を用いて、法線取得位置を補正していると言える。

【0019】

（画像処理装置の処理フロー）

S401 では、画像取得部 301 が、処理対象である物体 203 の画像を撮像装置 201 から取得する。つまり、画像取得部 301 は、法線算出用画像を撮像装置 201 から取得する。そして、画像取得部 301 は、法線算出用画像を光源位置算出部 303 に出力する。

S401 で取得される画像（法線算出用画像）は、制御部 302 によって所定の規則（所定の照明パターン）に従って点灯された光源装置 202 によって照らされた物体 203 を撮像して得た画像群である。ここで、所定の規則とは、例えば、特許文献 1 に示すような鏡面反射光を用いて法線を算出するための照明パターンのことである。特許文献 1 では光源装置 202 のように離散的に配置された連続的に輝度を変化させられる多灯照明（複数の点光源 205）を、互いに直交する x、y、z の各々の軸方向に滑らかに輝度を変化させて 3 種類の勾配照明パターンで照明を行う。すなわち、x 軸方向に滑らかに輝度を変化させて 1 種類のパターンを作り、y 軸方向に滑らかに輝度を変化させて 1 種類のパターンを作り、z 軸方向に滑らかに輝度を変化させて 1 種類のパターンを作り、物体 203 に光を照射する。

【0020】

光源装置 202 の中心 O から見て角度 θ_i の方向に存在する点光源 205 の放射輝度 L_i は、光源装置 202 の中心 O に入射する光線の向きを表す単位ベクトル \mathbf{u}_i と定数 c を用いると、式 (1) で表すことができる。式 (1) において、i は x、y、z のいずれかを表す。また、 θ_i は、光源装置 202 の中心 O と点光源 205 を結ぶ直線と、i 軸とがなす角度を表す。

$$L_i(\theta_i) = c \cdot \cos(\theta_i) \quad (1)$$

【0021】

次に、制御部 302 は、全ての点光源 205 を同じ輝度で点灯させる（均一照明）。均一照明の場合、点光源 205 の放射輝度は角度 θ_i に依存せず、式 (2) で表される。

$$L_c = c \quad (2)$$

このとき、1 つの偏光板を点光源 205 に配置し、別の偏光板を撮像装置 201 に配置しておく。そして、点光源 205 に配置した偏光板と撮像装置 201 に配置した偏光板の主軸の方向を、直交させた場合と平行にした場合の二通りで撮像を行う。画像取得部 301 は、それらの画像の差分をとることで鏡面反射光成分（以下、「鏡面反射光」と称する）を抽出する。撮像された画像群は RAM 102 や二次記憶装置 104 に記憶しておく。なお、鏡面反射光の抽出はこの方法のみに限定されない。例えば、二色性反射モデルを用いた方法等を利用して鏡面反射光の抽出を行うこともできる。画像取得部 301 は、鏡面

10

20

30

40

50

反射光を光源位置算出部 303 に出力する。

【0022】

S402では、光源位置算出部303が、法線算出用の画像群に基づき、複数の点光源205の中から、物体203から正反射して撮像装置201に入射する鏡面反射光を発する点光源205の位置（以下、「光源位置」と称する）を画素毎に算出する。各画素（ x' 、 y' ）に対する鏡面反射係数を（ x' 、 y' ）とすると、撮像装置201を用いて観測した輝度 I は、画素毎に、勾配照明の場合は式（3）で表すことができ、均一照明の場合は式（4）で表すことができる。

$$I_i(x_i, x', y') = (x', y') c_i(x_i) \quad (3)$$

$$I_c = (x', y') c \quad (4)$$

10

式（3）を式（4）で除算することで式（5）を得る。

【0023】

【数1】

$$\frac{I_i(\theta_i)}{I_c} = \omega_i(\theta_i) \quad (5)$$

【0024】

式（5）から入射光ベクトルの x 成分、 y 成分、 z 成分が分かるため、鏡面反射する光（鏡面反射光）を発する点光源205の存在する位置（光源位置） L' を特定できる。このようにして、S402では、光源位置算出部202が、画像の画素毎に光源の位置を取得する。

20

S403では、法線算出部304が、深度算出部307が出力した物体203の深度と撮像装置201の位置と光源位置とから、画像の画素毎に法線を算出する。物体203の深度は法線取得位置206として用いることができる。撮像装置201で撮像した画像における画素（ x' 、 y' ）に対応する深度 V' （ x' 、 y' ）は、撮像装置201から物体203の各点（法線取得位置）に対する奥行き方向の距離を表している。従って、深度の最大値を V'_{\max} 、画像の幅を w 、高さを h 、中心画素を（ x_o' 、 y_o' ）とすると、画素（ x' 、 y' ）における法線取得位置ベクトル P は水平画角 ϕ_H 、垂直画角 ϕ_V を用いて式（6）で表される。法線取得位置ベクトル P は、撮像装置201の座標の原点から出るベクトルである。水平画角 ϕ_H 及び垂直画角 ϕ_V は、撮像装置（カメラ）201の画角である。

30

【0025】

【数2】

$$P(x', y') = \left(\frac{2V'_{\max} \tan \phi_H}{w} (x' - x_o'), \frac{2V'_{\max} \tan \phi_V}{h} (y' - y_o'), V'(x', y') \right) \quad (6)$$

【0026】

40

視線ベクトル C' と入射光線ベクトル L' は、撮像装置201の位置ベクトルを C' とし、点光源205の位置ベクトルを L' とし、法線取得位置ベクトル P を用いると、それぞれ、式（7）及び式（8）で表される。

$$C''(x', y') = C'(x', y') - P(x', y') \quad (7)$$

$$L''(x', y') = L'(x', y') - P(x', y') \quad (8)$$

視線ベクトル C' と入射光線ベクトル L' を用いて、式（9）で法線ベクトル N を算出する。

【0027】

50

【数 3】

$$\mathbf{N}(x', y') = \frac{\mathbf{C}''(x', y') + \mathbf{L}''(x', y')}{\|\mathbf{C}''(x', y') + \mathbf{L}''(x', y')\|} \quad (9)$$

【0028】

画素毎の法線算出の模式図を図5に示す。図5に示すように、画素毎に視線ベクトル \mathbf{C}' と入射光線ベクトル \mathbf{L}' は異なるため、算出される法線ベクトル \mathbf{N} も画素毎に異なる。

なお、一度目の繰り返し処理（ループ処理）では、物体203の深度は未知であるため、法線取得位置206は光源装置202の中心Oであるとする。二度目以降のループ処理では深度算出部307が出力した物体203の深度を用いる。ループ処理とは、S403 - S404 - S405 - S406 - S403のループで行われる処理のことである。

【0029】

S404では、法線算出部304がm回目のループ処理において出力した画素 (i, j) の法線ベクトル $\mathbf{N}_m(i, j)$ と、 $m-1$ 回目のループ処理において出力した画素 (i, j) の法線ベクトル $\mathbf{N}_{m-1}(i, j)$ とのなす角度を用いて判定を行う。より詳しくは、S404では、繰り返し処理判定部305が、法線ベクトル $\mathbf{N}_m(i, j)$ と法線ベクトル $\mathbf{N}_{m-1}(i, j)$ とのなす角度（角度の差分）が閾値 未満か否かにより、繰り返し処理の必要性の有無を判定する。閾値 は、例えば、事前にユーザが入力装置108により入力・設定しておく。法線ベクトルの角度の差分は複数得られるので、S404では、複数の差分の平均値を用いる。複数の法線ベクトルの角度の差分の平均値が閾値 未満であるか否かによって、繰り返し処理の必要性の有無を判定する。なお一度目のループ処理においては、所定の法線ベクトル $\mathbf{N}_0(i, j)$ を使用する。例えば、物体203に対して撮像装置201の光軸方向に平行な法線を法線ベクトル $\mathbf{N}_0(i, j)$ とする。

S404では、例えば、法線ベクトルの値を各画素に格納した法線マップを用いる。S404における繰り返し処理の必要性の判定条件は式(10)のように表わすことができる。

【0030】

【数 4】

$$\frac{\sum_{j=1}^h \sum_{i=1}^w \cos^{-1}(\mathbf{N}_m(i, j) \mathbf{N}_{m-1}(i, j))}{wh} \leq \phi \quad (10)$$

【0031】

繰り返し処理が必要ない場合（S404：Yes）、ループ処理を終了し、繰り返し処理判定部305は、法線算出部304から入力された法線をそのまま出力する。繰り返し処理が必要である場合（S404：No）、繰り返し処理判定部305は、入力された法線を高さマップ算出部306へ出力する。

S405では、高さマップ算出部306が、繰り返し処理判定部305が出力した法線から高さマップを算出することにより、物体203の高さマップを取得する。高さマップ算出部306は、取得した高さマップを深度算出部407へ出力する。各画素 (i, j) における法線ベクトルを $\mathbf{N}(i, j)$ とすると、各画素の高さ $V(i, j)$ は式(11)で表される。

【0032】

10

20

30

40

【数 5】

$$V(i, j) = \sum_{x=0}^{i-1} \frac{N_x(x, j)}{N_z(x, j)} + \sum_{y=0}^{j-1} \frac{N_x(i, y)}{N_z(i, y)} \quad (11)$$

【0033】

この高さマップは撮像装置 201 の光軸に直交するある平面（高さマップの基準面）からの高さを n ビットのモノクロ画像に格納したものである。

S406 では、深度算出部 307 が、高さマップ算出部 306 が出力した高さマップを撮像装置 201 から物体 203 までの深度マップへ変換することにより、深度を取得（算出）する。高さマップは基準面からの高さをモノクロ画像に格納したものであるため、撮像装置 201 から基準面までの距離 d を決定することで、撮像装置 201 から物体 203 までの深度を決定できる。そこで、物体 203 が球面状に配置した点光源 205 の中心 O 付近にあるとして、距離 d を撮像装置 201 から点光源 205 の中心 O までの距離の近傍で変化させた際の法線 $N_d(i, j)$ の変化率を計算し、変化率を最も小さくする距離 d を採用する。例えば、高さマップに格納されている高さの値の範囲が 0 から a までであるとする。そして、深度 $V'(i, j)$ に対する深度マップの輝度値が $I'(i, j)$ であるとき、画素 (i, j) における撮像装置 201 から物体 203 までの深度 $V'(i, j)$ は式 (12) で表される。なお、高さの値の範囲については被写体（物体 203）の大きさに合わせて、ユーザが入力装置 108 を用いて指定するものとする。

【0034】

【数 6】

$$V'(i, j) = d - \frac{aI'(i, j)}{2^n - 1} \quad (12)$$

【0035】

V' は撮像装置から物体 203 までの距離を表すため、 V' を用いて式 (6) から法線取得位置ベクトル P を算出する。法線取得位置ベクトル P を用いて、式 (7) および式 (8) から視線ベクトル C' および入射光線ベクトル L' を算出する。そして、視線ベクトル C' および入射光線ベクトル L' を用いて、式 (9) から法線ベクトル N を算出する。つまり、視線ベクトル C' と入射光線ベクトル L' の和から法線ベクトル N を算出する。

d を算出する場合には、撮像装置 201 から高さマップの基準面までの距離を d だけ変化させて法線ベクトルを算出し、法線ベクトルの変化率を最小とする d を算出する。すなわち、高さマップの画像の幅を w とし、高さを h とし、式 (13) を満たすような d を採用する。

【0036】

【数 7】

$$\hat{d} = \arg \min \left(\frac{\sum_{j=1}^h \sum_{i=1}^w \cos^{-1}(N_d(i, j) N_{d-\Delta d}(i, j))}{wh} \right) \quad (13)$$

【0037】

この d ハット (\hat{d}) を用いて、式 (6)、式 (7)、式 (8)、式 (9) および式 (

10

20

30

40

50

12) から法線を算出した後に (S403)、前述と同様に繰り返し処理の必要性の有無を判定する (S404)。繰り返し処理が必要ない場合、法線がそのまま出力され、繰り返し処理の必要がある場合、同様の手順で法線を算出することを繰り返す。本実施形態では、繰り返し処理が必要ないと判定された時点で、最終的な法線を算出する。

【0038】

(実施形態1の効果)

特許文献1では、法線取得位置がある一点であると仮定して法線ベクトルを算出していたために、法線取得位置がその一点からずれた際に、法線取得位置と撮像装置の位置と光源位置から算出される光源ベクトルと視線ベクトルにずれが生じる。そのため、それらのベクトルにより算出される法線の精度が低下する。しかし、本実施形態では法線算出 (S403) と深度算出 (S406) を繰り返し行うことで、法線と深度を徐々に高精度なものにして行く。そして、法線の精度が所定以上のものになったとき (S404: Yes)、繰り返し処理を終了して、当該法線を画像処理装置100から出力する。つまり、本実施形態では、法線を算出した後、すでに算出した法線 (または、予め用意してある法線) とのなす角度が閾値以上の場合、直前に算出した法線を用いて、深度 (法線取得位置) を補正する処理を行う。そして、補正された法線取得位置と、すでに取得している光源の位置と、すでに取得している撮像装置の位置とを用いて、法線を再度算出している。

【0039】

よって、本実施形態の画像処理装置100は、物体203の大きさ・形状を考慮 (つまり、物体203上の法線取得位置の違いを考慮) することで、法線取得位置のずれ (入射光線ベクトルと視線ベクトルのずれ) を低減補正し、法線の算出精度を向上している。

本実施形態の効果を実証するため、立方体モデルのCG画像に対して、上記した繰り返し処理を適用した際の法線の角度誤差を算出した。図6は、その算出結果を示している。図6は、横軸に繰り返し回数を取り、縦軸に法線に発生する角度誤差をとった際の法線算出誤差を示したグラフである。図6から、繰り返し処理によって法線の算出精度が向上していることが分かる。

【0040】

(変形例)

なお、上記した実施形態では、画像処理装置100に二次記憶装置104が含まれるとしたが、二次記憶装置104は画像処理装置100の外に設けてもよい。また、入力装置108および表示装置110が画像処理装置100の外に設けられるとしたが、入力装置108および表示装置110は、画像処理装置100に含まれてもよい。

上記した実施形態では、撮影ステージ204に球状の被写体 (物体203) が置かれたが、被写体は人物でもよい。例えば、椅子に座った人物の頭部 (顔部) が法線算出対象物体となった場合でも、本発明を適用することができる。また、撮影ステージ204は法線算出システム200に含まれるとしたが、法線算出システム200に含まなくてもよい。

【0041】

上記した実施形態では、画像取得部301が法線算出用画像の取得と鏡面反射光の抽出とを行ったが、鏡面反射光の抽出については、鏡面反射光抽出部を設けて、鏡面反射光抽出部に鏡面反射光の抽出を行わせてもよい。

画像処理装置100は、例えば、PC (パーソナルコンピュータ) で構成することができる。なお、画像処理装置100は、PC以外の装置 (例えば、タブレットコンピュータ、ウェアラブルコンピュータ) で構成することもできる。

【0042】

上記した実施形態では、複数の点光源を有する光源装置202を使用した。光源装置202は1つの光源を有するものでもよい。例えば、1つの光源を徐々に移動させながら、物体203を連続的に撮像した画像を加算することで、物体203に対して複数の光源から光を照射した際の画像を得ることができる。本発明は、光源の数にかかわらず、光源の位置、法線取得位置および撮像装置の位置を用いて、物体の法線取得位置における法線

を算出し、算出された法線を用いて、法線取得位置を補正する装置であれば適用することができる。つまり、本発明は、補正された法線取得位置と、光源の位置および撮像装置の位置とを用いて、法線を再度算出させる制御を行う装置であれば適用することができる。また、上記した実施形態では、光源装置 202 が点光源を有するとしたが、光源は点光源以外の光源でもよい。

【0043】

図3に示した機能ブロック構成は一例であり、複数の機能ブロックが1つの機能ブロックを構成するようにしてもよいし、何れかの機能ブロックが複数の機能を行うブロックに分かれてもよい。また、機能ブロックの少なくとも1つがハードウェアとして実装されてもよい。ハードウェアにより実装する場合、例えば、所定のコンパイラを用いることで、各ステップを実現するためのプログラムからFPGA上に自動的に専用回路を生成すればよい。FPGAとは、Field Programmable Gate Arrayの略である。また、FPGAと同様にしてGate Array回路を形成し、ハードウェアとして実現するようにしてもよい。また、ASIC(Application Specific Integrated Circuit)により実現するようにしてもよい。

10

【0044】

(その他の実施形態)

上記した実施形態では、画像処理装置100を説明したが、本発明はその他の形態でも具現化(実現)することができる。たとえば、上記した実施形態の1以上の機能を実現するプログラムを、ネットワーク又は記憶媒体を介してシステム又は装置に供給し、そのシステム又は装置のコンピュータにおける1つ以上のプロセッサがプログラムを読み出し実行する処理でも実現可能である。また、1以上の機能を実現する回路(例えば、ASIC)によっても実現可能である。

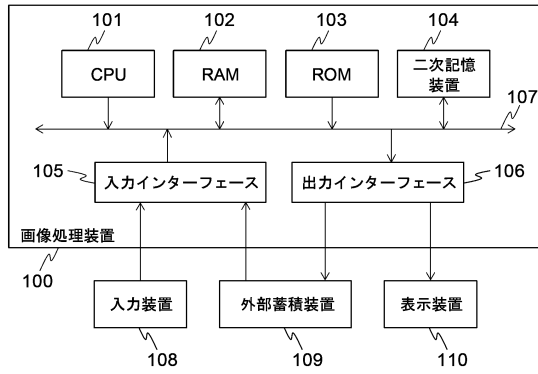
20

【符号の説明】

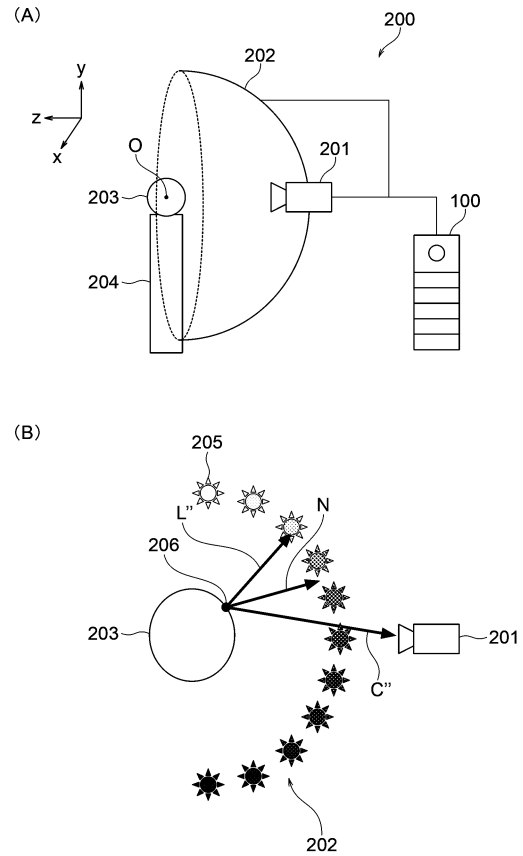
【0045】

100...画像処理装置、101...CPU、201...撮像装置、202...光源装置、203...法線算出対象物体、302...制御部、303...光源位置算出部、304...法線算出部、305...繰り返し処理判定部、307...深度算出部

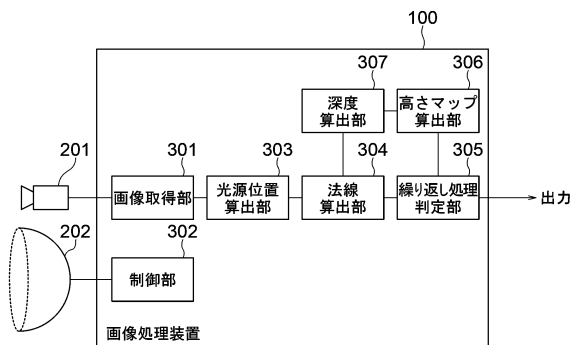
【 図 1 】



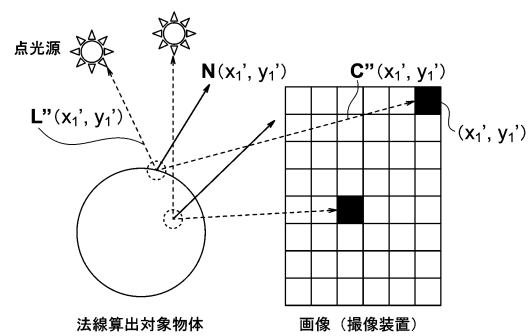
【 図 2 】



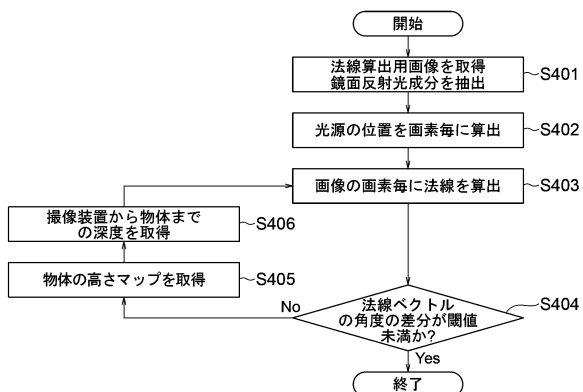
【圖 3】



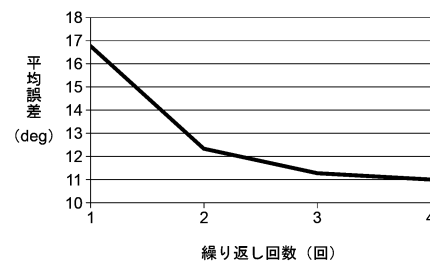
【 図 5 】



【圖 4】



【 図 6 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 1 6 - 1 8 6 4 2 1 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 6 / 0 2 6 1 8 5 0 (U S , A 1)
特開 2 0 1 1 - 2 3 2 0 8 7 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
G 0 6 T 1 7 / 0 0
G 0 6 T 1 5 / 8 0