

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6254849号
(P6254849)

(45) 発行日 平成29年12月27日 (2017.12.27)

(24) 登録日 平成29年12月8日 (2017.12.8)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 B 11/24 (2006.01)	GO 1 B 11/24 K
GO 1 B 11/00 (2006.01)	GO 1 B 11/00 H
GO 1 C 3/06 (2006.01)	GO 1 C 3/06 1 1 O A
GO 6 T 1/00 (2006.01)	GO 6 T 1/00 3 1 5

請求項の数 15 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2014-7270 (P2014-7270)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成26年1月17日 (2014.1.17)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2015-135293 (P2015-135293A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成27年7月27日 (2015.7.27)	(74) 代理人	100076428
審査請求日	平成29年1月6日 (2017.1.6)		弁理士 大塚 康德
		(74) 代理人	100112508
			弁理士 高柳 司郎
		(74) 代理人	100115071
			弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100116894
			弁理士 木村 秀二
		(74) 代理人	100130409
			弁理士 下山 治
		(74) 代理人	100134175
			弁理士 永川 行光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像処理装置、画像処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被写体に対して投影パターンを投影する投影手段と、
 前記投影パターンが投影された被写体を撮像する撮像手段と、
 前記投影手段により投影された投影パターンと、前記撮像手段により撮像された画像と、
 に基づいて、前記被写体の概略距離情報を計測する第1の計測手段と、
 前記概略距離情報に基づいて、前記撮像手段により撮像された画像中における前記投影
 パターンのそれぞれの領域が量けているか否かを判断する判断手段と、
 前記判断手段により量けていると判断された領域について、前記撮像手段により撮像さ
 れた画像と前記投影パターンに対する量かし処理を行うことで得られる画像との相関に基
 づいて前記被写体に対する距離情報を計測する第2の計測手段と
 を備えることを特徴とする画像処理装置。

【請求項 2】

前記投影手段による前記投影パターンの合焦位置は、該投影手段から見て、前記被写体
 の位置よりも遠方に位置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】

前記投影パターンは、第1の二次元パターン画像と第2の二次元パターン画像とを合成
 することで得られる画像であり、

前記投影パターンの各画素の画素値は、前記第一の二次元パターン画像及び前記第二の
 二次元パターン画像において該画素に対応する画素の画素値の和を、 N (N は2以上の整

数) 値化した値であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 4】

前記投影パターンは、第 1 の二次元パターン画像と第 2 の二次元パターン画像とを合成することで得られる画像であり、

前記投影パターンは、前記第一の二次元パターン画像と前記第二の二次元パターン画像とを合成したパターン画像に対して疑似多階調化を行ったパターン画像であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 5】

前記第 1 の計測手段は、前記投影パターンを縮小した縮小投影パターンと、前記撮像画像を縮小した縮小画像と、に基づいて、前記被写体の概略距離情報を計測することを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか 1 項に記載の画像処理装置。

10

【請求項 6】

前記被写体の概略距離情報は、前記被写体の表面の三次元座標であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 7】

前記投影パターンは、第 1 の二次元パターン画像と第 2 の二次元パターン画像とを合成することで得られる画像であり、

1 画素若しくは複数画素から成る領域を第一単位領域とし、該領域よりも大きいサイズの領域を第二単位領域とした場合、

前記第一の二次元パターン画像におけるそれぞれの第一単位領域には、複数の画素値のうち何れかが割り当てられており、

20

前記第二の二次元パターン画像におけるそれぞれの第二単位領域には、複数の画素値のうち何れかが割り当てられている

ことを特徴とする請求項 1 乃至 6 の何れか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 8】

前記第 1 の計測手段は、前記撮像手段により撮像された画像に基づく画像内の所定の大きさの領域内の画素値と、前記投影手段により投影された前記投影パターンに基づく画像内の所定の大きさの領域内の画素値と、の間の相関に基づいて、前記被写体の概略距離情報を計測することを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 9】

30

前記第 2 の計測手段は、前記判断手段により量けていないと判断された領域について、前記撮像手段により撮像された画像と前記投影パターンとの相関に基づいて前記被写体に対する距離情報を計測することを特徴とする請求項 1 乃至 8 の何れか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 10】

前記判断手段は、前記撮像手段により撮像された画像中の投影パターンの領域に対応する距離が前記投影手段の被写界深度よりも大きい場合には、前記撮像手段により撮像された画像中の投影パターンの領域は量けていると判断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 11】

40

前記第一単位領域及び前記第二単位領域には、前記複数の画素値のうちランダム若しくは疑似ランダムに決定された画素値が割り当てられていることを特徴とする請求項 7 に記載の画像処理装置。

【請求項 12】

前記第一単位領域及び前記第二単位領域のサイズは均一であることを特徴とする請求項 7 に記載の画像処理装置。

【請求項 13】

前記第一単位領域のサイズは、前記第一の二次元パターン画像の中央部に近いほど小さく、

前記第二単位領域のサイズは、前記第二の二次元パターン画像の中央部に近いほど小さく、

50

いことを特徴とする請求項 7 に記載の画像処理装置。

【請求項 1 4】

画像処理装置が行う画像処理方法であって、
前記画像処理装置の投影手段が、被写体に対して投影パターンを投影する投影工程と、
前記画像処理装置の撮像手段が、前記投影パターンが投影された被写体を撮像する撮像工程と、

前記画像処理装置の第 1 の計測手段が、前記投影工程で投影された投影パターンと、前記撮像工程で撮像された画像と、に基づいて、前記被写体の概略距離情報を計測する第 1 の計測工程と、

前記画像処理装置の判断手段が、前記概略距離情報に基づいて、前記撮像工程で撮像された画像中における前記投影パターンのそれぞれの領域が量けているか否かを判断する判断工程と、

前記画像処理装置の第 2 の計測手段が、前記判断工程で量けていると判断された領域について、前記撮像工程で撮像された画像と前記投影パターンに対する量かし処理を行うことで得られる画像との相関に基づいて前記被写体に対する距離情報を計測する第 2 の計測工程と

を備えることを特徴とする画像処理方法。

【請求項 1 5】

撮像手段、投影手段、第 1 の計測手段、第 2 の計測手段を有するコンピュータに、請求項 1 4 に記載の画像処理方法の各工程を実行させるためのコンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、被写体の三次元形状を計測するための技術に関するものである。

【背景技術】

【0 0 0 2】

所定のパターンを被写体に投影して、その撮像画像から所定のパターンの歪みを計算することで、被写体の三次元形状や表面の歪みを計測する技術が従来から実施されている。特に、被写体に対してランダムパターンを投影し、局所的な変位量を相関演算によって計算して被写体の三次元形状や表面の歪み具合を計測できる手法が広く知られている。しかし、被写体の位置がパターンの結像範囲外に存在するような条件下では、投影されるパターンにボケが生じてコントラストが低下し、正確な計測を行えなくなるという課題がある。

【0 0 0 3】

このような課題を解決するために、パターンが投影された被写体の画像を評価し、適切なパターンではないと判定された場合はその他のパターンに切り替えるような適応的な手法が提案されている。特許文献 1 では、テクスチャを有する被写体に対してパターンを投影し、適切なパターンかどうかを評価して、適切でなければその他のパターンに切り替える方式としている。このような方式は、被写体のテクスチャに対してだけでなく、ボケに対して適用することも可能である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0 0 0 4】

【特許文献 1】特開 2 0 0 1 - 1 4 7 1 1 0 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 5】

しかし、上記従来技術では、投影するパターンを任意に変更することが可能な投影装置を必要としており、構造が複雑で高価な画像プロジェクタ等を使用しなければならない、という課題がある。また、パターンの切り替えに時間を要し、撮影枚数も増加する、とい

10

20

30

40

50

う課題もある。

【 0 0 0 6 】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであり、投影パターンの投影対象である被写体が該投影パターンの結像範囲外に存在するような条件下においても、より簡便な構成でもって、より高精度に該被写体の三次元形状を計算するための技術を提供する。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

本発明の一様態は、被写体に対して投影パターンを投影する投影手段と、
前記投影パターンが投影された被写体を撮像する撮像手段と、
前記投影手段により投影された投影パターンと、前記撮像手段により撮像された画像と
に基づいて、前記被写体の概略距離情報を計測する第 1 の計測手段と、
前記概略距離情報に基づいて、前記撮像手段により撮像された画像中における前記投影
パターンのそれぞれの領域が量けているか否かを判断する判断手段と、
前記判断手段により量けていると判断された領域について、前記撮像手段により撮像さ
れた画像と前記投影パターンに対する量かし処理を行うことで得られる画像との相関に基
づいて前記被写体に対する距離情報を計測する第 2 の計測手段と
を備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 0 8 】

本発明の構成により、投影パターンの投影対象である被写体が該投影パターンの結像範囲外に存在するような条件下においても、より簡便な構成でもって、より高精度に該被写体の三次元形状を計算することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 9 】

【図 1】画像処理装置の機能構成例を示すブロック図。

【図 2】投影パターン E の一例を示す図。

【図 3】画像処理装置が行う処理のフローチャート。

【図 4】ステップ S 3 0 1 における処理の詳細を示すフローチャート。

【図 5】第一の二次元パターン画像の一例を示す図。

【図 6】第二の二次元パターン画像の一例を示す図。

【図 7】合成乱数列 R a の各要素の値を画素値とする画像の一例を示す図。

【図 8】ステップ S 3 0 4 における処理の詳細を示すフローチャート。

【図 9】ステップ S 8 0 3 の処理を説明する図。

【図 1 0】ステップ S 8 0 7 の処理を説明する図。

【図 1 1】プロジェクタ 1 0 2、カメラ 1 0 4、点 s d、の位置関係を簡略化した模式図。

【図 1 2】ステップ S 3 0 6 における処理のフローチャート。

【図 1 3】撮像画像 C の一例を示す図。

【図 1 4】プロジェクタ 1 0 2 の被写界深度と被写体 1 0 1 の位置との関係を示す図。

【図 1 5】投影パターン E にガウシアンフィルタを施した結果を示す図

【図 1 6】フィルタの構成例を示す図。

【図 1 7】ステップ S 3 0 1 における処理の詳細を示すフローチャート。

【図 1 8】投影パターン E の一例を示す図。

【図 1 9】ステップ S 3 0 1 における処理の詳細を示すフローチャート。

【図 2 0】ステップ S 1 9 0 4 における処理の詳細を示すフローチャート。

【図 2 1】投影パターン E の一例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 0 】

以下、添付図面を参照し、本発明の好適な実施形態について説明する。なお、以下説明する実施形態は、本発明を具体的に実施した場合の一例を示すもので、特許請求の範囲に

10

20

30

40

50

記載した構成の具体的な実施例の１つである。

【００１１】

〔第１の実施形態〕

本実施形態では、三次元形状を有する対象物の三次元形状を計測する画像処理装置について説明する。まず、本実施形態に係る画像処理装置の機能構成例について、図１のブロック図を用いて説明する。

【００１２】

プロジェクタ１０２は、三次元形状を計測する対象となる被写体１０１に対し、投影パターン生成部１０３が生成した投影パターンを投影する。ここで、プロジェクタ１０２の光軸に沿って奥行きの方向をｚ軸方向とした場合に、プロジェクタ１０２は、投影パターンが、被写体１０１よりも遠方の位置（最遠方 z_f ）で合焦するように、該投影パターンを投影する。

10

【００１３】

投影パターン生成部１０３は、図２に示すような投影パターンＥを生成する。投影パターンＥは図２に示すように、後述する手順によって配置された輝点群で構成されており、ランダム性により自己相関のピークを良好に検出でき、投影パターンＥ以外の画像との相互相関性が低いという性質を有する。さらに、被写体１０１がプロジェクタ１０２の被写界深度外に存在し、該被写体１０１に投影された投影パターンＥにボケが生じた場合にも、コントラストの低下が少ない、という性質を有する。

【００１４】

20

カメラ１０４は、プロジェクタ１０２によって投影パターンＥが投影された被写体１０１を撮像して撮像画像Ｃを生成する。なお、本実施形態では処理を簡易にするために、プロジェクタ１０２及びカメラ１０４の画角は同一であり、且つ投影パターンＥと撮像画像Ｃとは同じ画像サイズ（同じ解像度）を有するものとする。また、プロジェクタ１０２及びカメラ１０４は、それぞれの光軸が並行となるように配置されている。

【００１５】

視差計算部１０５は、撮像画像Ｃ中に写っている被写体１０１上の投影パターンＥと、投影パターン生成部１０３が生成した投影パターンＥと、の間でマッチングを行って、プロジェクタ１０２とカメラ１０４との間で発生する被写体１０１上の視差を計算する。

【００１６】

30

三次元形状計算部１０６は、視差計算部１０５が計算した視差と、プロジェクタ１０２とカメラ１０４との間の基線の長さ（基線長）と、カメラ１０４の焦点距離と、を用いて、カメラ１０４から観察した被写体１０１の奥行き（三次元形状）を計算する。

【００１７】

次に、本実施形態に係る画像処理装置が、被写体１０１の三次元形状を計算するために行う処理について、同処理のフローチャートを示す図３を用いて説明する。

【００１８】

<ステップＳ３０１>

投影パターン生成部１０３は、第一の二次元パターン画像と第二の二次元パターン画像（第一の二次元パターン画像と同じ画像サイズ（解像度））と、を合成した合成画像である投影パターンＥを生成する。ステップＳ３０１における処理の詳細について、図４のフローチャートを用いて説明する。

40

【００１９】

<ステップＳ４０１>

投影パターン生成部１０３は、投影パターンＥの画素数と同じ要素数を有する二次元配列を高密度乱数数列 R_h として生成する。例えば、投影パターンＥの x 方向（水平方向）の画素数を p_x 、 y 方向（垂直方向）の画素数を p_y とすると、高密度乱数数列 R_h は、 p_x （水平方向） $\times p_y$ （垂直方向）の二次元配列である。また、高密度乱数数列 R_h は、各要素が０～２５５からランダムに選択された値を有する二次元の配列である。高密度乱数数列 R_h の各要素の値を画素値（以下では輝度値）として該高密度乱数数列 R_h を画像として表した

50

もの（第一の二次元パターン画像）を図5に示す。

【0020】

<ステップS402>

投影パターン生成部103は、投影パターンEの画素数の1/16の要素数を有する二次元配列を低密度乱数列R1として生成する。例えば、投影パターンEのx方向（水平方向）の画素数をp_x、y方向（垂直方向）の画素数をp_yとすると、低密度乱数列R1は、p_x/4（水平方向）×p_y/4（垂直方向）の二次元配列である。また、低密度乱数列R1は、各要素が0～255からランダムに選択された値を有する二次元の配列である。

【0021】

<ステップS403>

投影パターン生成部103は、ステップS401で生成した高密度乱数列Rhと、ステップS402で生成した低密度乱数列R1と、を合成した二次元の合成乱数列Raを生成する。ここで、低密度乱数列R1中の位置(x,y)における値をr_{lxy}、高密度乱数列Rh中の位置(x,y)における値をr_{hxy}とすると、合成乱数列Ra中の位置(x,y)における値r_{axy}は以下の式(1)で表わされる。

【0022】

【数1】

$$r_{axy} = \left(r_{hxy} + r_{l \frac{x}{4} \frac{y}{4}} \right) \dots (1)$$

【0023】

以上の説明からすれば、第二の二次元パターン画像とは、第二の二次元パターン画像中の画素位置(x,y)における画素値がr_{l(x/4)(y/4)}であるような画像であることが分かる。このような第二の二次元パターン画像を図6に示す。

【0024】

然るに、高密度乱数列Rh上の全てのx、yについて式(1)に従った計算を行うことで、各要素が0～510の何れかの値を有し且つ高密度乱数列Rhと同じ画像サイズ（解像度）を有する合成乱数列Raを生成することができる。合成乱数列Raの各要素の値を画素値（輝度値）とする画像を図7に示す。

【0025】

なお、第一の二次元パターン画像、第二の二次元パターン画像のそれぞれは上記の例に限るものではない。即ち、第一の二次元パターン画像、第二の二次元パターン画像のそれぞれは以下のようなものであれば、如何なる形態をとることもできる。

【0026】

すなわち、1画素若しくは複数画素から成る矩形領域を第一単位領域、該矩形領域よりも大きいサイズの矩形領域を第二単位領域とする。このとき、第一の二次元パターン画像におけるそれぞれの第一単位領域には、複数の画素値のうち何れかが割り当てられており、第二の二次元パターン画像におけるそれぞれの第二単位領域には、複数の画素値のうち何れかが割り当てられている。

【0027】

<ステップS404>

投影パターン生成部103は、合成乱数列中の各要素の値を二値化する。この二値化では、閾値を255とする。そして合成乱数列の各要素のうち255以下の値を0に修正し、255を超えている値を255に修正する。これにより、合成乱数列を構成する各要素の値は0若しくは255となり、このような合成乱数列を投影パターンEとする。

【0028】

<ステップS302>

10

20

30

40

50

プロジェクタ102は、ステップS301で投影パターン生成部103によって生成された投影パターンEを、被写体101に対して投影する。上記でも述べたように、投影パターンEがボケることなく投影される合焦位置は、被写体101の取り得るz方向の最遠方zfに設定されている。そして、被写体101のz位置がカメラ104に近いほど、被写体101上の投影パターンEのボケ量が増大するようになっている。

【0029】

<ステップS303>

カメラ104は、投影パターンEが投影されている被写体101を撮像して、図13に例示するような、0～255の範囲でグレースケールの輝度値を画素単位で有する撮像画像Cを取得する。

【0030】

<ステップS304>

視差計算部105は、ステップS303で取得した撮像画像Cと、ステップS301で生成した投影パターンEと、を用いて、被写体101上におけるプロジェクタ102とカメラ104との間の視差を、撮像画像Cの解像度よりも粗い単位で計算し、概略視差画像Ddを生成する。ステップS304における処理の詳細について、図8のフローチャートを用いて説明する。

【0031】

<ステップS801>

視差計算部105はまず、撮像画像Cの縮小画像Cdと、投影パターンEの縮小画像である縮小投影パターンEdと、を生成する。縮小した画像のサイズは、元の画像のサイズの1/4とする。画像の縮小処理においては、隣接画素に対して線形補間によるサンプリングを行い、エイリアシングの抑制を行う。

【0032】

<ステップS802>

縮小画像Cdにおいて未だ未処理の画素位置における画素を、視差を計算する対象となる画素pdとして設定する。第1回目のステップS802では、縮小画像Cdの左上隅位置の画素を画素pdとして設定し、第2回目のステップS802では、左上隅位置の1つ右隣の画素位置の画素を画素pdとして設定する。このようにして、縮小画像Cdの左上隅位置から右下隅位置までの各画素を順次、画素pdとして設定する。

【0033】

<ステップS803>

図9に示す如く、画素pdを中心とする11画素×11画素の矩形領域を、縮小画像ウィンドウWpdとして設定する。なお、縮小画像Cdの端部近傍に縮小画像ウィンドウWpdを設定した場合、縮小画像Cdの外側部分が縮小画像ウィンドウWpdに含まれてしまうことになる。この場合、この外側部分は、輝度値=0として取り扱う。

【0034】

<ステップS804>

変数Rpdminを、取り得る最大の値である最大評価値Rmaxで初期化する。

【0035】

<ステップS805>

変数xpdminを、ステップS802で画素pdを設定した画素位置のx座標値で初期化する。図9の場合、画素pdを設定した画素位置(xpd、ypd)のx座標値は「xpd」であるから、変数xpdminを、xpdで初期化する。

【0036】

<ステップS806>

縮小投影パターンEdにおいて、y座標=ypedとなるライン上に、上記の画素pdに対応する画素pedを設定する。ここで、プロジェクタ102とカメラ104との位置関係から、画素pedの取り得る範囲は、画素pdのy座標ypdに対応した投影パターン上のy座標yped(yped=ypd)上に限定される。また、第1回目のステップ

10

20

30

40

50

S 8 0 6では、画素位置(0, y p e d)に画素 p e dを設定し、第2回目のステップ S 8 0 6では、画素位置(1, y p e d)に画素 p e dを設定する。このようにして、縮小投影パターン E dにおいて、y座標 = y p e dとなるラインの左端から右端までの各画素を順次、画素 p e dとして設定する。

【0037】

<ステップ S 8 0 7>

図10に示す如く、画素 p e dを中心とする11画素×11画素の矩形領域を、縮小評価ウィンドウ W p e dとして設定する。なお、縮小投影パターン E dの端部近傍に縮小評価ウィンドウ W p e dを設定した場合、縮小投影パターン E dの外側部分が縮小評価ウィンドウ W p e dに含まれてしまうことになる。この場合、この外側部分は、輝度値 = 0として扱う。

10

【0038】

<ステップ S 8 0 8>

縮小画像ウィンドウ W p d内の各画素と、縮小評価ウィンドウ W p e d内の各画素と、同じ画素位置の画素同士の輝度値の差分を計算し、それぞれの画素位置の差分の合計値を評価値 R p e dとして計算する。例えば、評価値 R p e dは、以下の式(2)を計算することで求めることができる。

【0039】

【数2】

$$R_{ped} = \sum_{x_w} (I_{wpd}(x_w) - I_{wped}(x_w))^2 \quad \dots (2)$$

20

【0040】

ここで、 $I_{wpd}(x_w)$ は、縮小画像ウィンドウ W p d内の画素位置 x_w における輝度値を表しており、 $I_{wped}(x_w)$ は、縮小評価ウィンドウ W p e d内の画素位置 x_w における輝度値を表している。式(2)では、縮小画像ウィンドウ W p d(縮小評価ウィンドウ W p e d)内の各画素位置 x_w について、画素値の差分の二乗を計算し、画素位置 x_w ごとに計算した二乗値の合計値を、評価値 R p e dとして求めている。

【0041】

30

<ステップ S 8 0 9>

ステップ S 8 0 8で求めた評価値 R p e dと、変数 R p d m i nの値である最小評価値と、の大小比較を行う。この大小比較の結果、 $R p d m i n > R p e d$ であれば、処理はステップ S 8 1 0に進む。一方、 $R p d m i n \leq R p e d$ であれば、処理はステップ S 8 1 2に進む。

【0042】

<ステップ S 8 1 0>

変数 R p d m i nに、評価値 R p e dを代入する。

【0043】

<ステップ S 8 1 1>

40

変数 x p d m i nに、現在の画素 p e dのx座標位置である x p e dを代入する。

【0044】

<ステップ S 8 1 2>

画素 p e dのx座標位置が、y座標 = y p e dとなるラインの右端位置に達した場合には、処理はステップ S 8 1 3に進み、まだ達していない場合には、画素 p e dの現在のx座標位置に1を加えてから、処理はステップ S 8 0 6に戻る。

【0045】

<ステップ S 8 1 3>

変数 R p d m i nの値である最小評価値と、予め定められている基準評価値 R r e f dと、の大小比較を行う。この大小比較の結果、 $R p d m i n < R r e f d$ であれば、最小

50

評価値は信頼がある評価値として判断し、処理はステップS 8 1 4に進む。すなわち、最小評価値が小さいほど、縮小画像ウィンドウW p d内の画素群と、縮小評価ウィンドウW p e d内の画素群と、は輝度値について類似度が高いことになる。一方、R p d m i n R r e f dであれば、最小評価値は信頼がない評価値として判断し、処理はステップS 8 1 5に進む。

【0046】

<ステップS 8 1 4>

画素p dのx座標位置であるx p dと、変数x p d m i nが表すx座標位置と、の差分を、画素p dにおける視差d p dとして求める。

【0047】

<ステップS 8 1 5>

画素p dにおける視差d p dとして、N a Nを設定する。以降、この画素p dにおける視差d p dは計算不能として、その後の計算に使用しない。

【0048】

<ステップS 8 1 6>

ステップS 8 0 2～ステップS 8 1 5の処理を、縮小画像C dを構成する全ての画素について行ったか否かを判断する。この判断の結果、縮小画像C dを構成する全ての画素についてステップS 8 0 2～ステップS 8 1 5の処理を行った場合には、処理はステップS 3 0 5に進む。一方、縮小画像C dを構成する画素のうち未だステップS 8 0 2～ステップS 8 1 5の処理を行っていない画素が残っている場合には、処理はステップS 8 0 2に戻る。

【0049】

以上説明した、図8のフローチャートに従った処理を行うことで、縮小画像C dを構成する各画素について、視差d p dを計算することができる。そして視差計算部105は、縮小画像C d中の画素の並びに従って、対応する視差d p dを並べたものを、概略視差画像D dとして生成する。即ち、概略視差画像D d中の画素位置(x、y)における値(視差d p d)は、縮小画像C d中の画素位置(x、y)の画素に対応する視差を表していることになる。

【0050】

<ステップS 3 0 5>

三次元形状計算部106は、ステップS 3 0 4で生成した概略視差画像D dと、後述するプロジェクタ102 カメラ104間の基線の長さ(基線長)と、カメラ104の焦点距離と、を用いて、被写体101の概略三次元形状を求める。

【0051】

図11に、プロジェクタ102と、カメラ104と、被写体101上の点s dと、の位置関係を簡略化した模式図を示す。三次元形状計測結果を表現するための座標系として、撮像画像と同一のx方向、y方向に加えて、奥行きを示すz方向が、カメラ104の主点を原点oとした光軸方向に設定された空間座標系を定義する。また、プロジェクタ102とカメラ104の主点は基線長bだけ離れており、主点間を結ぶ直線は、プロジェクタ102及びカメラ104の視軸と直角をなすものとする。

【0052】

この空間座標系において、カメラ104で被写体101上の任意の点s d(xsd, ysd, zsd)を観察する場合を考える。点s dが、撮像画像中でsc(xsc, ysc)の位置に観察されるとすると、点s dの空間座標(xsd, ysd, zsd)は以下の式(3)で表わされる。

【0053】

10

20

30

40

【数 3】

$$\begin{cases} x_{sd} = kx_{sc}/f \\ y_{sd} = ky_{sc}/f \\ z_{sd} = k/f \end{cases} \quad \dots (3)$$

【0054】

ここで、 f はカメラ 104 の焦点距離、 k はパラメータを示す。また、プロジェクタ 102 から投影された点 sd 上の投影パターンの座標を $sp(xsp, ysp)$ とすると、 $ysc = ysp$ であり、且つ該点 $s d$ についてステップ S 304 で求めた視差は xsc と xsp の差を意味している。概略視差画像 $D d$ 中の点 sc に対応する視差 dsc を用いて、点 sd の奥行き zsd は以下の式 (4) で表わされる。

10

【0055】

【数 4】

$$z_{sd} = b \cdot f / d_{sc} \quad \dots (4)$$

20

【0056】

式 (3) と式 (4) とを用いてパラメータ k を消去することにより、点 sd の三次元空間上の座標 (xsd, ysd, zsd) は以下の式 (5) で得ることができる。

【0057】

【数 5】

$$\begin{cases} x_{sd} = x_{sc} \cdot b \cdot f / d_{sc} \\ y_{sd} = y_{sc} \cdot b \cdot f / d_{sc} \\ z_{sd} = b \cdot f / d_{sc} \end{cases} \quad \dots (5)$$

30

【0058】

然るに、概略視差画像 $D d$ を構成する各画素のうち $N a N$ の値を有する画素以外の画素について、点 sd の三次元座標位置を計算することで、被写体 101 の概略三次元形状を表す概略距離画像 $S d$ を求めることができる。

【0059】

<ステップ S 306>

視差計算部 105 は投影パターン E と撮像画像 C と概略距離画像 $S d$ とを用いて被写体 101 上におけるプロジェクタ 102 とカメラ 104 との間の視差を、撮像画像 C の画素単位で詳細に計算し、該画素単位の視差を画素値とする詳細視差画像 $D f$ を生成する。ステップ S 306 における処理の詳細について、図 12 のフローチャートを用いて説明する。

40

【0060】

<ステップ S 1201>

まず、概略距離画像 $S d$ にアップサンプリング処理を適用して、撮像画像 C と同サイズの拡大距離画像 $S u$ を生成する。アップサンプリング処理においては、最近傍画素によるサンプリングを行い、隣接画素値に対しての補間を行わない。

【0061】

<ステップ S 1202>

撮像画像 C において未だ未処理の画素位置における画素を、視差を計算する対象となる

50

画素 p として設定する。第 1 回目のステップ S_{1202} では、撮像画像 C の左上隅位置の画素を画素 p として設定し、第 2 回目のステップ S_{1202} では、左上隅位置の 1 つ右隣の画素位置の画素を画素 p として設定する。このようにして、撮像画像 C の左上隅位置から右下隅位置までの各画素を順次、画素 p として設定する。

【0062】

<ステップ S_{1203} >

図 13 に示す如く、画素 p を中心とする 11 画素 $\times 11$ 画素の矩形領域を、撮像画像ウィンドウ W_p として設定する。なお、撮像画像 C の端部近傍に撮像画像ウィンドウ W_p を設定した場合、撮像画像 C の外側部分が撮像画像ウィンドウ W_p に含まれてしまうことになる。この場合、この外側部分は、輝度値 = 0 として取り扱う。

10

【0063】

<ステップ S_{1204} >

変数 R_{pmin} を、取り得る最大の値である最大評価値 R_{max} で初期化する。

【0064】

<ステップ S_{1205} >

変数 x_{pmin} を、ステップ S_{1202} で画素 p を設定した画素位置の x 座標値で初期化する。図 13 の場合、画素 p を設定した画素位置 (x_p, y_p) の x 座標値は「 x_p 」であるから、変数 x_{pmin} を、 x_p で初期化する。

【0065】

<ステップ S_{1206} >

ステップ S_{1201} で生成した拡大距離画像 S_u と、投影パターン E と、を用いて、撮像画像ウィンドウ W_p との間で類似度比較を行うためにウィンドウを設定する対象となる投影パターン E_n を決定する。

20

【0066】

図 14 に示す如く、被写体 101 上の点 sud の z 位置がプロジェクタ 102 の被写界深度 DOF 内（境界最近位置 z_b ~ 最遠方位置 z_f の範囲とする）である場合、被写体 101 上に投影された投影パターン E はボケることなく結像する。このように、画素 p に対応する拡大距離画像 S_u 内の点 sud の z 位置が、被写界深度 DOF の範囲内に存在する場合は、投影パターン E を投影パターン E_n とする。

【0067】

一方、点 sud の z 位置が被写界深度 DOF を外れた場合（例えば、境界最近位置 z_b よりも手前に存在する場合）、投影パターン E はボケた状態で撮像される。ここで、撮像画像 C 内に写っている投影パターンがぼけているのに対し、この撮像画像 C 内に設定した撮像画像ウィンドウ W_p と類似度計算を行うウィンドウ内の投影パターンがぼけておらず鮮明であれば、ウィンドウ間のマッチングの精度は低下する。然るに、本実施形態では、撮像画像 C 内に写っている投影パターンがぼけていれば、この撮像画像 C 内に設定した撮像画像ウィンドウ W_p と類似度計算を行うウィンドウ内の投影パターンを同様に量かす。そこで、点 sud の z 位置が被写界深度 DOF を外れた場合には、投影パターン E に対してガウシアンフィルタを施した投影パターンを、投影パターン E_n として生成する。投影パターン E に対してガウシアンフィルタを施した投影パターンの一例を図 15 に示す。

30

40

【0068】

ガウシアンフィルタは、ボケた状態を再現するための畳み込みフィルタの一種であり、ステップ S_{1206} においては、投影パターン E に対して図 16 に示すような 5×5 のフィルタの畳み込み演算を行う。本実施形態における本フィルタの各数値は、図 14 に示す如く、被写体 101 の存在範囲を Z_s とした場合、被写界深度 DOF と存在範囲 Z_s の差の中間に当たる中間位置 Z_n に投影パターン E が投影された場合とボケ量が等しくなるよう設定している。

【0069】

このように、拡大距離画像 S_u の各画素の画素値を参照し、該画素の画素値が表す距離が、プロジェクタ 102 の被写界深度内であれば、該画素に対する投影パターン E_n を投

50

影パターンEとする。一方、被写界深度外であれば、投影パターンEにガウシアンフィルタを施したものを該画素に対する投影パターンE_nとする。このようにして、拡大距離画像S_u(撮像画像C)の画素毎に、投影パターンE及び投影パターンEにガウシアンフィルタを施した投影パターンの何れか一方を、該画素について使用する投影パターンとして決定する。

【0070】

<ステップS1207>

投影パターンE_nにおいて、y座標=y_{pen}となるライン上に、上記の画素pに対応する画素p_{en}を設定する。ここで、プロジェクタ102とカメラ104との位置関係から、画素p_{en}の取り得る範囲は、画素pのy座標y_pに対応した投影パターン上のy座標y_{pen}(y_{pen}=y_p)上に限定される。また、第1回目のステップS1207では、画素位置(0, y_{pen})に画素p_{en}を設定し、第2回目のステップS1207では、画素位置(1, y_{pen})に画素p_{en}を設定する。このようにして、投影パターンE_nにおいて、y座標=y_{pen}となるラインの左端から右端までの各画素を順次、画素p_{en}として設定する。

10

【0071】

<ステップS1208>

図15に示す如く、画素p_{en}を中心とする11画素×11画素の矩形領域を、評価ウィンドウW_{pen}として設定する。なお、投影パターンE_nの端部近傍に評価ウィンドウW_{pen}を設定した場合、投影パターンE_nの外側部分が評価ウィンドウW_{pen}に含まれてしまうことになる。この場合、この外側部分は、輝度値=0として扱う。

20

【0072】

<ステップS1209>

撮像画像ウィンドウW_p内の各画素と、評価ウィンドウW_{pen}内の各画素と、で同じ画素位置の画素同士の輝度値の差分を計算し、それぞれの画素位置の差分の合計値を評価値R_{pen}として計算する。例えば、評価値R_{pen}は、以下の式(6)を計算することで求めることができる。

【0073】

【数6】

$$R_{pen} = \sum_{x_w} (I_{wp}(x_w) - I_{wpen}(x_w))^2 \quad \dots (6)$$

30

【0074】

ここで、I_{wp}(x_w)は、撮像画像ウィンドウW_p内の画素位置x_wにおける輝度値を表しており、I_{wpen}(x_w)は、評価ウィンドウW_{pen}内の画素位置x_wにおける輝度値を表している。式(6)では、撮像画像ウィンドウW_p(評価ウィンドウW_{pen})内の各画素位置x_wについて、画素値の差分の二乗を計算し、画素位置x_wごとに計算した二乗値の合計値を、評価値R_{pen}として求めている。

【0075】

<ステップS1210>

ステップS1209で求めた評価値R_{pen}と、変数R_{pmin}の値である最小評価値と、の大小比較を行う。この大小比較の結果、R_{pmin}>R_{pen}であれば、処理はステップS1211に進む。一方、R_{pmin}≤R_{pen}であれば、処理はステップS1213に進む。

40

【0076】

<ステップS1211>

変数R_{pmin}に、評価値R_{pen}を代入する。

【0077】

<ステップS1212>

50

変数 x_{pmin} に、現在の画素 p_{en} の x 座標位置である x_{pen} を代入する。

【0078】

<ステップ S1213>

画素 p_{en} の x 座標位置が、 y 座標 = y_{pen} となるラインの右端位置に達した場合には、処理はステップ S1214 に進み、まだ達していない場合には、画素 p_{en} の現在の x 座標位置に 1 を加えてから、処理はステップ S1207 に戻る。

【0079】

<ステップ S1214>

変数 R_{pmin} の値である最小評価値と、予め定められている基準評価値 R_{ref} と、の大小比較を行う。この大小比較の結果、 $R_{pmin} < R_{ref}$ であれば、最小評価値は信頼がある評価値として判断し、処理はステップ S1215 に進む。すなわち、最小評価値が小さいほど、撮像画像ウィンドウ W_p 内の画素群と、評価ウィンドウ W_{pen} 内の画素群と、は輝度値について類似度が高いことになる。一方、 $R_{pmin} \geq R_{ref}$ であれば、最小評価値は信頼がない評価値として判断し、処理はステップ S1216 に進む。

【0080】

<ステップ S1215>

画素 p の x 座標位置である x_p と、変数 x_{pmin} が表す x 座標位置と、の差分を、画素 p における視差 d_p として求める。

【0081】

<ステップ S1216>

画素 p における視差 d_p として、NaN を設定する。以降、この画素 p における視差 d_p は計算不能として、その後の計算に使用しない。

【0082】

<ステップ S1217>

ステップ S1202 ~ ステップ S1216 の処理を、撮像画像 C を構成する全ての画素について行ったか否かを判断する。この判断の結果、撮像画像 C を構成する全ての画素についてステップ S1202 ~ ステップ S1216 の処理を行った場合には、処理はステップ S307 に進む。一方、撮像画像 C を構成する画素のうち未だステップ S1202 ~ ステップ S1216 の処理を行っていない画素が残っている場合には、処理はステップ S1202 に戻る。

【0083】

以上説明した、図 12 のフローチャートに従った処理を行うことで、撮像画像 C を構成する各画素について、視差 d_p を計算することができる。そして視差計算部 105 は、撮像画像 C 中の画素の並びに従って、対応する視差 d_p を並べたものを、詳細視差画像 D として生成する。即ち、詳細視差画像 D 中の画素位置 (x 、 y) における値 (視差 d_p) は、撮像画像 C 中の画素位置 (x 、 y) の画素に対応する視差を表していることになる。

【0084】

<ステップ S307>

三次元形状計算部 106 は、詳細視差画像 D と、プロジェクタ 102 カメラ 104 間の基線の長さ (基線長) と、カメラ 104 の焦点距離と、を用いて、上記のステップ S305 と同様の処理を行うことで、被写体 101 の詳細な三次元形状を求める。ステップ S307 における計算処理では、詳細視差画像 D を構成する各画素のうち NaN の値を有する画素以外の画素について、対応する点 sd の三次元座標位置を計算することで、被写体 101 の詳細な三次元形状を表す詳細距離画像 S を求める。

【0085】

このように、本実施形態では、1 画素若しくは複数画素から成る矩形領域単位でランダムな画素値を有するパターン画像と、該矩形領域よりも大きいサイズの矩形領域単位でランダムな画素値を有するパターン画像とを合成した投影パターンを用いる。これにより、被写体の位置が投影パターンの結像範囲外に存在するような条件下においても、パターンのボケによるコントラスト低下を軽減させることができる。そしてこれにより、被写体の

10

20

30

40

50

三次元形状計測をより正確に行うことができる。

【0086】

なお、本実施形態では、ステップS301において、高密度乱数列R_hと低密度乱数列R_lの2つを用いて投影パターンEを生成しているが、被写体のz位置がより広い範囲に存在しうる場合には、三種類以上の乱数列を用いて生成してもよい。このような場合においても、同様に各乱数列に基づくパターン画像を構成する数値の足し合せを行い、中間の数値を閾値として二値化を行えばよい。

【0087】

また、本実施形態では、高密度乱数列R_hと低密度乱数列R_lはランダムな数列として生成しているが、これに限るものではない。数学的特性から、数列中で一意となる部分数列が明確に定義可能な疑似ランダム系列の一種であるM系列などを用いてもよい。このような数列を使用することで、より小さい撮像画像ウィンドウ、評価ウィンドウの領域で視差計算が可能となり、結果として計測可能な被写体の領域も増加する。

【0088】

また本実施形態では投影パターンEを生成するために高密度乱数列R_hと低密度乱数列R_lを生成しているが、このような乱数列を生成する代わりに、予め用意された、乱数列の数値をグレースケールの輝度値として有する画像を取得するようにしても構わない。

【0089】

また、本実施形態では、第一の二次元パターン画像、第二の二次元パターン画像のそれぞれは、「1画素若しくは複数画素から成る矩形領域」単位、「該矩形領域よりも大きいサイズの矩形領域」単位で画素値が決まっていた。しかし、何れのパターン画像も、均一サイズの矩形領域単位で画素値を決めなくても構わない。例えば、パターン画像の中央部に近いほど矩形領域のサイズを小さくすることで、中央部で被写体の存在しうる距離範囲が減少する一方で、より詳細な計測を行うことができる。

【0090】

また、本実施形態では、ステップS1206において、投影パターンE_nを生成する際に、投影パターンEが中間位置に投影された場合とボケ量が等しくなるように設定しているが、これに限るものではない。数値的により良好な視差計算が行えるガウシアンフィルタの各数値が存在する場合には、最適な数値へ任意に変更してもよい。また、純粋なガウシアンフィルタでなく、例えばプロジェクタ102の諸収差の影響を考慮して数値を設定したフィルタを適用することで、より良好な視差計算を行うことができる。

【0091】

また、本実施形態では、投影パターンEは、矩形の画素形状で構成されているが、これに限るものではない。たとえば、画素密度をより高めることのできる三角形や、六角形の画素形状を用いてもよい。これらの画素形状を用いることで、より小さい撮像画像ウィンドウ、評価ウィンドウの領域で視差計算が可能となり、結果として計測可能な被写体の領域も増加する。

【0092】

また、投影パターン生成部103、視差計算部105、三次元形状計算部106は何れもハードウェアで構成しても構わないし、ソフトウェア(コンピュータプログラム)で構成しても構わない。

【0093】

前者の場合、投影パターン生成部103、視差計算部105、三次元形状計算部106のそれぞれは別個の装置としても構わないし、1つの装置内の専用ハードウェアとしても構わない。

【0094】

後者の場合、このようなコンピュータプログラムを保持するメモリと、該メモリから該コンピュータプログラムを読み出して実行するプロセッサと、を有する装置であれば、本実施形態に係る画像処理装置に適用することができる。もちろん、投影パターン生成部103、視差計算部105、三次元形状計算部106の全ての機能をハードウェア、ソフト

10

20

30

40

50

ウェアの何れかのみで実装することに限らず、部分的な機能をハードウェア、ソフトウェアの何れかで実装するようにしても構わない。

【 0 0 9 5 】

[第 2 の実施形態]

本実施形態では、ステップ S 3 0 1 における処理のみが第 1 の実施形態と異なる。然るに以下では本実施形態に係るステップ S 3 0 1 における処理について重点的に説明し、以下で特に触れない限りは第 1 の実施形態と同様であるものとする。なお、本実施形態では、カメラ 1 0 4 については、第 1 の実施形態と比較して、より広いダイナミックレンジを持ち、低ノイズのものをを用いることが望ましい。

【 0 0 9 6 】

本実施形態に係るステップ S 3 0 1 における処理について、図 1 7 のフローチャートを用いて説明する。ステップ S 1 7 0 1 ~ S 1 7 0 3 の各ステップにおける処理は、それぞれ、上記のステップ S 4 0 1 ~ S 4 0 3 における処理と同様であるので、これらのステップに係る説明は省略する。

【 0 0 9 7 】

< ステップ S 1 7 0 4 >

投影パターン生成部 1 0 3 は、合成乱数列に対する階調削減を行って投影パターン E を生成する。例えば、第一閾値 T 1 を $T_1 = 171$ 、第二閾値 T 2 を $T_2 = 374$ とした場合、投影パターン E 中の画素位置 (x , y) における輝度値 $e_{x,y}$ は、合成乱数列 Ra 中の位置 (x , y) における値 r_{axy} から以下の式 (7) に従って計算される。

【 0 0 9 8 】

【 数 7 】

$$\begin{cases} e_{xy} = 0 (r_{axy} \leq T_1) \\ e_{xy} = 127 (T_1 < r_{axy} \leq T_2) \\ e_{xy} = 255 (T_2 < r_{axy}) \end{cases} \quad \dots (7)$$

【 0 0 9 9 】

そして、式 (7) に従った、第一閾値及び第二閾値を用いた輝度値の量子化を、合成乱数列 Ra 中の各画素位置について行うことで、0 を最低輝度、127 を中間輝度、255 を最大輝度とした 3 値からなる画像である投影パターン E を生成することができる。このようにして生成された投影パターン E の一例を図 1 8 に示す。

【 0 1 0 0 】

このように、本実施形態によれば、二値と比較して多くの情報量を有する三値の投影パターンを用いることになるので、より確実に視差画像を取得することができるため、被写体の三次元形状が計測不能な領域を削減することができる。

【 0 1 0 1 】

なお、本実施形態では、ステップ S 1 7 0 4 において、三段階の場合分けによって三値の投影パターン E を生成しているが、これに限るものではない。ダイナミックレンジや低ノイズ性能について、より高性能なカメラ 1 0 4 が使用できる場合には、さらに場合分けを細かく行って、より多値の投影パターンを生成してもよい。より多値の投影パターンを用いることで、さらに被写体の三次元形状が計測不能な領域を削減することができる。

【 0 1 0 2 】

[第 3 の実施形態]

本実施形態では、ステップ S 3 0 1 における処理のみが第 1 の実施形態と異なる。然るに以下では本実施形態に係るステップ S 3 0 1 における処理について重点的に説明し、以下で特に触れない限りは第 1 の実施形態と同様であるものとする。

【 0 1 0 3 】

本実施形態に係るステップ S 3 0 1 における処理について、図 1 9 のフローチャートを用いて説明する。ステップ S 1 9 0 1 ~ S 1 9 0 3 の各ステップにおける処理は、それぞれ、上記のステップ S 4 0 1 ~ S 4 0 3 における処理と同様であるので、これらのステップに係る説明は省略する。

【 0 1 0 4 】

< ステップ S 1 9 0 4 >

投影パターン生成部 1 0 3 は、合成乱数列 Ra に対して、Floyd-Steinberg ディザリング処理を適用することで疑似多階調化を行い、二値化された投影パターン E を生成する。ステップ S 1 9 0 4 における処理の詳細について、図 2 0 のフローチャートを用いて説明する。

10

【 0 1 0 5 】

< ステップ S 2 0 0 1 >

合成乱数列 R a 及び投影パターン E 上に対象画素位置を設定する。本ステップにおける処理を最初に行う場合には、合成乱数列 R a の左上隅の画素位置を対象画素位置に設定すると共に、投影パターン E の左上隅の画素位置を対象画素位置に設定する。

【 0 1 0 6 】

< ステップ S 2 0 0 2 >

合成乱数列 R a 中の対象画素位置 (x 、 y) における値 r_{axy} を二値化した結果を、投影パターン E 中の対象画素位置 (x 、 y) における画素値 e_{xy} に設定する。 r_{axy} は 0 ~ 5 1 0 の値を取るため、中間の 2 5 5 を閾値として、 r_{axy} が 2 5 5 よりも大きければ 5 1 0 、 r_{axy} が 2 5 5 よりも小さければ 0 を、画素値 e_{xy} に設定する。

20

【 0 1 0 7 】

< ステップ S 2 0 0 3 >

投影パターン E 中の対象画素位置 (x 、 y) における画素値 e_{xy} と、合成乱数列 R a 中の対象画素位置 (x 、 y) における画素値 r_{axy} と、を用いて、量子化誤差 err を、以下の式 (8) を計算することで求める。

【 0 1 0 8 】

【 数 8 】

$$err = r_{axy} - e_{xy}$$

30

.... (8)

【 0 1 0 9 】

< ステップ S 2 0 0 4 >

ステップ S 2 0 0 3 で計算した量子化誤差 err を、合成乱数列 R a 中の対象画素位置 (x 、 y) の周囲に拡散させる。対象画素位置 (x 、 y) の右隣の画素位置における画素値を $r_{a(x+1)y}$ 、左下の画素位置における画素値を $r_{a(x-1)(y+1)}$ 、真下の画素位置における画素値を $r_{ax(y+1)}$ 、右下の画素位置における画素値を $r_{a(x+1)(y+1)}$ とする。このとき、上記拡散により、これらの画素値を以下の式 (9) に従って更新する。

40

【 0 1 1 0 】

【数 9】

$$\left\{ \begin{array}{l} r_{a(x+1)y} = r_{a(x+1)y} + err \frac{7}{16} \\ r_{a(x-1)(y+1)} = r_{a(x-1)(y+1)} + err \frac{3}{16} \\ r_{ax(y+1)} = r_{ax(y+1)} + err \frac{5}{16} \\ r_{a(x+1)(y+1)} = r_{a(x+1)(y+1)} + err \frac{1}{16} \end{array} \right. \quad \dots (9)$$

10

【0 1 1 1】

<ステップ S 2 0 0 5>

合成乱数列 R a (投影パターン E) 上の全ての画素位置を対象画素位置として設定したか否かを判断する。この判断の結果、合成乱数列 R a (投影パターン E) 上の全ての画素位置を対象画素位置として設定した場合には、処理はステップ S 3 0 2 に進む。

【0 1 1 2】

一方、合成乱数列 R a (投影パターン E) 上の全ての画素位置のうち未だ対象画素位置として設定していない画素位置が残っていた場合には、現在の対象画素位置の 1 つ右隣の画素位置を次の対象画素位置とすべく、処理はステップ S 2 0 0 1 に戻る。なお、現在の対象画素位置が合成乱数列 R a (投影パターン E) の右端であり、その 1 つ右隣の画素位置が存在しない場合、現在の対象画素位置の y 座標値を 1 つインクリメントすると共に、x 座標値を 0 (左端) に設定する。以上説明したステップ S 2 0 0 1 ~ S 2 0 0 5 の処理を行うことで、生成される投影パターン E の一例を図 2 1 に示す。

20

【0 1 1 3】

本実施形態においては、階調削減として周辺画素を用いた疑似多階調化を行っている。このため、第 1 の実施形態と比較して全体的に暗点と輝点が均等に分散する投影パターンとなる。このような投影パターンを用いる事で、計測可能な範囲内における被写体の三次元計測は、より良好に行うことができる。ただし、被写界深度が浅くなるため、被写体の存在しうる z 位置の範囲はより狭くなる。

30

【0 1 1 4】

なお、本実施形態では、ステップ S 2 0 0 2 で投影パターン E を二値化しているが、これに限るものではない。ダイナミックレンジや低ノイズ性能について、より高性能なカメラ 1 0 4 が使用できる場合には、さらに場合分けを細かく行って、三値以上 (N (N は 3 以上の整数) 値化) の投影パターンを生成してもよい。より多値の投影パターンを用いることで、さらに被写体の三次元形状が計測不能な領域を削減することができる。

【0 1 1 5】

また、本実施形態では、ステップ S 1 9 0 4 で階調削減として Floyd-Steinberg ディザリングアルゴリズムを採用しているが、これに限るものではない。よりボケに対してコントラストが低下しにくい投影パターンを生成したい場合や、逆に、より詳細な投影パターンを生成したい場合など、目的に応じてその他の疑似多階調化の手法を用いてもよい。例えば、平均ディザリング法を用いれば、よりボケに対してコントラストが低下しにくい投影パターンが生成できる。また、ランダムディザリング法を用いれば、より詳細な投影パターンを生成できる。

40

【0 1 1 6】

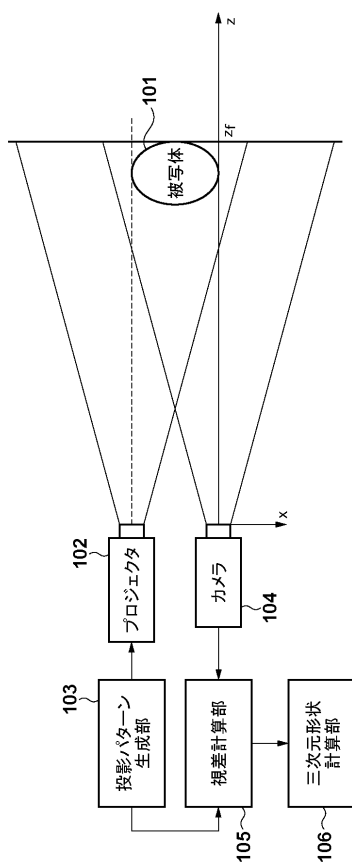
(その他の実施例)

また、本発明は、以下の処理を実行することによっても実現される。即ち、上述した実施形態の機能を実現するソフトウェア (プログラム) を、ネットワーク又は各種記憶媒体を介してシステム或いは装置に供給し、そのシステム或いは装置のコンピュータ (または

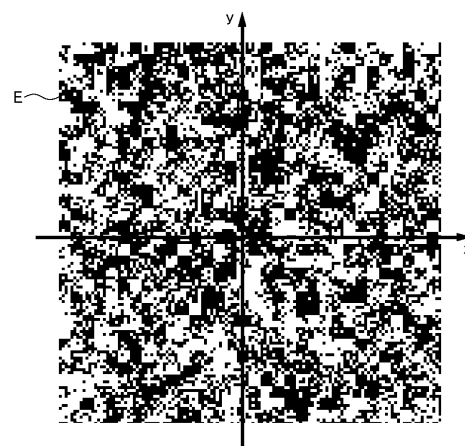
50

C P UやM P U等)がプログラムを読み出して実行する処理である。

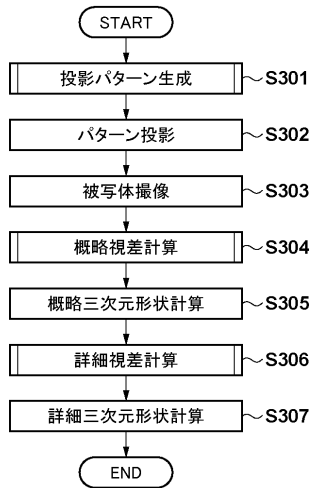
【図 1】



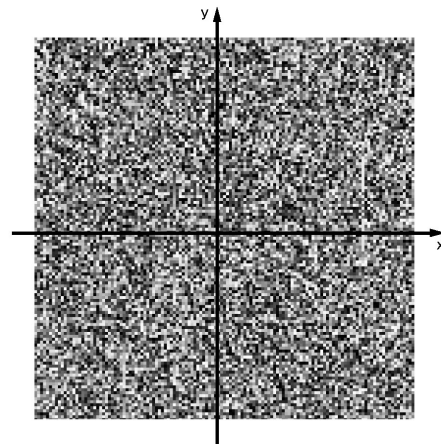
【図 2】



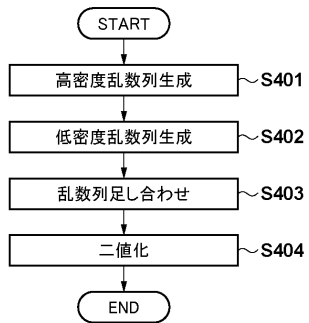
【図 3】



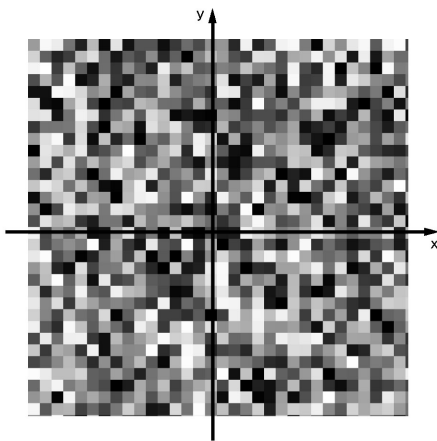
【図 5】



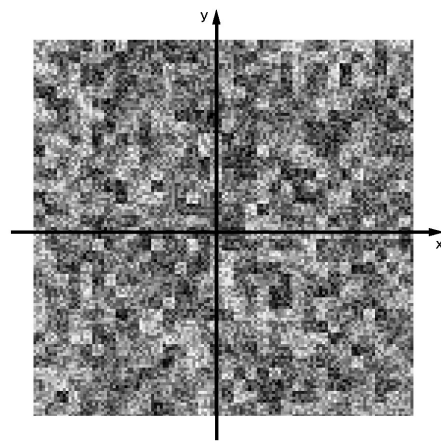
【図 4】



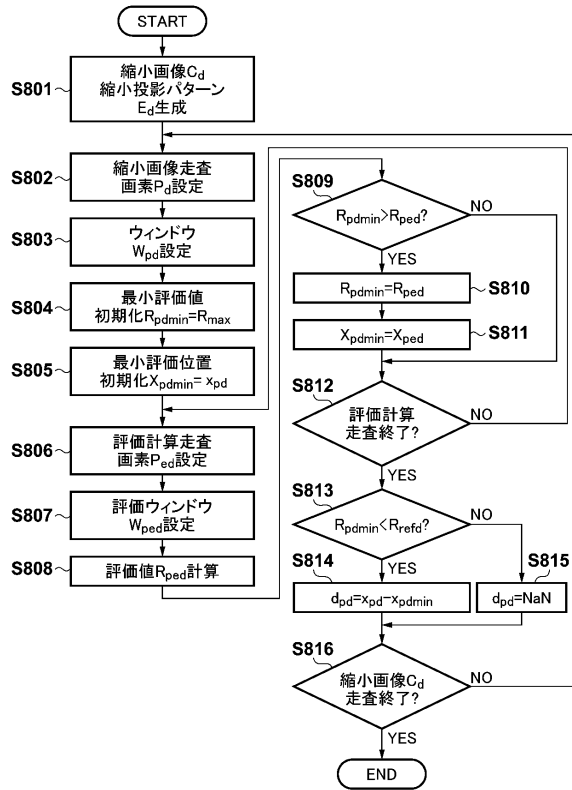
【図 6】



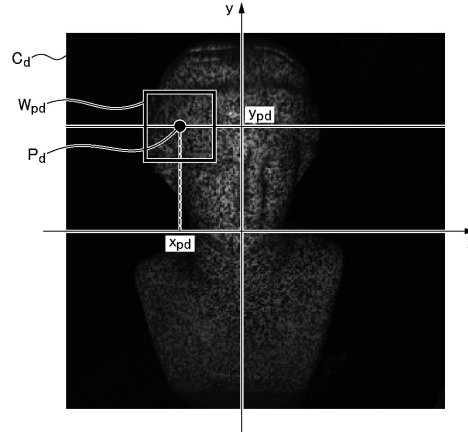
【図 7】



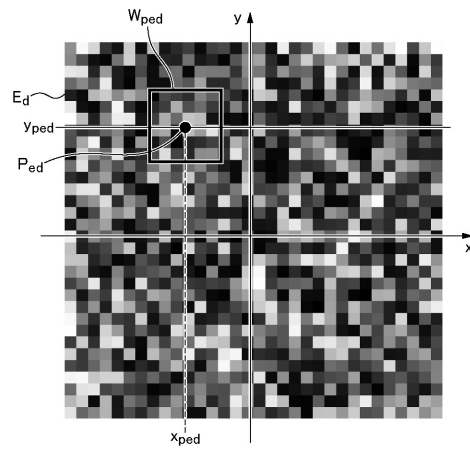
【図 8】



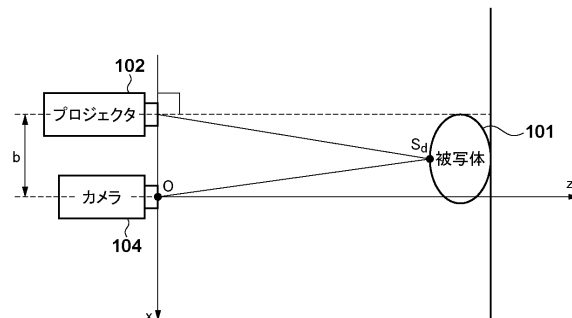
【図 9】



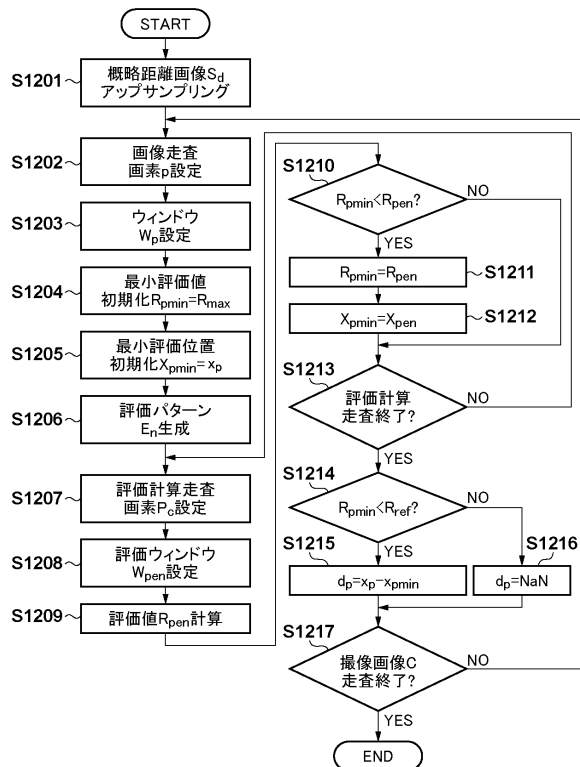
【図 10】



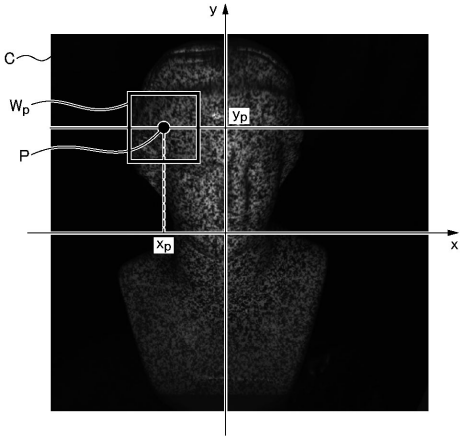
【図 11】



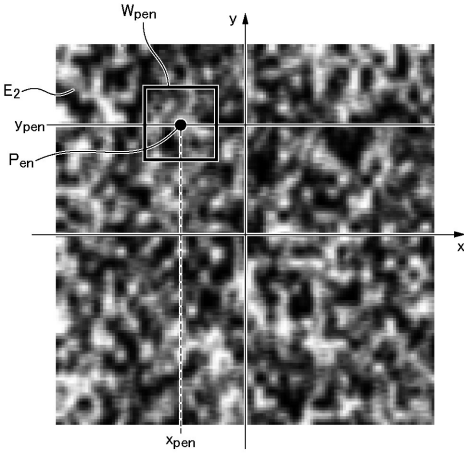
【図 12】



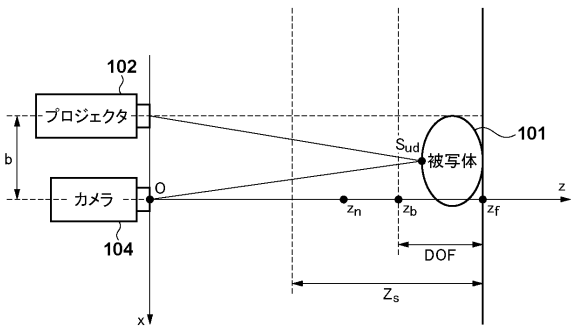
【図 1 3】



【図 1 5】



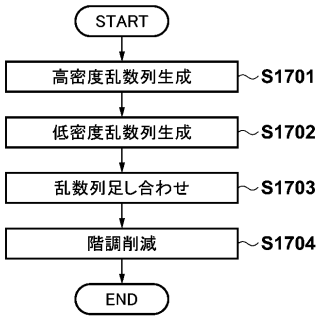
【図 1 4】



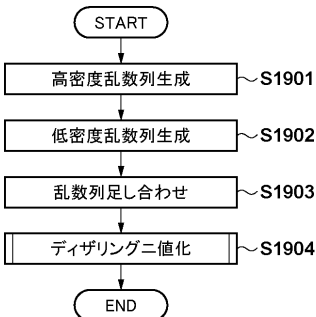
【図 1 6】

1/256	4/256	6/256	4/256	1/256
4/256	16/256	24/256	16/256	4/256
6/256	24/256	36/256	24/256	6/256
4/256	16/256	24/256	16/256	4/256
1/256	4/256	6/256	4/256	1/256

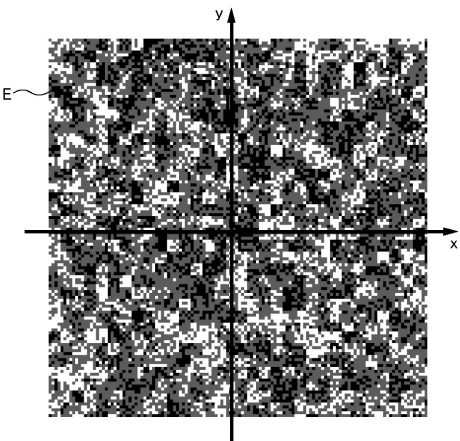
【図 1 7】



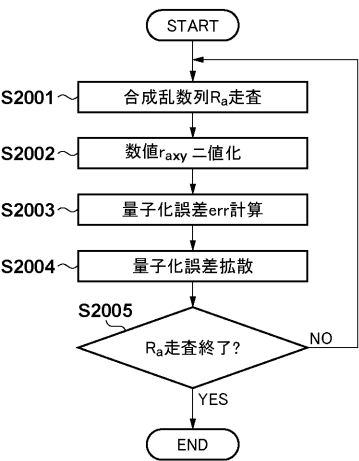
【図 1 9】



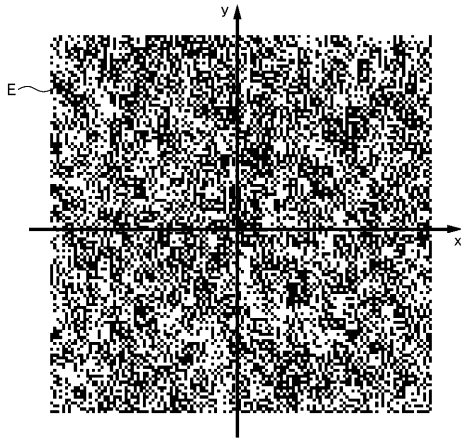
【図 1 8】



【図 2 0】



【図 21】



フロントページの続き

(72)発明者 園田 哲理

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 三好 貴大

(56)参考文献 特開2013-185832(JP,A)

特開2012-083233(JP,A)

米国特許出願公開第2013/0088575(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00 - 11/30

G01C 3/06