

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02016/186211

発行日 平成30年3月8日 (2018.3.8)

(43) 国際公開日 平成28年11月24日 (2016.11.24)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
G01B	11/25	(2006.01)	G01B	11/25	H	2F065		
G06T	7/557	(2017.01)	G06T	7/557		5L096		
G06T	7/571	(2017.01)	G06T	7/571				
G06T	7/00	(2017.01)	G06T	7/00	C			

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 51 頁)

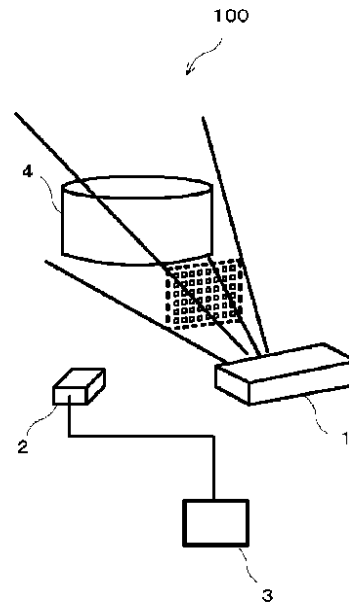
出願番号	特願2017-519422 (P2017-519422)	(71) 出願人	504258527 国立大学法人 鹿児島大学 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号
(21) 国際出願番号	PCT/JP2016/065084	(71) 出願人	510108951 公立大学法人広島市立大学 広島県広島市安佐南区大塚東三丁目4番1号
(22) 国際出願日	平成28年5月20日 (2016.5.20)	(74) 代理人	100095407 弁理士 木村 満
(31) 優先権主張番号	特願2015-103366 (P2015-103366)	(74) 代理人	100162259 弁理士 末富 孝典
(32) 優先日	平成27年5月21日 (2015.5.21)	(74) 代理人	100133592 弁理士 山口 浩一
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3次元計測システム、3次元計測方法及び3次元計測プログラム

(57) 【要約】

投影光により投影光学系を介して2次元パターンが投影された計測対象物(4)を、カメラ(2)により撮像して得られた画像データと、計測対象物(4)の奥行きに対応付けられて予め取得された参照画像データ群とを、比較することにより計測対象物(4)の奥行きを推定する3次元計測システム(100)である。2次元パターンは投影光学系に設けられた符号化開口パターンを介して計測対象物(4)に投影される。計測対象物(4)の奥行きは、投影光学系と撮像手段の計測対象物(4)に対する視差に基づく画像マッチングを行うステレオ法と、計測対象物(4)の画像データにおける符号化開口パターンの光軸方向のボケに基づくDfD法の双方を適用した画像処理により推定される。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

投影光により投影光学系を介して 2 次元パターンが投影された計測対象物を、撮像手段により撮像して得られた画像データと、前記計測対象物の奥行きに対応付けられて予め取得された参照画像データ群とを、比較することにより前記計測対象物の奥行きを推定する 3 次元計測システムであって、

前記 2 次元パターンは前記投影光学系に設けられた符号化開口パターンを介して前記計測対象物に投影されるとともに、

前記計測対象物の奥行きは、前記投影光学系と前記撮像手段の前記計測対象物に対する視差に基づく画像マッチングを行うステレオ法と、前記計測対象物の画像データにおける前記符号化開口パターンの光軸方向のボケに基づく D f D 法の双方を適用した画像処理により推定されることを特徴とする 3 次元計測システム。

10

【請求項 2】

前記参照画像データ群は、前記撮像手段により撮像して得られた画像データまたはシミュレーションにより算出された画像データである、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の 3 次元計測システム。

【請求項 3】

前記参照画像データ群は、前記投影光の光軸上の複数の位置に 2 次元平面を置いたときにそれぞれ前記撮像手段で撮像して得られた前記 2 次元平面の画像データを含む、

ことを特徴とする請求項 2 に記載の 3 次元計測システム。

20

【請求項 4】

前記 2 次元平面は、前記投影光学系の光軸に直交している、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の 3 次元計測システム。

【請求項 5】

前記参照画像データ群は、

前記投影光学系の光軸に斜交する 2 次元平面を、前記光軸に対して複数の異なる角度でそれぞれ置いたときに得られる 2 次元斜面の画像データを含む、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の 3 次元計測システム。

【請求項 6】

前記 2 次元斜面の画像データは、

撮像部により撮像される前記 2 次元平面の参照画像データを部分的に合成することにより、作成される、

ことを特徴とする請求項 5 に記載の 3 次元計測システム。

30

【請求項 7】

前記画像マッチングは、マッチング窓を用いて行われる、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の 3 次元計測システム。

【請求項 8】

前記 2 次元パターンは複数の異なる投影パターンを有し、

前記 2 次元パターンを構成する第 1 の投影パターンにより逆畳み込み演算を行わずに奥行き方向の探索範囲を決定するとともに、

前記 2 次元パターンを構成し、前記第 1 の投影パターンとは異なる第 2 の投影パターンにより、前記探索範囲において逆畳み込み演算を行うことによる画像の階層的復元法を用いて前記計測対象物の奥行きを推定する、

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか一項に記載の 3 次元計測システム。

40

【請求項 9】

前記 2 次元パターン及び前記符号化開口パターンの組み合わせは、光学的に同じ方向に並ぶラインパターン列同士、2 次元状に配列されたドットパターン同士、前記ラインパターン列と前記ドットパターンとの組み合わせのいずれかであり、前記 2 次元パターン及び前記符号化開口パターンの少なくとも一方は不規則なランダムパターンである、

50

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載の 3 次元計測システム。

【請求項 10】

前記 2 次元パターンには、
第 1 の色により形成された第 1 の 2 次元パターン群と、
第 2 の色により形成され、前記第 1 の 2 次元パターン群より空間周波数成分の高い第 2 の 2 次元パターン群と、
が含まれている、
ことを特徴とする請求項 1 から請求項 9 のいずれか一項に記載の 3 次元計測システム。

【請求項 11】

前記 2 次元パターンには、
第 1 の色により形成された第 1 のラインパターン群と、
第 2 の色により形成され前記第 1 のラインパターン群と直交する第 2 のラインパターン群と、
が含まれている、
ことを特徴とする請求項 1 から請求項 9 のいずれか一項に記載の 3 次元計測システム。

10

【請求項 12】

前記符号化開口パターンには、
前記第 1 の色の光のみを遮断するカラーフィルタを備えた第 1 の符号化開口パターンと、
前記第 2 の色の光のみを遮断するカラーフィルタを備えた第 2 の符号化開口パターンと、
が含まれている、
ことを特徴とする請求項 10 または請求項 11 に記載の 3 次元計測システム。

20

【請求項 13】

前記撮像手段で撮像された前記計測対象物の画像データから得られる各色の画像データと、同じ色の前記参照画像データ群との間で前記マッチング窓を用いた画像マッチングを行うことにより、2 次元パターンの結像位置を基準とする前記計測対象物の奥行きを求め、各色で求められた奥行きに基づいて、前記計測対象物の奥行きを推定する、
ことを特徴とする請求項 10 から請求項 12 のいずれか一項に記載の 3 次元計測システム。

30

【請求項 14】

前記 2 次元パターンを構成するパターンの配列方向にずれるように、前記撮像手段の光学系の光軸が、前記投影光の光軸と非同軸に設定されている、
ことを特徴とする請求項 1 から請求項 13 のいずれか一項に記載の 3 次元計測システム。

【請求項 15】

前記 2 次元パターンは、
第 1 の方向から前記計測対象物に前記 2 次元パターンを投影する第 1 の投影手段と、
第 2 の方向から前記計測対象物に前記 2 次元パターンを投影する第 2 の投影手段と、により投影される、
ことを特徴とする請求項 13 または請求項 14 に記載の 3 次元計測システム。

40

【請求項 16】

前記第 1 の投影手段と前記撮像手段との光軸のずれの方向が、前記第 2 の投影手段と前記撮像手段との光軸のずれの方向と直交する、
ことを特徴とする請求項 15 に記載の 3 次元計測システム。

【請求項 17】

前記撮像手段の光軸と前記投影光の光軸とが一致するように設定されている、
ことを特徴とする請求項 1 から請求項 13 のいずれか一項に記載の 3 次元計測システム

50

。

【請求項 18】

投影光により投影光学系を介して 2 次元パターンが投影された計測対象物を、撮像手段により撮像して得られた画像データと、前記計測対象物の奥行きに対応付けられて予め取得された参照画像データ群とを、比較することにより前記計測対象物の奥行きを推定する 3 次元計測方法であって、

前記 2 次元パターンは前記投影光学系に設けられた符号化開口パターンを介して前記計測対象物に投影されるとともに、

前記計測対象物の奥行きは、前記投影光学系と前記撮像手段の前記計測対象物に対する視差に基づく画像マッチングを行うステレオ法と、前記計測対象物の画像データにおける前記符号化開口パターンの光軸方向のボケに基づく D f D 法の双方を適用した画像処理により推定されることを特徴とする 3 次元計測方法。

10

【請求項 19】

投影光により符号化開口パターンが設けられた投影光学系を介して 2 次元パターンが投影された計測対象物を、撮像手段により撮像して得られた画像データと、前記計測対象物の奥行きに対応付けられて予め取得された参照画像データ群とを、比較することにより前記計測対象物の奥行きを推定するコンピュータを、

前記計測対象物の奥行きを、前記投影光学系と前記撮像手段の前記計測対象物に対する視差に基づく画像マッチングを行うステレオ法と、前記計測対象物の画像データにおける前記符号化開口パターンの光軸方向のボケに基づく D f D 法の双方を適用した画像処理により推定する推定部として機能させることを特徴とする 3 次元計測プログラム。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、3 次元計測システム、3 次元計測方法及び 3 次元計測プログラムに関する

。

【背景技術】

【0002】

近年、様々な分野で物体の 3 次元形状を計測する研究が盛んに行われている。中でも、装置の単純さとコストの観点から構造化光（パターン光）とカメラを用いたアクティブ 3 次元計測手法が主流となっている。アクティブ 3 次元計測手法では、計測対象となる物体へパターン光が投影され、その物体の表面で反射された光がカメラで観測される。さらに、パターン光により投影される元のパターンと物体上で観測されるパターンとの対応関係による三角測量で物体の 3 次元形状（フォーカス方向の奥行き）がカメラの撮像画像から復元される。対応関係の計算時間の効率化のために、2 次元パターン光をビデオプロジェクタで投影する手法が多く提案されている（例えば、非特許文献 1 参照）。

30

【0003】

しかし、ビデオプロジェクタは被写界深度が浅く、フォーカス方向の奥行きの計測レンジに制約が存在する。この計測レンジの制約を解決するために、被写界深度の深いレーザ光源を用いる手法が提案されている。しかし、レーザ光源を用いた場合には、特殊な光学系が必要になるため、用途に合わせた光学系を構築することが困難になる。

40

【0004】

計測レンジの狭さを解消する他の手法として、観測パターンのボケから奥行きを推定する D f D（Depth from Defocus）法が提案されている（例えば、非特許文献 2 参照）。D f D 法は、観測パターンのボケを前提としているため、被写界深度による制約が少ない。しかし、この手法の計測装置では光源にアレイ LED を用いるため、密なパターンを物体に投影することができず、得られる奥行きマップが疎であるという不都合があった。すなわち、D f D 手法は、奥行きの変化に対するパターンの変化がレンズの口径によって制限されるため、奥行き分解能が低いという不都合がある。また、奥行きの推定において逆畳込み処理を大量に行う必要があるため、計算量が膨大になるという不都合もあった。

50

【 0 0 0 5 】

D f D 法は、一般的にはカメラのボケに基づく手法として知られており、条件さえ揃えば1枚の画像から奥行きを推定することが可能である。しかし、D f D 法を良好に行うためには、計測対象に高周波なテクスチャが存在することが前提となるため、現実に適用できる範囲は限定的である。そこで、パターン投影光のボケと撮影カメラのボケの両方を数理的にモデル化し、リアルタイムに距離計測を実現するD f D 法が提案されている（例えば、非特許文献3参照）。これは、市松模様状のパターンを物体に投影し、その撮影結果のボケからD f Dを行う方法であり、この方法によれば、計測対象にテクスチャが無くとも計測が可能になる。しかし、非特許文献3に記載の手法では、合焦距離の異なる2枚の画像を必要とし、レンズの撮像素子との間にプリズムを設置するなど、撮影側の光学系を工夫する必要があった。

10

【 0 0 0 6 】

また、プロジェクタの投影像のボケを解析し、投影面の奥行きを推定する手法が提案されている（例えば、非特許文献4参照）。この手法によれば、ライン状の投影パターンの位相をシフトさせながら画像を取得することで、撮影画像のピクセルごとの奥行きを推定することができる。しかし、この手法では、投影パターンを変更した複数枚の画像を必要とするため、動いている物体の奥行き計測が困難であるという不都合があった。

【 0 0 0 7 】

また、プロジェクタの投影光学系に符号化開口を装着することで生成される構造化光を利用した3次元計測方法が開示されている（例えば、非特許文献5参照）。この方法では、格子状に符号パターンが設けられた符号化開口をつけた光源でパターン投影し、計測対象物体上で観測された投影パターンのボケ具合を利用して、D f Dにより各点の距離を求める。

20

【 0 0 0 8 】

下記非特許文献5に開示された方法では、投影パターンのボケの大きさ、すなわち点広がり関数（Point Spread Function、以下、P S Fともいう）のスケールを規定するパラメータをスケールパラメータとして用いる。まず、複数の既知の奥行きにおいて実際に観測したボケ画像を用いて、それぞれの奥行きにおけるP S Fのスケールを獲得し、フィッティングにより正確なスケールパラメータを求めるキャリブレーションを行う。さらに、実際に物体に投影された構造化光による投影パターンを撮像し、撮像により得られた投影パターンの画像データを、キャリブレーションで得られたスケールパラメータに従って、奥行きによって異なるP S Fを用いた逆畳込み演算を行い、格子状に配置された各復元パターンがボケのない符号化開口の符号パターンに最も類似する奥行きを、推定結果として求める。

30

【 0 0 0 9 】

しかしながら、上記非特許文献5に開示された方法では、逆畳込み演算と類似度の計算をすべての奥行きについて行うため、計算量の多い逆畳込み演算の演算回数が膨大となって、計算時間が長くなってしまう。また、計算結果が不安定となることも起こる。

【 0 0 1 0 】

また、武田らは、単なるステレオ法においても、符号化開口の導入によりボケによる精度低下を抑制できることを示し、さらにD f D法とステレオ法とを融合した手法を提案した（例えば、非特許文献6、7）。

40

【 先行技術文献 】

【 非特許文献 】

【 0 0 1 1 】

【非特許文献1】Ryusuke Sagawa, Nozomu Kasuya, Kazuhiro Sakashita, Ryo Furukawa, Hiroshi Kawasaki, Yasushi Yagi, "Grid-based Active Stereo with Single-colored Wave Pattern for Dense One-shot 3D Scan," Proc. 2012 Second Joint 3DIM/3DPVT Conference, pp. 363-370 (2012)

【非特許文献2】H. Kawasaki, Y. Horita, H. Masuyama, S. Ono, M. Kimura, Y. Takan

50

e, "Optimized Aperture for Estimating Depth from Projector's Defocus", International Conference on 3D Vision (3DV), Jun. 2013 (Seattle, USA)

【非特許文献3】Nayar, S., Watanabe, M., and Noguchi, M., "Real-Time Focus Range Sensor", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 18, No. 12, pp. 1186-1198 (1996)

【非特許文献4】Zhang, L. and Nayar, S.K., "Projection Defocus Analysis for Scene Capture and Image Display", ACM Trans. on Graphics (also Proc. of ACM SIGGRAPH) (2006).

【非特許文献5】堀田祐樹、小野智司、川崎洋、木村誠、高根靖雄、"符号化開口を用いたプロジェクタカメラシステムによるボケを利用した三次元計測手法"、電子情報通信学会論文誌 D Vol. 196 - D No. 8 pp. 1828 - 1833、一般社団法人電子情報通信学会 2013

【非特許文献6】Y. Takeda, S. Hiura, and K. Sato, "Coded aperture stereo-extension of depth of field and refocusing.", VISAPP (1), pp.103-111, 2012.

【非特許文献7】Y. Takeda, S. Hiura, and K. Sato, "Fusing depth from defocus and stereo with coded apertures," Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE Conference on IEEE, pp.209-216 (2013)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

上述のように、従来の3次元計測方法にはそれぞれ一長一短があり、より計算量を低減しつつ、精度良く計測を行うことが求められている。

【0013】

この発明は、上記のような問題点を解決するためになされたものであり、より計算量を低減しつつ、精度良く計測対象物の3次元計測を行うことができる3次元計測システム、3次元計測方法及び3次元計測プログラムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

上記目的を達成するため、この発明の第1の観点に係る3次元計測システムは、

投影光により投影光学系を介して2次元パターンが投影された計測対象物を、撮像手段により撮像して得られた画像データと、前記計測対象物の奥行きに対応付けられて予め取得された参照画像データ群とを、比較することにより前記計測対象物の奥行きを推定する3次元計測システムであって、

前記2次元パターンは前記投影光学系に設けられた符号化開口パターンを介して前記計測対象物に投影されるとともに、

前記計測対象物の奥行きは、前記投影光学系と前記撮像手段の前記計測対象物に対する視差に基づく画像マッチングを行うステレオ法と、前記計測対象物の画像データにおける前記符号化開口パターンの光軸方向のボケに基づくDfD法の双方を適用した画像処理により推定されることを特徴とする。

【0015】

前記参照画像データ群は、前記撮像手段により撮像して得られた画像データまたはシミュレーションにより算出された画像データである、

こととしてもよい。

【0016】

前記参照画像データ群は、前記投影光の光軸上の複数の位置に2次元平面を置いたときにそれぞれ前記撮像手段で撮像して得られた前記2次元平面の画像データを含む

こととしてもよい。

【0017】

前記2次元平面は、前記投影光学系の光軸に直交している、

こととしてもよい。

【 0 0 1 8 】

前記参照画像データ群は、
前記投影光学系の光軸に斜交する２次元平面を、前記光軸に対して複数の異なる角度でそれぞれ置いたときに得られる２次元斜面の画像データを含む、
こととしてもよい。

【 0 0 1 9 】

前記２次元斜面の画像データは、
撮像部により撮像される前記２次元平面の参照画像データを部分的に合成することにより、作成される、
こととしてもよい。

10

【 0 0 2 0 】

前記画像マッチングは、マッチング窓を用いて行われる、
こととしてもよい。

【 0 0 2 1 】

前記２次元パターンは複数の異なる投影パターンを有し、
前記２次元パターンを構成する第１の投影パターンにより逆畳み込み演算を行わずに奥行き方向の探索範囲を決定するとともに、
前記２次元パターンを構成し、前記第１の投影パターンとは異なる第２の投影パターンにより、前記探索範囲において逆畳み込み演算を行うことによる画像の階層的復元法を用いて前記計測対象物の奥行きを推定する、
こととしてもよい。

20

【 0 0 2 2 】

前記２次元パターン及び前記符号化開口パターンの組み合わせは、光学的に同じ方向に並ぶラインパターン列同士、２次元状に配列されたドットパターン同士、前記ラインパターン列と前記ドットパターンとの組み合わせのいずれかであり、前記２次元パターン及び前記符号化開口パターンの少なくとも一方は不規則なランダムパターンである、
こととしてもよい。

【 0 0 2 3 】

前記２次元パターンには、
第１の色により形成された第１の２次元パターン群と、
第２の色により形成され、前記第１の２次元パターン群より空間周波数成分の高い第２の２次元パターン群と、
が含まれている、
こととしてもよい。

30

【 0 0 2 4 】

前記２次元パターンには、
第１の色により形成された第１のラインパターン群と、
第２の色により形成され前記第１のラインパターン群と直交する第２のラインパターン群と、
が含まれている、
こととしてもよい。

40

【 0 0 2 5 】

前記符号化開口パターンには、
前記第１の色の光のみを遮断するカラーフィルタを備えた第１の符号化開口パターンと、
前記第２の色の光のみを遮断するカラーフィルタを備えた第２の符号化開口パターンと、
が含まれている、
こととしてもよい。

【 0 0 2 6 】

50

前記撮像手段で撮像された前記計測対象物の画像データから得られる各色の画像データと、同じ色の前記参照画像データ群との間で前記マッチング窓を用いた画像マッチングを行うことにより、2次元パターンの結像位置を基準とする前記計測対象物の奥行きを求め、各色で求められた奥行きに基づいて、前記計測対象物の奥行きを推定する、
こととしてもよい。

【0027】

前記2次元パターンを構成するパターンの配列方向にずれるように、前記撮像手段の光学系の光軸が、前記投影光の光軸と非同軸に設定されている、
こととしてもよい。

【0028】

前記2次元パターンは、
第1の方向から前記計測対象物に前記2次元パターンを投影する第1の投影手段と、
第2の方向から前記計測対象物に前記2次元パターンを投影する第2の投影手段と、
により投影される、
こととしてもよい。

【0029】

前記第1の投影手段と前記撮像手段との光軸のずれの方向が、前記第2の投影手段と前記撮像手段との光軸のずれの方向と直交する、
こととしてもよい。

【0030】

前記撮像手段の光軸と前記投影光の光軸とが一致するように設定されている、
こととしてもよい。

【0031】

この発明の第2の観点に係る3次元計測方法は、
投影光により投影光学系を介して2次元パターンが投影された計測対象物を、撮像手段により撮像して得られた画像データと、前記計測対象物の奥行きに対応付けられて予め取得された参照画像データ群とを、比較することにより前記計測対象物の奥行きを推定する3次元計測方法であって、

前記2次元パターンは前記投影光学系に設けられた符号化開口パターンを介して前記計測対象物に投影されるとともに、

前記計測対象物の奥行きは、前記投影光学系と前記撮像手段の前記計測対象物に対する視差に基づく画像マッチングを行うステレオ法と、前記計測対象物の画像データにおける前記符号化開口パターンの光軸方向のボケに基づくDfD法の双方を適用した画像処理により推定されることを特徴とする。

【0032】

この発明の第3の観点に係る3次元計測プログラムは、

投影光により符号化開口パターンが設けられた投影光学系を介して2次元パターンが投影された計測対象物を、撮像手段により撮像して得られた画像データと、前記計測対象物の奥行きに対応付けられて予め取得された参照画像データ群とを、比較することにより前記計測対象物の奥行きを推定するコンピュータを、

前記計測対象物の奥行きを、前記投影光学系と前記撮像手段の前記計測対象物に対する視差に基づく画像マッチングを行うステレオ法と、前記計測対象物の画像データにおける前記符号化開口パターンの光軸方向のボケに基づくDfD法の双方を適用した画像処理により推定する推定部として機能させることを特徴とする。

【発明の効果】

【0033】

この発明によれば、2次元パターンが、符号化開口パターンを介して計測対象物に投影される。これにより、計測対象物に投影される投影像は、2次元パターンと符号化開口パターンとの畳込みにより形成される像となり、計測対象物の奥行きの変化に対してパターンの変化が大きい画像となる。このため、計測対象物の奥行き分解能を向上することがで

10

20

30

40

50

きる。また、計測対象物の奥行きは、前記計測対象物の奥行きに対応付けられて予め取得された参照画像データ群との画像マッチングにより推定される。したがって、計測対象物の奥行きを推定するのに符号化開口の開口パターンによる逆畳込み演算などの複雑な演算を行う必要がなくなるうえ、D f D法とステレオ法とを融合した高精度な計測が可能となり、光学系の収差による推定誤差を低減することも可能となる。すなわち、この発明によれば、より計算量を低減しつつ、精度良く計測対象物の3次元計測を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】この発明の実施の形態1に係る3次元計測システムの概略的な構成を示す斜視図である。

【図2】図1の3次元計測システムの光学系の構成を示す図である。

【図3A】符号化開口の符号パターンの一例を示す図である。

【図3B】フォーカス方向に関する符号パターンの被投影パターンの変化を示す図である。

【図4A】投影パターンの一例(その1)を示す図である。

【図4B】符号化開口のフォーカス方向に関する被投影パターンの変化(その1)を示す図である。

【図5A】投影パターンの一例(その2)を示す図である。

【図5B】符号化開口のフォーカス方向に関する被投影パターンの変化(その2)を示す図である。

【図6】図1のコンピュータのハードウェア構成を示すブロック図である。

【図7】図1のコンピュータの機能構成を示すブロック図である。

【図8】孤立パターンのローカル・バイナリ・パターンのヒストグラムと、奥行きとの相関関係を示す図である。

【図9】孤立パターンの画像データのローカル・バイナリ・パターンのヒストグラムと、ヒストグラムデータベースに登録された複数のヒストグラムとのマッチングを示す図である。

【図10】スケールパラメータのフィッティングの一例を示す図である。

【図11】逆畳込み演算及びマッチングの流れの一例を示す図である。

【図12】スライディングウインドウの一例を示す図である。

【図13】スライディングウインドウ方式での処理の流れの一例を示す図である。

【図14】奥行きと視差との関係を示す図である。

【図15】グラフカット処理の一例を示す図である。

【図16】階層復元の一例を示す図である。

【図17】3次元計測処理のフローチャートである。

【図18】キャリブレーションのフローチャート(その1)である。

【図19】キャリブレーションのフローチャート(その2)である。

【図20】初期計測のフローチャートである。

【図21】ファイン計測のフローチャートである。

【図22】3次元計測システムの適用例を示す図である。

【図23】この発明の実施の形態2に係る3次元計測システムの光学系の構成を示す図である。

【図24】この発明の実施の形態3に係る3次元計測システムの概略的な構成を示すブロック図である。

【図25A】この発明の実施の形態4に係る3次元計測システムの概略的な構成を示す斜視図である。

【図25B】映像面に表示される2次元パターンの一例を示す図である。

【図26A】符号化開口の一例を示す図である。

【図26B】フォーカス方向に関する符号パターンの被投影パターンの変化を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 2 7】フォーカス方向に関する 2 次元パターンの投影像の変化を示す図である。

【図 2 8】図 2 5 A のコンピュータの機能構成を示すブロック図である。

【図 2 9 A】フォーカス方向に得られる参照画像データ群の一例である。

【図 2 9 B】計測対象物の一例である。

【図 2 9 C】計測対象物に投影される投影像の画像データの一例である。

【図 3 0】図 2 5 A の 3 次元計測システムにおける 3 次元計測処理のフローチャートである。

【図 3 1】図 3 0 のキャリブレーションのフローチャートである。

【図 3 2】図 3 0 の奥行き計測のフローチャートである。

【図 3 3】マッチング窓を設定する様子を示す図である。

【図 3 4】フィッティングにより、奥行きを推定する様子を示す図である。

【図 3 5】この発明の実施の形態 5 に係る 3 次元計測システムの機能構成を示すブロック図である。

【図 3 6 A】仮想斜面の参照画像データが生成される様子を示す図である。

【図 3 6 B】計測対象物に投影される投影像の画像データの一例である。

【図 3 6 C】計測対象物の奥行きを推定結果の一例である。

【図 3 6 D】仮想斜面の参照画像データでの画像マッチングにより推定された計測対象物上の法線マップである。

【図 3 6 E】仮想斜面で画像マッチングにより推定された計測対象物の奥行きを推定結果の一例である。

【図 3 7】図 3 5 のコンピュータにおけるキャリブレーションのフローチャートである。

【図 3 8】この発明の実施の形態 6 に係る 3 次元計測システムの機能構成を示すブロック図である。

【図 3 9 A】青色の 2 次元パターンの一例である。

【図 3 9 B】赤色の 2 次元パターンの一例である。

【図 4 0】奥行き計測のフローチャート（その 1）である。

【図 4 1】奥行き計測のフローチャート（その 2）である。

【図 4 2】Coarse-to-fine の奥行き計測の一例である。

【図 4 3】この発明の実施の形態 7 に係る 3 次元計測システムの機能構成を示すブロック図である。

【図 4 4 A】赤色の 2 次元パターンの一例である。

【図 4 4 B】緑色の 2 次元パターンの一例である。

【図 4 4 C】青色の 2 次元パターンの一例である。

【図 4 5】赤色、緑色、青色の画像データにおける奥行きと相関値との関係を示すグラフである。

【図 4 6】この発明の実施の形態 8 に係る 3 次元計測システムの機能構成を示すブロック図である。

【図 4 7 A】赤色の 2 次元パターンの一例である。

【図 4 7 B】青色の 2 次元パターンの一例である。

【図 4 8】奥行きを推定結果の一例を示す図である。

【図 4 9】この発明の実施の形態 9 に係る 3 次元計測システムの構成を示す模式図である。

【図 5 0】ベースラインと符号化開口との関係を示す図である。

【図 5 1】Kd木の探索による画像マッチングを示す図である。

【図 5 2】この発明の実施の形態 10 に係る 3 次元計測システムにおける DOE (Diffractive Optical Element) を用いたレーザ光源の実装例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0035】

以下、この発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0036】

10

20

30

40

50

実施の形態 1 .

まず、この発明の実施の形態 1 について説明する。

【0037】

図 1 には、3次元計測システム 100 の概略的な構成が示されている。図 1 に示すように、3次元計測システム 100 は、プロジェクタ 1 とカメラ 2 とコンピュータ 3 とを備える。プロジェクタ 1 は、投影光（構造化光）を計測対象物 4 に投影する投影部である。カメラ 2 は、その投影光（構造化光）により計測対象物 4 に投影された被投影パターン（投影像）を撮像する撮像部である。カメラ 2 とコンピュータ 3 との間は、通信ネットワークで接続されている。この通信ネットワークにより、カメラ 2 とコンピュータ 3 との間で画像データの送受信が可能となる。コンピュータ 3 は、カメラ 2 での撮像により得られた画像データに基づいて、計測対象物 4 の 3次元形状（プロジェクタ 1 から見た計測対象物 4 の奥行き）を計測する計測部である。

10

【0038】

図 2 には図 1 の 3次元計測システム 100 の光学系の構成が示されている。図 2 に示すように、プロジェクタ 1 は、映像面 11 と投影光学系 12 と符号化開口 13 とを備える。光源から発せられた投影光は、映像面 11 を透過する。映像面 11 は、例えば透過型の液晶素子であり、映像面 11 には映像（2次元パターン）が表示されている。したがって、映像面 11 を透過した光は、映像面 11 に表示された映像の情報を含んだ光となる。この光は、投影光学系 12 に入射する。

【0039】

20

投影光学系 12 は、入射した光を外部に投影する。投影光学系 12 は、屈折光学系であり、映像面 11 に表示された映像を結像面に結像させる。

【0040】

投影光学系 12 の出射面には符号化開口 13 が装着されている。図 3 A に示すように、符号化開口 13 には、符号パターン（符号化開口パターン）5 が設けられている。符号パターン 5 は左右非対称なパターンである。投影光学系 12 を出射した光は、符号パターン 5 の開口部分を介してプロジェクタ 1 から出射される。符号パターン 5 では、図 3 A に示す白の部分が光を透過させる。これにより、プロジェクタ 1 の出射光は、符号パターン 5 の形状の情報を含んだ光（構造化光）となる。

【0041】

30

図 2 に戻り、投影光学系 12 の光軸 AX に沿った座標軸 d の原点を投影光学系 12 の中心とする。プロジェクタ 1 の出射光は、投影光学系 12 の光軸 AX を中心としながら座標軸 d の + d 方向に進み、点 d_p で合焦する。プロジェクタ 1 の映像面 11 は、点 d_p とは結像関係にある。したがって、点 d_p にスクリーンを置くと、そのスクリーンには、映像面 11 に表示された映像が結像する。この結像位置が位置 B である。

【0042】

一方、符号化開口 13 は、結像映像と畳み込みの関係にあり、フーリエ変換などでその性質を解析可能である。したがって、映像面 11 において点状の投影パターンを投影した場合、符号化開口 13 の符号パターン 5 は、点 d_p 、すなわち合焦状態では点状のパターンとなり、デフォーカスするにつれて、符号パターン 5 の像が現れてくるようになる。この実施の形態に係る 3次元計測システム 100 は、デフォーカス状態にある符号パターン 5 の画像データを処理することにより、投影光学系 12 により結像する投影パターン（2次元パターン）の結像位置 d_p を基準とする計測対象物 4 の光軸 AX の方向（座標軸 d の方向）の奥行きを計測する。符号パターン 5 の像を読み取りできる範囲は、位置 A と位置 C との間であるため、計測対象物 4 の奥行き探索範囲は、位置 A から位置 C までの範囲 F となる。図 3 B に示すように、計測対象物 4 に投影される符号パターンの投影像（被投影パターン）は、座標軸 d の方向（すなわち投影光学系 12 のフォーカス方向）の奥行きに応じて変化する。

40

【0043】

この実施の形態では、映像面 11 に 2 種類の映像が表示される。図 4 A に示す投影パタ

50

ーン 1 1 A と図 5 A に示す投影パターン 1 1 B である。

【 0 0 4 4 】

図 4 A に示すように、投影パターン 1 1 A では、複数の点状の第 1 投影パターンが 4 行 4 列の格子状に設けられている。この複数の第 1 投影パターンからなる符号パターン 5 を介した構造化光の投影により、計測対象物 4 には符号パターン 5 の像（第 1 被投影パターン）が形成される。図 4 B には、符号化開口 1 3 A におけるフォーカス方向に関するパターン像の変化が示されている。図 4 B に示すように、合焦位置 B において、投影パターン 1 1 A のパターン像は、4 × 4 のほぼ点状のパターンとなるが、デフォーカス状態にある位置 A、C では、符号パターン 5 の像が 4 行 4 列に並ぶ配列パターンとなる。

【 0 0 4 5 】

符号パターン 5 は非対称となっているため、- d 方向にデフォーカスした位置 A と、+ d 方向にデフォーカスした位置 C とでは、符号パターン 5 の像が異なっている。このため、各符号パターン 5 の形状（ボケ状態）を解析すれば、被投影パターンがどちらの方向にどの程度デフォーカスしているのかを求めることができる。

【 0 0 4 6 】

前述のように、位置 A から位置 C までが、投影光学系 1 2 のフォーカス方向に関する奥行き探索範囲 F であるが、探索範囲 F において、符号化開口 1 3 A の符号パターン 5 を介した投影像では、符号パターン 5 の像が他の符号パターン 5 の像と干渉が少ないように、映像面 1 1 における投影パターン 1 1 A は、疎な配置となっている。特に、全く干渉しないように配置すると、投影パターン 1 1 A の配列密度は疎となるが、処理は安定する。コンピュータ 3 は、符号化開口 1 3 A を介した構造化光の投影により計測対象物 4 に形成された複数の被投影パターン（孤立パターン）の画像データ（第 1 の画像データ）に基づいて、投影光学系 1 2 のフォーカス方向に関する各被投影パターンの奥行き探索範囲を計測する。

【 0 0 4 7 】

図 5 B に示すように、映像面 1 1 に表示された投影パターン 1 1 B では、複数の第 2 の点状パターンが 7 行 7 列の格子状に設けられている。すなわち、投影パターン 1 1 B では、点状パターンの配列密度が投影パターン 1 1 A よりも密となっている。図 5 B に示すように、合焦位置 B において、投影パターン 1 1 B の像は、7 × 7 のドット状のパターンとなるが、デフォーカス状態にある位置 A、C では、符号パターン 5 の像が 7 行 7 列に並ぶ配列パターンとなる。

【 0 0 4 8 】

符号パターン 5 は非対称となっているため、- d 方向にデフォーカスした位置 A と、+ d 方向にデフォーカスした位置 C とでは、符号パターン 5 の像が異なっている。このため、各符号パターン 5 の形状（ボケ状態）を解析すれば、その被投影パターンがどちらの方向にどの程度デフォーカスしているのかを求めることができる点は、投影パターン 1 1 A と同じである。

【 0 0 4 9 】

投影パターン 1 1 B は、投影パターン 1 1 A の符号パターンよりも、密に配列されているので、投影光学系 1 2 のフォーカス方向に関する奥行き探索範囲 F（位置 A ~ 位置 C）において、符号化開口 1 3 B の符号パターン同士が大きく重なる区間が出てくる。

【 0 0 5 0 】

コンピュータ 3 では、投影パターン 1 1 B を用いた構造化光の投影により計測対象物 4 に形成された被投影パターンの画像データ（第 2 の画像データ）に対し、投影光学系 1 2 のフォーカス方向に関して投影パターン 1 1 A を用いて計測された奥行き探索範囲に絞り込んで逆畳込み演算を行う。この逆畳込み演算により、複数の投影パターン 1 1 B にそれぞれ対応する複数の復元パターンが形成される。コンピュータ 3 は、その演算により得られた復元パターンと投影パターン 1 1 B との類似度計算により、投影光学系 1 2 のフォーカス方向に関する各復元パターンの奥行きを計測する。

【 0 0 5 1 】

10

20

30

40

50

符号化開口 13A と符号化開口 13B とは、投影光学系 12 に選択的に装着される。その選択は手動によって行われてもよいし、自動的に、例えばコンピュータ 3 の制御により行われるようにしてもよい。あるいは、カラーフィルタを用いて、別々の透過色として配置してもよい。また、その場合、投影パターンの色もそれに合わせて配色すると良い。選択的に装着した符号化開口 13A、13B を介した光は、前述のように、各符号パターン 5 の構造情報を含む構造化光となる。この構造化光は投影光として計測対象物 4 (キャリブレーションの際には平面スクリーン) に投影される。

【0052】

カメラ 2 は、構造化光により計測対象物 4 に投影された被投影パターンを撮像する。カメラ 2 は、光軸 AX 上に設置されていても、されていなくても良い。プロジェクタ 1 とカメラ 2 が同軸ではない場合、ハーフミラーなどを使用する必要がなく、より明るいパターンを計測することが出来る他、視差を利用した計測の高精度化がなされるというメリットがある。

10

【0053】

コンピュータ 3 は、カメラ 2 での撮像により得られた画像データに基づいて、計測対象物 4 の 3 次元形状を計測する。上述のように、計測対象物 4 の各符号パターン 5 の像の形成状態は、座標軸 d の位置に依存するため、計測対象物 4 の各符号パターン 5 の像の形成状態を画像解析することにより、計測対象物 4 のフォーカス方向の奥行きを求めることができる。

【0054】

図 1 のコンピュータ 3 のハードウェア構成を示す図 6 に示すように、コンピュータ 3 は、制御部 31、主記憶部 32、外部記憶部 33、操作部 34、表示部 35 及び通信部 36 を備える。主記憶部 32、外部記憶部 33、操作部 34、表示部 35 及び通信部 36 はいずれも内部バス 30 を介して制御部 31 に接続されている。

20

【0055】

制御部 31 は、CPU (Central Processing Unit) 等から構成されている。この CPU が、外部記憶部 33 に記憶されているプログラム 39 を実行することにより、図 1 に示すコンピュータ 3 の各構成要素が実現される。

【0056】

主記憶部 32 は、RAM (Random-Access Memory) 等から構成されている。主記憶部 32 には、外部記憶部 33 に記憶されているプログラム 39 がロードされる。この他、主記憶部 32 は、制御部 31 の作業領域 (データの一時記憶領域) として用いられる。

30

【0057】

外部記憶部 33 は、フラッシュメモリ、ハードディスク、DVD-RAM (Digital Versatile Disc Random-Access Memory)、DVD-RW (Digital Versatile Disc Rewritable) 等の不揮発性メモリから構成される。外部記憶部 33 には、制御部 31 に実行させるためのプログラム 39 があらかじめ記憶されている。また、外部記憶部 33 は、制御部 31 の指示に従って、このプログラム 39 の実行の際に用いられるデータを制御部 31 に供給し、制御部 31 から供給されたデータを記憶する。

【0058】

操作部 34 は、キーボード及びマウスなどのポインティングデバイス等と、キーボードおよびポインティングデバイス等を内部バス 30 に接続するインターフェイス装置から構成されている。操作部 34 を介して、操作者が操作した内容に関する情報が制御部 31 に入力される。

40

【0059】

表示部 35 は、CRT (Cathode Ray Tube) または LCD (Liquid Crystal Display) などから構成され、操作者が操作情報を入力する場合は、操作作用の画面が表示される。

【0060】

通信部 36 は、シリアルインターフェイスまたはパラレルインターフェイスから構成されている。通信部 36 は、通信ネットワークを介してカメラ 2 と接続されており、カメラ

50

2 から画像データを受信する。

【0061】

図1に示すコンピュータ3の各種構成要素は、図6に示すプログラム39が、制御部31、主記憶部32、外部記憶部33、操作部34、表示部35及び通信部36などをハードウェア資源として用いて実行されることによってその機能を発揮する。

【0062】

図6に示すようなハードウェア構成を有するコンピュータ3は、その機能構成として、図7に示すように、記憶部40と、データ取得部41と、初期計測部42と、ファイン計測部43と、出力部44とを備える。

【0063】

記憶部40は、図6に示すハードウェア構成のうち、外部記憶部33に対応する。記憶部40は、各種データ(画像データ50A、50B、ヒストグラムデータベース51、奥行き範囲データ52、スケールパラメータ53、奥行きデータ54)を記憶する。

【0064】

データ取得部41は、図6に示すハードウェア構成のうち、制御部31、操作部34、通信部36に対応する。データ取得部41は、カメラ2から送信された画像データを、画像データ50A、50Bとして、記憶部40に記憶する。操作部34の操作入力により、カメラ2から送信された画像データを、画像データ50A、50Bのいずれかとして記憶部40に記憶する。

【0065】

投影パターン11Aが投影され符号化開口13Aが投影光学系12に装着されている場合に、データ取得部41は、操作部34の操作入力により、カメラ2で撮像された画像データを画像データ50Aとして記憶部40に記憶する。すなわち、画像データ50Aは、符号化開口13Aを介した構造化光の投影により計測対象物4に形成された複数の孤立パターン(図4B参照)の第1の画像データである。

【0066】

一方、投影パターン11Bが投影され符号化開口13Bが投影光学系12に装着されている場合に、データ取得部41は、操作部34の操作入力により、カメラ2で撮像された画像データを画像データ50Bとして記憶部40に記憶する。すなわち、画像データ50Bは、符号化開口13Bを介した構造化光の投影により計測対象物4上に形成された被投影パターンの第2の画像データである。

【0067】

第1の計測部としての初期計測部42は、図6に示すハードウェア構成のうち、制御部31、主記憶部32及び操作部34に対応する。初期計測部42は、記憶部40に記憶された画像データ50Aに基づいて、初期計測を行う。初期計測部42は、記憶部40に記憶された画像データ50Aに基づいて、投影光学系12のフォーカス方向(座標軸dの方向)に関する各孤立パターンの奥行き探索範囲を計測する。計測結果は、奥行き範囲データ52として記憶部40に記憶される。

【0068】

より具体的には、初期計測部42は、画像データ50Aにおける各孤立パターンの画像特徴を抽出する。画像特徴としては、ローカル・バイナリ・パターン(LBP)又はローカル・ターナリ・パターン(LTP)が採用される。さらに、初期計測部42は、ヒストグラムデータベース51を参照して、抽出された画像特徴に対応する各孤立パターンの奥行きを求める。図8に示すように、各孤立パターンの奥行き(Depth1、Depth2、Depth3)とLBPのヒストグラムとの間には相関関係がある。奥行きが同じであれば、各孤立パターンのLBPのヒストグラムはほぼ同じとなる。

【0069】

ここで、LBP及びLTPとは、画像データを、中心画素とその中心画素に隣接する8画素各々について、その大小関係を0又は1のバイナリデータとして並べた例えば8ビットのデータ列を各画素の画素値とした画像データ(LBP画像、LTP画像ともいう)で

10

20

30

40

50

ある。LTPでは、バイナリデータではなく3値データになる。LBPのヒストグラムは、横軸をLBPの輝度値とし、縦軸をその輝度値を有する画素数としたものである。

【0070】

ヒストグラムデータベース51には、図8に示すような各孤立パターンの画像データの画像特徴と、フォーカス方向に関する各孤立パターンの奥行きとが関連づけて登録されている。ヒストグラムデータベース51には、予め行われるキャリブレーションにより得られたデータが登録される。

【0071】

初期計測部42は、図9に示すように、画像データ50Aに含まれる孤立パターンの画像データをLBP画像に変換し、変換されたLBP画像に基づいてLBPのヒストグラムを生成する。初期計測部42は、生成したヒストグラムと、ヒストグラムデータベース51に登録された複数のLBP画像(Depth1、Depth2、Depth3)のヒストグラムとをマッチングし、最も類似度の高いヒストグラムに対応する奥行きを、4×4の孤立パターン毎に求める。孤立パターン毎に求められた奥行きの探索範囲は、奥行き範囲データ52として記憶部40に記憶される。

【0072】

第2の計測部としての高精度(ファイン)計測部43は、図6に示すハードウェア構成のうち、制御部31、主記憶部32及び操作部34に対応する。ファイン計測部43は、記憶部40に記憶された画像データ50Bに基づいて、計測対象物4の正確な奥行きの計測を行う。ファイン計測により、投影光学系12のフォーカス方向に関する画像データ50Bに含まれる被投影パターンの奥行きが計測される。計測は、逆畳込み演算を用いて行われる。

【0073】

計測対象物4に投影される被投影パターンは、投影パターン11Bと点広がり関数(PSF)との畳込みにより形成される。PSFは、奥行きに応じて異なったものとなる。このため、被投影パターンに対して各奥行きに対応するPSFで逆畳込み演算を行った結果、得られる復元パターンが投影パターン11Bに最も近いときの奥行きが、その復元パターンに対応する奥行きということになる。

【0074】

ファイン計測部43は、画像データ50Bに対して探索範囲内の複数のサンプリング位置で逆畳込み演算を行う。これにより、計測範囲内の複数のサンプリング位置に対応する逆畳込み演算後の画像データ(復元パターン)が得られる。

【0075】

ただし、この実施の形態では、ファイン計測部43は、奥行き範囲データ52に含まれる奥行きの探索範囲(Fより小さい微小範囲)に絞りこんで、探索範囲内の複数のサンプリング位置で逆畳込み演算を行う。これにより、逆畳込み演算という計算量の多い複雑な演算の演算回数を著しく少なくすることができる。

【0076】

この実施の形態では、符号パターンの像のボケ具合を積極的に利用して形状復元を行うため、そのボケ具合が必然的に大きくなることから、そのボケ具合を予めキャリブレーションしておく必要がある。収差を無視できる場合には、キャリブレーションするパラメータを、ボケの大きさ(スケール)Sに関するもののみとすることができる。

【0077】

投影光学系12の光軸AX上に平面スクリーンを置いた場合、その平面スクリーン上に投影される点状パターンのボケの物理的な大きさyDは、次式で表される。

10

20

30

40

【数 1】

$$y(d) = Y_a \frac{d_p - d}{d_p - d_a} \dots (1)$$

ここで、 d は、座標軸 d 上の平面スクリーンの位置であり、 y_a は、符号化開口 1 3 の開口径であり、 d_p は、プロジェクタ 1 から投影される構造化光の合焦距離であり、 d_a は、カメラ 2 から投影光学系 1 2 までの座標軸 d 方向に関する距離である。

10

【0078】

ここで、投影像をカメラ 2 で撮影したとき、平面スクリーン上の点像のボケの大きさ（スケール） S は、以下のように表される。

【数 2】

$$S(d) = \frac{f}{d} y(d) = c \left(\frac{d_p}{d} - 1 \right) \dots (2)$$

ここで、 c がスケールパラメータである。スケールパラメータ c は以下のようになる。

20

【数 3】

$$c = \frac{f \cdot y_a}{d_p - d_a} \dots (3)$$

すなわち、スケールパラメータ c と、平面スクリーンの位置 d が決まれば、スケール S d が決まる。この実施の形態では、複数の既知の奥行きにおいて実際に観測したボケ画像を用いて、それぞれの奥行きにおけるスケール S d を獲得し、図 10 に示すように、スケール S d のフィッティングを行って正確なスケールパラメータ c を求め、最終的に、スケールパラメータ c に基づいて、奥行き d の関数であるスケール S d を求める。この方法は、必要な撮像画像が多くなるものの、現実に即したスケールパラメータ c が直接得られ、カメラ 2 とプロジェクタ 1 との間のベースライン等のキャリブレーションも不要となる。スケールパラメータ c は、スケールパラメータ 5 3 として記憶部 4 0 に記憶される。

30

【0079】

ファイン計測部 4 3 は、図 1 1 に示すように、計測対象物 4 に符号化開口 1 3 B を介して投影パターン 1 1 B を投影し、キャリブレーションで得られたスケールパラメータ c を用いて画像データ 5 0 B の被投影パターン P 2 を複数の奥行きで（その奥行きのスケール S d ）で逆畳込み演算して逆畳込み演算後のパターン P 3 ~ P 5 を求める。ファイン計測部 4 3 は、投影パターン 1 1 B に最も類似する復元パターン（パターン P 3 ~ P 5 に含まれる各復元パターン）の奥行き d を、復元パターン毎に求める。逆畳込み演算を行うため、隣接する符号パターン 5 同士のパケが重なったような場合であっても、正しいスケールパラメータ c で逆畳込み演算された場合には、それらは明確に分離され、各復元パターンの奥行きを安定して推定し、計測対象物 4 の 3 次元形状を正確に復元することが可能である。

40

【0080】

ファイン計測部 4 3 は、スライディングウィンドウ方式で画像データ 5 0 B から抽出された部分画像データに対して逆畳込み演算を行う。図 1 2 に示すように、スライディングウィンドウ W は、画像データ 5 0 B 上を左上から右に向かって順次スライドする。そして、それぞれの位置で、スライディングウィンドウ W 内の画像データが抽出される。さらに

50

、抽出された画像データに対して、上述の逆畳込み演算が行われ、画像データ内の被投影パターンの奥行きが算出される。スライディングウインドウWのスライド間隔は、スライド前の領域とスライド後の領域の一部が重なるようになっている。

【0081】

ファイン計測部43では、スライディングウインドウW内の画像データに対して、逆畳込み演算が行われ、そのときの奥行きが算出される。スライディングウインドウWの横方向の走査が完了すると、スライディングウインドウWは、下方向及び左端にシフトする。そして、同様の処理が実行される。スライディングウインドウWの上下の間隔も、スライド前とスライド後とで一部が重なるようになっている。このようにして、画像データ50B全体のスライディングウインドウWの順次走査及び奥行きの推定が行われる。

10

【0082】

図13に示すように、画像データ(Captured image)に対してスライディングウインドウWで一部の画像データを抽出し、ハミング窓でフィルタリングしたものをスケールパラメータcに基づくカーネル(kernel)で逆畳込み演算する。そして、それぞれ逆畳込み演算された画像データを、ハミング窓を用いて他の画像データと統合(Integration(Weighted sum))することにより、逆畳込み演算後の画像データ(Deconvolved image)を得る。

【0083】

ファイン計測部43は、スライディング方式による逆畳込み演算により得られた復元パターンと投影パターン11Bとの類似度を計算し、投影光学系12のフォーカス方向に関する各復元パターンに対応する奥行きを計測する。類似度計算には、画像マッチングや、画像特徴量の比較を用いることができる。画像特徴量としては、ガウス関数のあてはめによる点らしさや、尖度などを用いることができる。

20

【0084】

この実施の形態に係る3次元計測システム100では、カメラ2とプロジェクタ1とが同軸上にはない。したがって、図14に示すように、プロジェクタ1とカメラ2との間の視差により、プロジェクタ1及びカメラ2に近い平面(Near plane)上の点像(赤)と、遠い平面(Far plane)上の点像(緑)との射影ひずみが生じる。この射影ひずみは、逆畳込み演算に悪影響を及ぼす。そこで、この実施の形態では、スライディングウインドウ方式を採用すれば、演算を行う画像データの大きさを小さくすることができるので、この射影ひずみの影響を低減することができる。

30

【0085】

ファイン計測部43は、逆畳込み演算を行うことにより得られた画像データに対して、グラフカット処理を行い、グラフカット処理が行われた画像データに含まれる復元パターンと投影パターン11B(オリジナルパターン)との類似度計算を行う。

【数4】

$$E(D) = \sum_{v \in V} g(D_v) + \sum_{(u,v) \in E} h(D_u, D_v) \dots (4)$$

グラフカット処理は、上述のエネルギーE Dを最小にする処理である。上述の式において、 $g(D_v)$ は、データコストであり、逆畳込み演算を行うことによりフォーカス方向に得られた複数の復元パターンと投影パターン11Bとの類似度を用いることができる。 $h(D_u, D_v)$ は、隣接する画素同士の輝度値の差分に相当する関数である。すなわち、グラフカット処理では、他の隣接画素と極端に輝度値が異なる画素について、エネルギーE Dが最小となるように、輝度値の修正が施される。図15には、4つの平面シートをそれぞれ異なる奥行きに設置した場合に得られる画像データが示されている。図15に示すように、このグラフカット処理により、画像データにおけるノイズ成分が低減され、画像データ全体が滑らかに調整される。

40

【0086】

上述のように、この実施の形態では、図16に示すように、パターンが疎な投影パター

50

ン 1 1 A を用いて、画像データ 5 0 A (Captured image with Coarse pattern) が撮像される。そして、初期計測部 4 2 により、画像データ 5 0 A に含まれる複数の被投影パターン (孤立パターン) 各々の L B P のヒストグラムと複数の奥行き (Depth) の符号パターンの L B P のヒストグラムとの間のカイ二乗の距離 (Chi-square distance) が求められて粗推定 ((a) Coarse estimation) が行われる。その結果、図 1 6 に示すようなグラフが求められ、奥行きの探索範囲 (Estimated depth range in coarse estimation) が求められる。

【 0 0 8 7 】

そして、密な投影パターン 1 1 B を用いて画像データ 5 0 B (Captured image with Dense pattern(patterns are overlapped each other)) を撮像し、画像データ 5 0 B における符号パターン 5 の像が互いに重なった被投影パターンに対して、求められた奥行きの探索範囲 (Search depth range in dense estimation) で、各奥行きにおける P S F (PSF for each depth) を用いて逆畳込み演算が行われる。そして、奥行きに対する元の投影パターン 1 1 B (オリジナルパターン) とのマッチングが行われて密推定 ((b) Dense estimation) が行われる。その結果、図 1 6 に示すようにグラフが求められ、各復元パターンに対応する奥行きが求められる。すなわち、この実施の形態では、粗推定と密推定とが段階的に行われる。この処理は、階層復元とも呼ばれる。

10

【 0 0 8 8 】

ファイン計測部 4 3 において、逆畳込み演算は、計測可能範囲 F 全体ではなく、奥行き範囲データ 5 2 の探索範囲 (図 1 6 では L 1 と L 2) だけで行われる。これにより、逆畳込み演算の演算回数を著しく少なくすることができる。

20

【 0 0 8 9 】

出力部 4 4 は、図 6 に示すハードウェア構成のうち、制御部 3 1、主記憶部 3 2、操作部 3 4 及び表示部 3 5 に対応する。出力部 4 4 は、奥行きデータ 5 4 を表示する。

【 0 0 9 0 】

次に、3次元計測システム 1 0 0 の動作について説明する。

【 0 0 9 1 】

図 1 7 には、3次元計測システム 1 0 0 の3次元計測処理 (メイン処理) が示されている。図 1 7 に示すように、まず、コンピュータ 3 は、キャリブレーションを行う (ステップ S 1)。

30

【 0 0 9 2 】

キャリブレーションでは、プロジェクタ 1 から出射された構造化光を投影する平面スクリーンが用いられる。図 1 8 に示すように、プロジェクタ 1 は、符号化開口 1 3 A を投影光学系 1 2 に装着し、粗い投影パターン 1 1 A を投影する (ステップ S 1 1)。続いて、平面スクリーンの位置 (奥行き) が更新される (ステップ S 1 2)。ここでは、平面スクリーンが最初の位置に置かれる。最初の位置 (平面スクリーンの奥行き) は、他の計測手段によって既知であるものとする。最初の位置は位置 A であるとする。続いて、カメラ 2 が、平面スクリーンに投影されたプロジェクタ 1 の投影像を撮像する (ステップ S 1 3)。これにより、撮像画像が、カメラ 2 からデータ取得部 4 1 を介して画像データ 5 0 A として記憶部 4 0 に記憶される。

40

【 0 0 9 3 】

続いて、初期計測部 4 2 は、撮像画像 (画像データ 5 0 A) を L B P 化する (ステップ S 1 4)。これにより、例えば図 8 に示す Depth 1 の L B P 画像が生成される。続いて、初期計測部 4 2 は、L B P 画像のヒストグラムを生成する (ステップ S 1 5)。これにより、例えば、Depth 1 での L B P 画像のヒストグラムが生成される。

【 0 0 9 4 】

初期計測部 4 2 は、奥行きと対応づけて生成されたヒストグラムをヒストグラムデータベース 5 1 に記憶する (ステップ S 1 6)。続いて、初期計測部 4 2 は、最後の位置であるか否かを判定する (ステップ S 1 7)。ここでは、位置 C が最後の位置であり、スクリーンの位置は、まだ位置 A であるので、判定は否定される。

【 0 0 9 5 】

50

最後の位置でなければ(ステップS17; No)、初期計測部42は、スクリーンの位置を更新する(ステップS12)。ここでは、位置Aから d ほど、 $+d$ 方向にシフトされる。その後、投影像の撮像(ステップS13)、撮像画像のLBP化(ステップS14)、ヒストグラムの生成(ステップS15)、ヒストグラムデータベース51への登録(ステップS16)、最後の位置の判定(ステップS17)が繰り返される。このようにして、位置Aから位置Cまでの各位置について、一定のサンプリング間隔 d で、LBP画像のヒストグラムが生成される。

【0096】

最後の位置であると判定された場合(ステップS17; Yes)、図19に進み、プロジェクタ1の投影光学系12に符号化開口13Bを装着し、密に配列された投影パターン11B(密パターン)を投影する(ステップS21)。続いて、平面スクリーンの位置が更新される(ステップS22)。ここでは、平面スクリーンが位置Aに設定される。続いて、カメラ2は、投影像を撮像する(ステップS23)。

10

【0097】

続いて、ファイン計測部43は、画像データ50Bに基づいて、その奥行きでのスケール S_d を算出し、奥行きと対応づけて記憶部40に記憶する(ステップS24)。続いて、ファイン計測部43は、スクリーンが最後の位置であるか否かを判定する(ステップS25)。ここでは、位置Cが最後の位置であるとする。スクリーンの位置は、まだ位置Aであるので、判定は否定される。

【0098】

最後の位置でなければ(ステップS25; No)、ファイン計測部43は、スクリーンの位置を更新する(ステップS22)。ここでは、位置Aから d ほど、 $+d$ 方向にシフトされる。以降、投影像の撮像(ステップS23)、スケール S_d の算出、記憶(ステップS24)、最後の位置の判定(ステップS25)が再び実行される。このようにして、位置Aから位置Cまでの各位置について、一定のサンプリング間隔 d で、スケール S_d が算出される。最後の位置であると判定された場合(ステップS25; Yes)、ファイン計測部43は、フィッティングを行って、スケールパラメータ c を求める(ステップS26)。スケールパラメータ c はスケールパラメータ53として記憶部40に記憶される。これにより、キャリブレーションが完了する。

20

【0099】

図17に戻り、続いて、計測対象物4を、計測範囲F内に設置する(ステップS2)。これより、計測対象物4の3次元形状の計測が開始される。

30

【0100】

続いて、初期計測部42は、初期計測を行う(ステップS3)。図20に示すように、プロジェクタ1は、投影光学系12に符号化開口13Aを装着して粗い投影パターン11Aを投影する(ステップS31)。続いて、カメラ2は、計測対象物4の投影像を撮像する(ステップS32)。これにより、カメラ2から画像データが送信され、データ取得部41は、この画像データを画像データ50Aとして記憶部40に記憶する。

【0101】

続いて、初期計測部42は、画像データ50Aに含まれる各孤立パターンでのローカル・バイナリ・パターン(LBP)画像を生成する(ステップS33)。初期計測部42は、生成されたLBP画像のヒストグラムを生成する(ステップS34)。初期計測部42は、生成されたヒストグラムとヒストグラムデータベース51に登録された各奥行きでのヒストグラムとの類似度計算を行い(ステップS35)、最も近いLBPの奥行きの探索範囲を決定し、奥行き範囲データ52として、記憶部40に記憶する(ステップS36)。

40

【0102】

続いて、初期計測部42は、すべてのパターンについて計測が完了したか否かを判定する(ステップS37)。まだ、すべてのパターンの計測が完了していなければ(ステップS37; No)、初期計測部42は、孤立パターンでのLBPの生成(ステップS33)

50

、ヒストグラムの生成（ステップS 3 4）、マッチング（ステップS 3 5）、最も近いLBPの奥行き探索範囲の決定（ステップS 3 6）、すべてのパターン完了の判定（ステップS 3 7）が繰り返される。すべてのパターンで、計測が完了し、奥行き探索範囲が決定されると（ステップS 3 7；Yes）、初期計測部4 2は初期計測を終了する。

【0103】

図17に戻り、ファイン計測部4 3は、ファイン計測を行う（ステップS 4）。図21に示すように、プロジェクタ1の投影光学系1 2に符号化開口1 3 Bを装着し、計測対象物4に投影パターン1 1 B（密パターン）を投影する（ステップS 4 1）。続いて、カメラ2は投影像を撮像する（ステップS 4 2）。これにより、カメラ2から画像データが送信され、データ取得部4 1は、この画像データを画像データ5 0 Bとして記憶部4 0に記憶する。

10

【0104】

続いて、ファイン計測部4 3は、奥行き設定を更新する（ステップS 4 3）。ここで、奥行きは、奥行き範囲データ5 2に定められた探索範囲内で設定される。

【0105】

ファイン計測部4 3は、スライディングウィンドウ方式で、撮像された画像データ5 0 Bに対して設定された奥行きの範囲で逆畳込み演算を行う（ステップS 4 4）。ここでは、図13に示すような処理が行われ、逆畳込み演算後の画像データ（Deconvolved image）が求められる。

【0106】

続いて、ファイン計測部4 3は、逆畳込み演算後の画像データに対してグラフカット処理を行う（ステップS 4 5）。これにより、全体的にノイズ成分の少ない画像データが得られる。

20

【0107】

続いて、ファイン計測部4 3は、逆畳込み演算により得られグラフカット処理が施された画像データに含まれる複数の復元パターン各々と、オリジナルの投影パターン1 1 Bとの類似度を算出する（ステップS 4 6）。

【0108】

ファイン計測部4 3は、最後の位置であるか否かを判定する（ステップS 4 7）。最後の位置でなければ（ステップS 4 7；No）、ファイン計測部4 3は、奥行きの設定を更新する（ステップS 4 3）。以降、最後の位置であると判定されるまで、ステップS 4 3～S 4 7が繰り返される。

30

【0109】

最後の奥行きであると判定されれば（ステップS 4 7；Yes）、ファイン計測部4 3は、これまでに最も類似度が高い奥行きを探索し、探索された奥行きの集合を奥行きデータ5 4として記憶部4 0に記憶する（ステップS 4 8）。この後、ファイン計測部4 3は、ファイン計測を終了する。

【0110】

図17に戻り、ファイン計測が終了すると、3次元計測処理が終了する。求められた奥行きデータ5 4が、計測対象物4の3次元形状を示している。この3次元形状は、出力部4 4により表示出力される。

40

【0111】

この3次元計測システム1 0 0の利用方法としては様々なものがある。計測時間が短縮されているため、図22には、この3次元計測システム1 0 0での計測対象物4の3次元形状の計測結果の一例が示されている。図22に示すように、動体の3次元計測、モーションジェスチャの認識などにも適用することができる。

【0112】

以上詳細に説明したように、この実施の形態によれば、計測対象物4に形成された複数の疎な投影パターン1 1 Aの画像データに基づいて、投影光学系1 2のフォーカス方向に関する各被投影パターンの奥行きの探索範囲を絞り込んでから、複数の密な投影パターン

50

1 1 B の画像データに基づいて逆畳込み演算を行うことにより、各被投影パターンの奥行きを計測している。これにより、逆畳込み演算を行う範囲を、その奥行きを基準として限定された計測範囲内とするので、逆畳込み演算の演算回数を少なくすることができる。この結果、より計算量を低減しつつ、精度良く計測対象物 4 の 3 次元計測を行うことができる。

【 0 1 1 3 】

実施の形態 2 .

次に、この発明の実施の形態 2 について説明する。

【 0 1 1 4 】

図 2 3 に示すように、この実施の形態 2 に係る 3 次元計測システム 1 0 0 は、ハーフミラー 6 0 をさらに有する。3 次元計測システム 1 0 0 は、カメラ 2 の光軸が、プロジェクタ 1 の投影光学系 1 2 の光軸 A X と同軸に構成されている。プロジェクタ 1 から出射された投影光は、ハーフミラー 6 0 を透過して計測対象物 4 に投影される。計測対象物 4 での反射光は、ハーフミラー 6 0 で反射してカメラ 2 に至り、カメラ 2 にて計測対象物 4 の投影像が、撮像される。

10

【 0 1 1 5 】

このようにすれば、奥行きの変化による射影ひずみの発生を防止することができる。したがって、グラフカット処理及びスライディングウィンドウ方式を採用しなくても精度良く計測対象物 4 の 3 次元形状を求めることができる。

【 0 1 1 6 】

実施の形態 3 .

次に、この発明の実施の形態 3 について説明する。

【 0 1 1 7 】

図 2 4 に示すように、この実施の形態 2 に係る 3 次元計測システム 1 0 0 は、2 つのプロジェクタ 1 A、1 B を備える。プロジェクタ 1 A、1 B の構成は、プロジェクタ 1 と同じである。

20

【 0 1 1 8 】

プロジェクタ 1 A の投影光学系 1 2 には、符号化開口 1 3 が装着されている。ただし、プロジェクタ 1 A の投影光学系 1 2 に装着された符号化開口 1 3 は、第 1 の色としての赤色光を透過させる赤色フィルタである。プロジェクタ 1 B の投影光学系 1 2 にも、符号化開口 1 3 が装着されている。ただし、プロジェクタ 1 B の投影光学系 1 2 に装着された符号化開口 1 3 は、第 2 の色としての青色光を透過させる青色フィルタである。

30

【 0 1 1 9 】

プロジェクタ 1 A から出射される赤色光は、ハーフミラー 6 1 を介して投影される。プロジェクタ 1 B から出射される青色光は、ハーフミラー 6 1 を介して投影される。

【 0 1 2 0 】

カメラ 2 は、赤色光による画像と、青色光による画像とを別々に撮像可能な R G B カメラとなっている。R G B カメラは、構造化光により計測対象物 4 に投影された被投影パターンを色毎に撮像する。

【 0 1 2 1 】

赤色光と青色光とは波長が異なるため、合焦位置が異なる。すなわち、この 3 次元計測システム 1 0 0 では、投影部 (プロジェクタ 1 A、1 B) は、合焦位置がそれぞれ異なる複数色の構造化光を、計測対象物 4 に投影する。構造化光により計測対象物 4 に投影された被投影パターンを色毎に撮像する。コンピュータ 3 は、カメラ 2 での撮像により得られた各色の画像データのうち、符号パターン 5 の像を読み取り可能な画像データに基づいて、計測対象物 4 の 3 次元形状を計測する。

40

【 0 1 2 2 】

赤色光の合焦位置 B F 1 近傍に被投影パターンが形成されている場合には、プロジェクタ 1 B から出射される青色光による画像データを用いて、計測を行うようにすればよい。図 2 4 に示すように、赤色光の合焦位置 B F 1 近傍では、赤色光による符号パターン 5 の

50

像は、点像に近くなっており、青色光による符号パターン5の像を用いた方が、奥行きを精度良く求められるからである。また、青色光の合焦位置BF2近傍に被投影パターンが形成されている場合には、赤色光による画像データを用いて、計測を行うようにすればよい。青色光の合焦位置BF2近傍では、青色光による符号パターン5の像は、点像に近くなっており、赤色光による符号パターン5の像を用いた方が、奥行きを精度良く求められるからである。

【0123】

なお、プロジェクタ1Aに投影される投影パターンを疎な投影パターン11Aとし、プロジェクタ11Bに投影される投影パターンを密な投影パターン11Bとしてもよい。この場合には、初期計測及びファイン計測を1回の撮像(1ショット)により行うことができる。

10

【0124】

また、プロジェクタ1Bには、符号化開口13Bを装着しなくてもよい。本特許ではこれを開口パターンと呼ぶ。この場合、プロジェクタ1Bには、映像面11に、特定の空間周波数成分を有する周期パターンを表示させ、その周期パターンの映像を含む構造化光を投影させるようにする。そして、プロジェクタ1Aから出射される赤色光の画像データに基づいて初期計測を行い、プロジェクタ1Bから出射され映像として移し出されるパターンのボケ具合に基づいて、ファイン計測を行うようにしてもよい。高周波パターンは僅かなボケでもこれを高精度に計測することが出来るため、合焦位置付近ではボケ具合が少なくなる。このため、逆畳み込みによる奥行き推定精度が低くなる点を、効果的に補うことができる。

20

【0125】

上記実施の形態1のような同軸落射方式でない3次元計測システムでは、スライディングウインドウ方式を用いて、奥行きの変化による被投影パターンの射影ひずみを解決した。しかし、プロジェクタとカメラとのベースラインが既知である場合には、奥行きの変化による被投影パターンの位置ずれ量を算出することができるので、カメラで撮像された画像データに含まれる被投影パターンの位置をベースラインに基づいて補正した上で、奥行きを推定を行うようにしてもよい。

【0126】

また、上記各実施の形態では、ローカル・バイナリ・パターン(LBP)を画像特徴として、初期計測を行ったが、前述のように、ローカル・ターナリ・パターン(LTP)を画像特徴として、初期計測を行うようにしてもよい。

30

【0127】

また、上記各実施の形態では、投影光学系12の出射側に符号化開口13を装着したが、投影光学系12の入射側に符号化開口13を装着するようにしてもよい。また、投影光学系12の内部に符号化開口13を組み込んでもよい。投影光学系12が複数のレンズより構成されている場合には、そのレンズ間に符号化開口13を装着するようにしてもよい。

【0128】

符号パターン5も、図3Aに示すものには限られない。計測対象物4に非対称なパターンを形成できるものであればよい。

40

【0129】

実施の形態4(ラインパターンとライン開口による手法)。

次に、この発明の実施の形態4について説明する。

【0130】

この実施の形態では、図25Aに示すように、コンピュータ3は、プロジェクタ1及びカメラ2に接続されている。コンピュータ3は、プロジェクタ1の映像面11に表示される画像データを出力する。図25Bに示すように、映像面11には、一方向(X軸方向)に空間周波数成分を有する2次元パターンが表示される。この2次元パターンは、縦(Y軸方向)に延びX軸方向に並ぶラインパターンから成るラインパターン群である。このラ

50

インパターンは、配列間隔及び線幅が不規則・ランダムであると、奥行き推定精度や安定さが増す効果がある。一方で、規則パターンであっても、開口パターンとの組合せにより、計測範囲内において同一パターンが生じない組合せも可能であることから、計算量の削減や装置作成の簡略化のために、規則パターンを用いることも可能である。計測対象物 4 には、この 2 次元パターンの投影光が、投影光学系 1 2 を介して投影される。

【 0 1 3 1 】

本実施の形態においても、カメラ 2 は、投影光が投影された計測対象物 4 を撮像する。プロジェクタ 1 の投影光学系 1 2 の光軸 A X と、カメラ 2 の光軸とは非同軸に設定されている。カメラ 2 とプロジェクタ 1 とは、2 次元パターンを構成するラインパターンの配列方向にずれている。これにより、プロジェクタ 1 とカメラ 2 との間には、投影像について視差が生じる。

10

【 0 1 3 2 】

この実施の形態では、図 2 6 A に示すように、符号化開口 1 3 C が用いられる。この符号化開口 1 3 C の符号パターンは、映像面 1 1 に表示される 2 次元パターンと同じ方向（光学的に同じ方向；図 2 6 A の X 軸方向）に配列されたライン状の開口パターンから成る。投影光は、この符号化開口 1 3 C を介して計測対象物 4 に投影される。計測対象物 4 が、映像面 1 1 に対してデフォーカスしている場合には、図 2 6 B に示すように、位置 A から位置 C までの間に、その位置に応じて符号パターンの投影像が現れるようになっている。

【 0 1 3 3 】

投影光学系 1 2 により、映像面 1 1 の結像位置（図 2 6 B の位置 B ）には、映像面 1 1 に表示された 2 次元パターンの像が結像する。この像は、映像面 1 1 に表示された 2 次元パターンと、符号化開口 1 3 C の符号パターンとの畳み込みにより形成される。図 2 7 に示すように、2 次元パターンの投影像は、その結像位置（位置 B ）を中心に、デフォーカスするにつれて、変化する。3 次元計測システム 1 0 0 は、この投影像の画像データを処理して、投影光学系 1 2 による 2 次元パターンの結像位置を基準とする計測対象物 4 の光軸 A X の方向（座標軸 d の方向）の奥行きを推定することにより、計測対象物 4 の 3 次元形状を計測する。

20

【 0 1 3 4 】

コンピュータ 3 は、その機能構成として、図 2 8 に示すように、投影パターン設定部 4 6 と、記憶部 4 0 と、データ取得部 4 1 と、奥行き推定部 4 5 と、出力部 4 4 と、を備える。

30

【 0 1 3 5 】

投影パターン設定部 4 6 は、プロジェクタ 1 の映像面 1 1 に表示される 2 次元パターンの画像データを出力する。これにより、プロジェクタ 1 の映像面 1 1 （透過型液晶開口）には、図 2 5 B に示す 2 次元パターンが表示される。

【 0 1 3 6 】

データ取得部 4 1 は、カメラ 2 から送信された画像データを、リファレンス画像データ群 7 0 の画像データ又は計測対象画像データ 7 1 のいずれかとして、記憶部 4 0 に記憶する。リファレンス画像データ群 7 0 の画像データであるか、計測対象画像データ 7 1 であるかは、操作部 3 4 の操作入力により決定されてもよいし、プログラムで自動的に制御されるようにしてもよい。

40

【 0 1 3 7 】

リファレンス画像データ群 7 0 は、図 2 9 A に示すように、投影光学系 1 2 の光軸 A X に直交する 2 次元平面（平面スクリーン）を、光軸 A X に関する d 方向の複数の異なる位置にそれぞれ置いたときにカメラ 2 により撮像された 2 次元平面の参照画像データ群である。記憶部 4 0 は、このリファレンス画像データ群 7 0 を記憶する。

【 0 1 3 8 】

計測対象画像データ 7 1 は、カメラ 2 で撮像された計測対象物 4 の画像データである。例えば、図 2 9 B に示すように、計測対象物 4 が 2 つのボールである場合、この 2 つのボ

50

ールに2次元パターンの投影像が投影される。この場合、図29Cに示すような画像データがカメラ2で撮像される。計測対象物4には、映像面11に表示された2次元パターンの投影像(X軸方向に並ぶラインパターンから成る2次元パターンの像)が投影される。この画像データが、計測対象画像データ71として記憶部40に記憶される。

【0139】

奥行き推定部45は、カメラ2で撮像された計測対象物4の画像データ(計測対象画像データ71)と、記憶部40に記憶されたリファレンス画像データ群70との間でマッチング窓MWを用いた画像マッチングを行うことにより、投影光学系12による2次元パターンの結像位置(位置B)を基準とする計測対象物4の奥行きを推定する。図29Cには、計測対象画像データ71内に設定されるマッチング窓MWが示されている。また、図29Aには、図29Cのマッチング窓MWに対応するマッチング窓MWが示されている。マッチング窓MWは、カメラ2で撮像された計測対象物4の画像データに含まれる2次元パターンの配列方向(X軸方向)を長手方向とする矩形の窓である。投影される2次元パターンは、X軸方向に並ぶラインパターンであるため、X軸方向に奥行きを求めるための情報を有しているため、X軸方向に長いマッチング窓MWを用いた方がマッチング精度を向上することができるためである。

10

【0140】

次に、3次元計測システム100の動作について説明する。

【0141】

図30に示すように、まず、コンピュータ3は、キャリブレーションを行う(ステップS51)。

20

【0142】

キャリブレーションでは、プロジェクタ1から出射された投影光を投影する平面スクリーンが用いられる。図31に示すように、プロジェクタ1に、符号化開口13Cを装着し、投影パターン設定部46から2次元パターンの画像データを映像面11に出力して、コンピュータ3が、プロジェクタ1に、図25Bに示す2次元パターンの投影像を投影させる(ステップS61)。続いて、平面スクリーンの位置(奥行き)が更新される(ステップS62)。ここでは、平面スクリーンが最初の位置に置かれる。最初の位置(平面スクリーンの奥行き)は、他の計測手段によって既知であるものとする。最初の位置は位置Aである。

30

【0143】

続いて、カメラ2が、平面スクリーンに投影されたプロジェクタ1の投影像を撮像する(ステップS63)。この撮像により得られた画像データは、カメラ2からデータ取得部41に送られ、データ取得部41は、この画像データを、リファレンス画像データ群70の中の1枚の画像データとして記憶部40に記憶する(ステップS64)。このとき、この画像データは、そのときの平面スクリーンの奥行きと対応づけて記憶される。

【0144】

続いて、コンピュータ3は、平面スクリーンの位置が、最後の位置であるか否かを判定する(ステップS65)。ここでは、位置Cが最後の位置であり、平面スクリーンの位置は、まだ位置Aであるので、判定は否定される。

40

【0145】

最後の位置でなければ(ステップS65; No)、平面スクリーンの位置が更新される(ステップS62)。ここでは、位置Aからdほど、+d方向にシフトされる。この後、最後の位置となるまで(ステップS65; Yes)、スクリーンの位置の更新(ステップS62)、投影像の撮像(ステップS63)、画像データの記憶(ステップS64)、最後の位置の判定(ステップS65)が繰り返される。このようにして、位置Aから位置Cまでの各位置について、一定のサンプリング間隔dで、参照用の画像データが生成され、リファレンス画像データ群70の1枚の画像データとして奥行きに対応づけられて、記憶部40に記憶される。

【0146】

50

最後の位置であると判定された場合（ステップ S 6 5 ; Y e s ）、キャリブレーションが完了する。

【 0 1 4 7 】

図 3 0 に戻り、続いて、計測対象物 4 が、計測範囲 F 内に設置される（ステップ S 5 2 ）。続いて、コンピュータ 3 は、計測対象物 4 の奥行き計測を行う（ステップ S 5 3 ）。

【 0 1 4 8 】

ステップ S 5 2 では、まず、図 3 2 に示すように、プロジェクタ 1 に 2 次元パターンの投影像を投影する（ステップ S 7 1 ）。続いて、コンピュータ 3 は、カメラ 2 に計測対象物 4 に投影された投影像を撮像させる（ステップ S 7 2 ）。カメラ 2 の撮像による計測対象物 4 の画像データは、コンピュータ 3 に送られる。コンピュータ 3 のデータ取得部 4 1 は、この投影像の画像データを計測対象画像データ 7 1 として記憶する（ステップ S 7 3 ）。 10

【 0 1 4 9 】

続いて、奥行き推定部 4 5 は、計測対象画像データ 7 1 を読み込む（ステップ S 7 4 ）。奥行き推定部 4 5 は、計測対象画像データ 7 1 にマッチング窓 MW を設定する（ステップ S 7 5 ）。ここで、例えば図 3 3 に示すように、計測対象画像データ 7 1 の左上端に、マッチング窓 MW が設定される。

【 0 1 5 0 】

続いて、奥行き推定部 4 5 は、リファレンス画像データ群 7 0 の中から 1 枚の参照画像データを読み込む（ステップ S 7 6 ）。続いて、奥行き推定部 4 5 は、計測対象物 4 の画像データと読み込まれた参照画像データとの間のマッチング窓 MW における相関値を算出する（ステップ S 7 7 ）。ここでは、計測対象画像データ 7 1 におけるマッチング窓 MW の領域と、参照画像データにおける同一の位置にあるマッチング窓 MW の領域との画像マッチングが行われ、両画像の一致度が相関値として算出される。 20

【 0 1 5 1 】

続いて、奥行き推定部 4 5 は、読み込んだ参照画像データが、最後の参照画像データであるか否かを判定する（ステップ S 7 8 ）。最後の参照画像データでない場合（ステップ S 7 8 ; N o ）、奥行き推定部 4 5 は、次の参照画像データの読み込み（ステップ S 7 6 ）、相関値の算出（ステップ S 7 7 ）、最後の参照画像データの判定（ステップ S 7 8 ）、を繰り返し行う。 30

【 0 1 5 2 】

最後の参照画像データである場合（ステップ S 7 8 ; Y e s ）、奥行き推定部 4 5 は、奥行き d_t を推定する（ステップ S 7 9 ）。例えば、図 3 4 に示すように、奥行き推定部 4 5 は、各参照画像データに対応する奥行きに対する相関値の変化を示すグラフを生成する。さらに、奥行き推定部 4 5 は、フィッティングによる補間で、マッチング窓 MW 内の奥行き d_t を推定する。

【 0 1 5 3 】

続いて、奥行き推定部 4 5 は、マッチング窓 MW による奥行きの推定が、画像データ内のすべての位置で完了したか否かを判定する（ステップ S 8 0 ）。推定が完了していなければ（ステップ S 8 0 ; N o ）、奥行き推定部 4 5 は、マッチング窓 MW を画像データ内の他の場所に設定し（ステップ S 7 5 ）、参照画像データ群 7 0 から参照画像データを読み込んで（ステップ S 7 6 ）、計測対象画像データ 7 1 と参照画像データとのマッチング窓 MW 内での相関値を算出する（ステップ S 7 7 ）。処理を、最後の参照画像データとなる（ステップ S 7 8 ; Y e s ）まで繰り返す。 40

【 0 1 5 4 】

最後の参照画像データまで達すると（ステップ S 7 8 ; Y e s ）、奥行き推定部 4 5 は、前回と同様にして、計測対象物 4 の奥行きを推定する（ステップ S 7 9 ）。続いて、奥行き推定部 4 5 は、マッチング窓 MW による奥行きの推定が、計測対象画像データ 7 1 内のすべての位置で完了したか否かを判定する（ステップ S 8 0 ）。推定が完了していなければ（ステップ S 8 0 ; N o ）、奥行き推定部 4 5 は、再びステップ S 7 5 S 7 6 S 50

77 S78を実行し、そのマッチング窓MWでの各奥行き参照画像データとの画像マッチングを行って、その相関値を求める。最後の参照画像データまで読み込むと(ステップS78; Yes)、奥行き推定部45は、そのマッチング窓MWの部分における奥行きを推定する(ステップS79)。

【0155】

このようにして、マッチング窓MWが画像データ内を移動しつつ、そのマッチング窓MWの部分における奥行きが推定される。推定が完了すると(ステップS80; Yes)、奥行き推定部45は、奥行き計測を完了する。推定された奥行きは、奥行きデータ74として記憶部40に記憶され、出力部44から表示出力される。

【0156】

以上詳細に説明したように、この実施の形態によれば、X軸方向にラインパターンが不規則に配列された2次元パターンが、そのパターンと同じ方向にライン状に並ぶ開口パターンの符号化開口13Cを介して計測対象物4に投影される。これにより、計測対象物4に投影される投影像は、2次元パターンと符号化開口13Cの開口パターンとの畳み込みにより形成される像となり、計測対象物4の奥行きの変化に対してパターンの変化が大きい画像となる。このため、計測対象物4の奥行き分解能を向上することができる。この時、それぞれのパターンはインパルス列であるため、畳み込み後のパターンもインパルス列となり、ボケることがない。このため、奥行き方向が大きく変化してもパターンがボケず、計測レンジが飛躍的に向上するというメリットが生まれる。

【0157】

また、計測対象物4の奥行きは、すでに撮像されたリファレンス画像データ群70との画像マッチングにより推定される。したがって、計測対象物4の奥行きを推定するのに符号化開口13Cの開口パターンによる逆畳み込み演算などの複雑な演算を行う必要がなくなる上、DfD法とステレオ法とを融合した高精度な計測が可能となる。すなわち、この実施の形態によれば、より計算量を低減しつつ、精度良く計測対象物4の3次元計測を行うことができる。

【0158】

また、本実施の形態によれば、予め2次元平面に対して投影光学系12を介して投影された2次元パターンの投影像がカメラ2で撮像されて得られる画像データと、2次元平面の参照画像データ群との画像マッチングにより、計測対象物4の奥行きが推定される。このため、投影される投影像のデフォーカスのみならず、プロジェクタ1とカメラ2との間の視差、投影光学系12の収差、カメラ2の光学系の収差の影響をすべて加味した状態で、計測対象物4の奥行きを高精度に推定することができる。

【0159】

実施の形態5(斜め形状の推定)。

次に、この発明の実施の形態5について説明する。

【0160】

図35に示すように、上記実施の形態では、コンピュータ3が、仮想斜面画像作成部48を備える。仮想斜面画像作成部48は、投影光学系12の光軸AXに直交する2次元平面を、光軸AXに関する複数の異なる位置にそれぞれ置いたときにカメラ2により撮像される2次元平面の参照画像データ(リファレンス画像データ群70の参照画像データ)の各部分を合成する。この合成により、光軸AXに対して複数の異なる角度でそれぞれ置いたときに得られるリファレンス斜面画像データ群72が生成される。

【0161】

記憶部40は、投影される2次元パターンを構成するラインパターンの配列方向に沿って奥行きが変わるように、投影光学系12の光軸AXに斜交する2次元平面を、光軸AXに対して複数の異なる角度でそれぞれ置いたときに得られる2次元平面の参照画像データ群をリファレンス斜面画像データ群72として記憶する。奥行き推定部45は、カメラ2で撮像された計測対象物4の画像データと、記憶部40に記憶されたリファレンス斜面画像データ群72との間でマッチング窓MWを用いた画像マッチングも行う。これにより、

10

20

30

40

50

投影光学系 1 2 による映像面 1 1 の 2 次元パターンの結像位置を基準とする計測対象物 4 の奥行きを推定する。

【0162】

図 3 6 A には、仮想斜面の生成方法が模式的に示されている。仮想斜面は、以下の数式に従って生成される。

【数 5】

$$D = \frac{D_{pivot}}{1 - x \frac{\tan \theta}{f}} \dots (5)$$

10

ここで、D は奥行きであり、X は、投影光学系 1 2 の光軸 AX に直交する平面における空間周波数成分を有する方向の座標である。また、 θ は平面の回転角度であり、f はカメラ 2 の焦点距離であり、 D_{pivot} は、回転方向の奥行き、すなわち仮想斜面の空間周波数成分を有する方向の位置である。この式によれば、仮想斜面の奥行き D_{pivot} の位置には、奥行き D の画像データの X 位置の部分データが配置される。

【0163】

この実施の形態では、上記実施の形態 4 と同様に、図 3 0、図 3 2 に示すフローチャートに従って、3 次元計測処理が実行される。ステップ S 51 のキャブレションについては、図 3 7 のフローチャートに従って実行される。このキャブレションは、図 3 1 に示すキャブレションとほぼ同じであるが、仮想斜面画像作成部 4 8 が、最後に、リファレンス画像データ群 7 0 に基づいて、リファレンス斜面画像データ群 7 2 を生成する（ステップ S 6 6）点が異なる。ここで、例えば、回転角度 = 30 度、45 度、60 度等の仮想斜面の画像データが生成され、リファレンス斜面画像データ群 7 2 として記憶部 4 0 に記憶される。

20

【0164】

また、ステップ S 5 3（図 3 0）の奥行き計測では、図 3 2 のステップ S 7 6 S 7 7 S 7 8 の繰り返しにおいて、奥行き推定部 4 5 は、リファレンス画像データ群 7 0 だけでなく、リファレンス斜面画像データ群 7 2 の参照斜面画像データと、計測対象画像データ 7 1 との画像マッチングも行って両者の相関値を算出する。ステップ S 7 9 において、マッチング窓 MW の画像データが、参照斜面画像データと最も相関値が高かった場合には、奥行き推定部 4 5 は、その仮想斜面を用いて奥行きを推定する。

30

【0165】

図 3 6 B に示すような計測対象物 4 の画像データに対して、投影光学系 1 2 の光軸 AX に直交する 2 次元平面の参照画像データの画像マッチングのみ行う場合、図 3 6 C の矢印で示すように、計測対象物 4 と背景との境界については推定される奥行きが不安定になる場合がある。

【0166】

これに対して、投影光学系 1 2 の光軸 AX に直交する 2 次元平面の参照画像データの画像マッチングに加え、リファレンス斜面画像データ群 7 2 との画像マッチングも行った場合には、図 3 6 D の計測対象物 4 の斜面の法線を表す法線マップに示すように、計測対象物 4 の斜面との画像マッチングが可能となるので、球状の物体の輪郭周辺の斜面をより正確に表現することができるようになる。このため、図 3 6 E に示すように、計測対象物 4 の奥行きを高精度に推定することができるようになる。

40

【0167】

実施の形態 5'（シミュレーション演算によるデータベースの作成）。

次に、この発明の実施の形態 5' について説明する。

【0168】

この実施の形態では、参照画像データ群を実際に撮影する代わりに、コンピュータ 3（

50

演算部)が、2次元パターンの情報及び開口パターンの情報、さらにプロジェクタの内部パラメータ(焦点距離やピクセルの縦横比、歪みなど)や、カメラの内部パラメータの情報を用いて、計算により参照画像データを生成することで、奥行き推定を行う。これにより、膨大な参照画像データを撮影する必要がなくなり、そのデータを蓄えておく必要も無くなるというメリットが得られる。上記のパラメータ情報は、プロジェクタとカメラのキャリブレーションを事前に行うことで推定しておく。

【0169】

実施の形態6(色によるCoarse-to-fine)。

次に、この発明の実施の形態6について説明する。

【0170】

この実施の形態では、計測対象物4の奥行きを粗く計測し、粗く求められた奥行きに基づいて、奥行きを計測範囲を狭くしてから、その奥行きを精細に計測する、いわゆるCoarse-to-fine計測が行われる。この実施の形態では、プロジェクタ1の映像面11(透過型液晶)にはR(赤色)、G(緑色)、B(青色)から成るカラー映像が表示されるものとし、カメラ2は、R(赤色)、G(緑色)、B(青色)から成るカラー画像データを撮像するものとする。一般的に、カラー画像データは、赤色、緑色、青色の画像データに分離抽出することが可能である。ここでも、プロジェクタ1には、符号化開口13Cが用いられる。

【0171】

コンピュータ3は、その機能構成として、図38に示すように、投影パターン設定部46と、色画像分割部47と、記憶部40と、奥行き推定部45と、出力部44と、を備える。

【0172】

投影パターン設定部46は、プロジェクタ1の映像面11に表示される2次元パターンの画像データを出力する。ここでは、図39Aに示す青色の2次元パターンと、図39Bに示す赤色の2次元パターンとが合成された画像が表示される。図39Aに示すように、青色の2次元パターンは、一方向(X軸方向)にラインパターンが並び、配列周期の長いラインパターン群である。また、図39Bに示すように、赤色の2次元パターンは、青色の2次元パターンと同じ方向に、青色の2次元パターンよりも周期の短い(空間周波数成分が高い)ラインパターン群である。

【0173】

色画像分割部47は、カメラ2で撮像されたカラー画像データを入力する。色画像分割部47は、カラー画像から得られた赤色(R)の画像データを、リファレンスR画像データ群70A又は計測対象R画像データ71Aとして記憶部40に格納する。さらに、色画像分割部47は、カラー画像から得られた青色の画像データを、リファレンスB画像データ群70C又は計測対象B画像データ71Cとして記憶部40に格納する。推定された奥行きは、粗奥行きデータ75として記憶部40に記憶される。上述のように、青色の2次元パターンの空間周波数は、赤色の2次元パターンよりも低いため、青色の参照画像データが撮像される間隔d1は、赤色のパターンでの間隔d2よりも大きくなる。

【0174】

記憶部40は、d1で、投影光学系12の光軸AXに関する複数の異なる位置にそれぞれ置いたときにカメラ2により撮像された青色の参照画像データ群(リファレンスB画像データ群70C)と、d1よりも短いd2で、光軸AXに関する複数の異なる位置にそれぞれ置いたときにカメラ2により撮像された赤色の参照画像データ群(リファレンスR画像データ群70A)と、を記憶する。

【0175】

奥行き推定部45は、計測対象B画像データ71Cと、リファレンスB画像データ群70Cとの間で、マッチング窓MWを用いた画像マッチングを行うことにより、投影光学系12による2次元パターンの結像位置を基準とする計測対象物4の奥行きを推定する。推定された奥行きは、粗奥行きデータ75として記憶部40に記憶される。

10

20

30

40

50

【 0 1 7 6 】

奥行き推定部 4 5 は、粗奥行きデータ 7 5 に記憶された奥行きを中心とする限定された範囲で、カメラ 2 で撮像された計測対象物 4 の画像データから得られる計測対象 R 画像データ 7 1 A と記憶部 4 0 に記憶された赤色のリファレンス R 画像データ群 7 0 A との間でマッチング窓 MW を用いた画像マッチングを行うことにより、投影光学系 1 2 による 2 次元パターンの結像位置を基準とする計測対象物 4 の奥行きを推定する。

【 0 1 7 7 】

この実施の形態に係る 3 次元計測システム 1 0 0 の 3 次元計測処理は、図 3 0 のフローチャートで示す処理と同じ処理が行われる。キャリブレーション (ステップ S 5 1) においては、基本的には、図 3 1 に示す流れで処理が行われるが、ステップ S 6 4 においては、色画像分割部 4 7 が、カメラ 2 から送られたカラー画像データから、赤色の画像データを抽出して、リファレンス R 画像データ群 7 0 A の 1 つの画像データとして、記憶部 4 0 に記憶する。また、色画像分割部 4 7 は、カメラ 2 から送られたカラー画像データから、青色の画像データを抽出して、リファレンス B 画像データ群 7 0 C の 1 つの画像データとして、記憶部 4 0 に記憶する。

10

【 0 1 7 8 】

奥行き計測 (ステップ S 5 3) で行われる処理は、図 4 0、図 4 1 に示されている。

【 0 1 7 9 】

ステップ S 5 2 では、まず、図 4 0 に示すように、プロジェクタ 1 に 2 次元パターンの投影像を投影する (ステップ S 7 1)。続いて、コンピュータ 3 は、カメラ 2 に計測対象物 4 に投影された投影像を撮像させる (ステップ S 7 2)。カメラ 2 の撮像による計測対象物 4 のカラー画像データは、コンピュータ 3 に送られる。コンピュータ 3 の色画像分割部 4 7 は、この投影像のカラー画像データから抽出された赤色の画像データを、計測対象 R 画像データ 7 1 A として記憶し、カラー画像データから抽出された青色の画像データを、計測対象 B 画像データ 7 1 C として記憶する (ステップ S 7 3)。

20

【 0 1 8 0 】

続いて、奥行き推定部 4 5 は、計測対象 B 画像データ 7 1 C を読み込む (ステップ S 7 4)。奥行き推定部 4 5 は、計測対象 B 画像データ 7 1 C にマッチング窓 MW を設定する (ステップ S 7 5)。

【 0 1 8 1 】

続いて、奥行き推定部 4 5 は、リファレンス B 画像データ群 7 0 C の中から 1 枚の参照画像データを読み込む (ステップ S 7 6)。続いて、奥行き推定部 4 5 は、計測対象物 4 の計測対象 B 画像データ 7 1 C と、読み込まれた参照画像データとの間のマッチング窓 MW における相関値を算出する (ステップ S 7 7)。ここでは、計測対象 B 画像データ 7 1 C におけるマッチング窓 MW の領域と、参照画像データにおける同一の位置にあるマッチング窓 MW の領域との画像マッチングが行われ、両画像の一致度が相関値として算出される。

30

【 0 1 8 2 】

続いて、奥行き推定部 4 5 は、読み込んだ参照画像データが、最後の参照画像データであるか否かを判定する (ステップ S 7 8)。最後の参照画像データでない場合 (ステップ S 7 8 ; No)、奥行き推定部 4 5 は、リファレンス B 画像データ群 7 0 C から次の参照画像データの読み込み (ステップ S 7 6)、相関値の算出 (ステップ S 7 7)、最後の参照画像データの判定 (ステップ S 7 8) を繰り返し行う。

40

【 0 1 8 3 】

最後の参照画像データである場合 (ステップ S 7 8 ; Yes)、奥行き推定部 4 5 は、奥行きを推定する (ステップ S 7 9)。図 4 2 には、奥行き推定部 4 5 において求められた奥行きに対する相関値の変化を示すグラフが示されている。図 4 2 では、青色の画像データにおける奥行きと相関値との関係が、点 (Coarse) で示されている。奥行き推定部 4 5 は、奥行きに対する相関値の変化に基づいて、計測対象物 4 の奥行きの候補を幾つか抽出する。図 4 2 の例では、相関値が 1 . 0 となる点が、3 点抽出されるようになる

50

。

【0184】

続いて、奥行き推定部45は、マッチング窓MWによる奥行きの推定が、画像データ内のすべての位置で完了したか否かを判定する(ステップS80)。推定が完了していなければ(ステップS80; No)、奥行き推定部45は、マッチング窓MWを画像データ内の他の場所に設定し(ステップS75)、リファレンスB画像データ群70Cから参照画像データを読み込んで(ステップS76)、計測対象B画像データ71Cと参照画像データとのマッチング窓MW内での相関値を算出する(ステップS77)処理を、最後の参照画像データとなる(ステップS78; Yes)まで繰り返す。

【0185】

最後の参照画像データまで達すると(ステップS78; Yes)、奥行き推定部45は、前回と同様にして、計測対象物4の奥行きを推定する(ステップS79)。続いて、奥行き推定部45は、マッチング窓MWによる奥行きの推定が、計測対象B画像データ71C内のすべての位置で完了したか否かを判定する(ステップS80)。推定が完了していなければ(ステップS80; No)、奥行き推定部45は、再びステップS75 S76 S77 S78を実行し、そのマッチング窓MWでの各奥行きの参照画像データとの画像マッチングを行って、その相関値を求める。最後の参照画像データまで読み込むと(ステップS78; Yes)、奥行き推定部45は、そのマッチング窓MWの部分における奥行きを推定する(ステップS79)。

【0186】

このようにして、マッチング窓MWが計測対象B画像データ71C内を移動しつつ、そのマッチング窓MWの部分における奥行きが推定される。推定が完了すると(ステップS80; Yes)、奥行き推定部45は、推定結果を、粗奥行きデータ75として、記憶部40に記憶する(ステップS81)。

【0187】

続いて、奥行き推定部45は、図41に示すように、奥行きの探索範囲を決定する(ステップS82)。例えば、図42に示すように、計測対象B画像データ71Cで画像マッチングを行ったときの相関値が1.0となった奥行きを中心に、相関値が0.5以上である範囲A、B、Cの範囲に探索範囲を限定する。

【0188】

続いて、奥行き推定部45は、計測対象R画像データ71Aを読み込む(ステップS83)。奥行き推定部45は、計測対象R画像データ71Aにマッチング窓MWを設定する(ステップS84)。

【0189】

続いて、奥行き推定部45は、リファレンスR画像データ群70Aの中から1枚の参照画像データを読み込む(ステップS85)。続いて、奥行き推定部45は、計測対象物4の計測対象R画像データ71Aと、読み込まれた参照画像データとの間のマッチング窓MWにおける相関値を算出する(ステップS86)。ここでは、計測対象R画像データ71Aにおけるマッチング窓MWの領域と、参照画像データにおける同一の位置にあるマッチング窓MWの領域との画像マッチングが行われ、両画像の一致度が相関値として算出される。

【0190】

続いて、奥行き推定部45は、読み込んだ参照画像データが、最後の参照画像データであるか否かを判定する(ステップS87)。最後の参照画像データでない場合(ステップS87; No)、奥行き推定部45は、リファレンスR画像データ群70Aから次の参照画像データの読み込み(ステップS85)、相関値の算出(ステップS86)、最後の参照画像データの判定(ステップS87)を繰り返し行う。

【0191】

最後の参照画像データである場合(ステップS87; Yes)、奥行き推定部45は、奥行きを推定する(ステップS88)。例えば、図42に示すように、奥行き推定部45

10

20

30

40

50

は、各参照画像データに対応する奥行きに対する相関値の変化を示すグラフを生成する。図 4 2 では、赤色の画像データによる推定結果は、曲線 (f i n e) で示されている。

【 0 1 9 2 】

続いて、奥行き推定部 4 5 は、マッチング窓 MW による奥行きの推定が、画像データ内のすべての位置で完了したか否かを判定する (ステップ S 8 9)。推定が完了していなければ (ステップ S 8 9 ; N o)、奥行き推定部 4 5 は、マッチング窓 MW を画像データ内の他の場所に設定し (ステップ S 8 4)、リファレンス R 画像データ群 7 0 A から参照画像データを読み込んで (ステップ S 8 5)、計測対象 R 画像データ 7 1 A と参照画像データとのマッチング窓 MW 内での相関値を算出する (ステップ S 8 6) 処理を、最後の参照画像データとなる (ステップ S 8 7 ; Y e s) まで繰り返す。

10

【 0 1 9 3 】

最後の参照画像データまで達すると (ステップ S 8 7 ; Y e s)、奥行き推定部 4 5 は、前回と同様にして、計測対象物 4 の奥行きを推定する (ステップ S 8 8)。続いて、奥行き推定部 4 5 は、マッチング窓 MW による奥行きの推定が、計測対象 R 画像データ 7 1 A 内のすべての位置で完了したか否かを判定する (ステップ S 8 9)。推定が完了していなければ (ステップ S 8 9 ; N o)、奥行き推定部 4 5 は、再びステップ S 8 4 S 8 5 S 8 6 S 8 7 を実行し、そのマッチング窓 MW での各奥行きの参照画像データとの画像マッチングを行って、その相関値を求める。最後の参照画像データまで読み込むと (ステップ S 8 7 ; Y e s)、奥行き推定部 4 5 は、そのマッチング窓 MW の部分における奥行きを推定する (ステップ S 8 8)。例えば、図 4 2 のグラフでは、範囲 B にあるピークの奥行きが、最終的な奥行きとして推定される。

20

【 0 1 9 4 】

このようにして、マッチング窓 MW が計測対象 R 画像データ 7 1 A 内を移動しつつ、そのマッチング窓 MW の部分における奥行きが推定される。推定が完了すると (ステップ S 8 9 ; Y e s)、奥行き推定部 4 5 は、推定結果を、ファイン奥行きデータ 7 6 として、記憶部 4 0 に記憶する (ステップ S 9 0)。奥行き推定部 4 5 は、奥行き計測を完了する。ファイン奥行きデータ 7 6 は、記憶部 4 0 に記憶され、出力部 4 4 から表示出力される。

【 0 1 9 5 】

この実施の形態によれば、空間周波数が低く、サンプリング間隔が長いラインパターン群 (青色の 2 次元パターン) で計測対象物 4 の奥行きをおおまかに検出してから、探索範囲を絞って、空間周波数が高くサンプリング間隔が短いラインパターン群 (赤色の 2 次元パターン) で計測対象物 4 の奥行きを精細に推定する。これにより、より計算量を低減しつつ、精度良く計測対象物の 3 次元計測を行うことができる。

30

【 0 1 9 6 】

実施の形態 7 (3 色による曖昧性減少による精度向上) .

次に、この発明の実施の形態 7 について説明する。

【 0 1 9 7 】

この実施の形態では、プロジェクタ 1 の映像面 1 1 にはカラー画像が表示され、投影像もカラーの投影像となる。カメラ 2 は、投影像のカラー画像データを撮像する。このカラー画像データは、赤色、緑色、青色の画像データに分離可能である。このコンピュータ 3 は、カラー画像から分割される、赤色、緑色、青色の画像データに基づいて、それぞれ画像マッチングを行うことにより、計測対象物 4 の奥行きを推定する。

40

【 0 1 9 8 】

コンピュータ 3 は、その機能構成として、図 4 3 に示すように、投影パターン設定部 4 6 と、色画像分割部 4 7 と、記憶部 4 0 と、奥行き推定部 4 5 と、出力部 4 4 と、を備える。

【 0 1 9 9 】

投影パターン設定部 4 6 は、プロジェクタ 1 の映像面 1 1 に表示される 2 次元パターンを出力する。ここでは、図 4 4 A に示す赤色の 2 次元パターンと、図 4 4 B に示す緑色の

50

パターンと、図 4 4 C に示す青色のパターンと、が合成された画像が表示される。図 4 4 A に示すように、赤色の 2 次元パターンは、一方向（X 軸方向）に並ぶラインパターン群から成るラインパターン群である。また、図 4 4 B に示すように、緑色の 2 次元パターンは、赤色の 2 次元パターンと同程度の高さを有し、かつ、赤色の 2 次元パターンとは異なるパターンである。さらに、図 4 4 C に示すように、青色の 2 次元パターンは、赤色、緑色の 2 次元パターンと同程度の高さを有し、かつ、赤色、緑色の 2 次元パターンとは異なるパターンである。

【 0 2 0 0 】

色画像分割部 4 7 は、カメラ 2 で撮像されたカラー画像データを入力する。色画像分割部 4 7 は、カラー画像データから抽出された赤色の画像データを、リファレンス R 画像データ群 7 0 A 又は計測対象 R 画像データ 7 1 A として記憶部 4 0 に格納する。また、色画像分割部 4 7 は、カラー画像データから抽出された緑色の画像データを、リファレンス G 画像データ群 7 0 B 又は計測対象 G 画像データ 7 1 B として記憶部 4 0 に格納する。さらに、色画像分割部 4 7 は、カラー画像データから抽出された青色の画像データを、リファレンス B 画像データ群 7 0 C 又は計測対象 B 画像データ 7 1 C として記憶部 4 0 に格納する。

10

【 0 2 0 1 】

奥行き推定部 4 5 は、計測対象 R 画像データ 7 1 A と、リファレンス R 画像データ群 7 0 A との間で、マッチング窓 MW を用いた画像マッチングを行うことにより、投影光学系 1 2 による 2 次元パターンの結像位置を基準とする計測対象物 4 の奥行きを推定する。

20

【 0 2 0 2 】

また、奥行き推定部 4 5 は、計測対象 G 画像データ 7 1 B と、計測対象 G 画像データ 7 0 B との間で、マッチング窓 MW を用いた画像マッチングを行うことにより、投影光学系 1 2 による 2 次元パターンの結像位置を基準とする計測対象物 4 の奥行きを推定する。

【 0 2 0 3 】

また、奥行き推定部 4 5 は、計測対象 B 画像データ 7 1 C と、計測対象 B 画像データ 7 0 C との間で、マッチング窓 MW を用いた画像マッチングを行うことにより、投影光学系 1 2 による 2 次元パターンの結像位置を基準とする計測対象物 4 の奥行きを推定する。

【 0 2 0 4 】

この実施の形態では、各色の画像データに対して、それぞれ図 3 0、図 3 1、図 3 2 のフローチャートに従って、3 次元計測処理が実行される。ただし、コンピュータ 3 は、赤色、緑色、青色の画像データに対して、それぞれ個別に計測対象物 4 の奥行きを求める。

30

【 0 2 0 5 】

具体的には、図 3 1 のステップ S 6 4（画像データの記憶）では、色画像分割部 4 7 は、カラー画像データから分離された赤色、緑色、青色の画像データを分離し、赤色の画像データをリファレンス R 画像データ群 7 0 A として記憶部 4 0 に記憶し、緑色の画像データをリファレンス G 画像データ群 7 0 B として記憶部 4 0 に記憶し、青色の画像データのリファレンス B 画像データ群 7 0 C として記憶部 4 0 に記憶する。

【 0 2 0 6 】

また、図 3 2 のステップ S 5 3（奥行き計測）では、奥行き推定部 4 5 は、計測対象 R 画像データ 7 1 A、計測対象 G 画像データ 7 1 B、計測対象 B 画像データ 7 1 C それぞれについて図 3 2 のステップ S 7 4 ~ S 7 9 が実行される。

40

【 0 2 0 7 】

この実施の形態では、ステップ S 8 0 終了後、奥行き推定部 4 5 は、赤色、緑色、青色でそれぞれ求められた奥行きの平均値を、最終的な奥行きの推定値として算出する。算出された奥行きの推定値は、奥行きデータ 5 5 として記憶部 4 0 に記憶され、出力部 4 4 により表示出力される。図 4 5 には、赤色、緑色、青色、全色の画像データにおける奥行きに対する相関値の変動が示されている。赤色、緑色、青色、全色の 2 次元パターンはそれぞれ異なるが、図 4 5 に示すように、相関値が最も大きい奥行きは、良く一致している。これにより、各色で求められた奥行きは、信頼性の高い推定値となる。

50

【0208】

実施の形態8（縦・横直交パターン）。

次に、この発明の実施の形態8について説明する。

【0209】

この実施の形態では、プロジェクタ1の映像面11にはカラー映像が表示される。したがって、計測対象物4には、カラーの投影光が投影される。カメラ2は、カラー画像データを撮像する。このコンピュータ3は、カラー画像データから抽出される、赤色、青色の画像データに基づいて、それぞれ画像マッチングを行うことにより、計測対象物4の奥行きを推定する。

【0210】

コンピュータ3は、その機能構成として、図46に示すように、投影パターン設定部46と、色画像分割部47と、記憶部40と、奥行き推定部45と、出力部44と、を備える。

【0211】

投影パターン設定部46は、プロジェクタ1の映像面11に表示される2次元パターンを出力する。ここでは、図47Aに示す赤色により形成されたラインパターン群と、図47Bに示す青色により形成されたラインパターン群とが合成された画像が表示される。図47Aに示すように、赤色のパターンは、X軸方向に配列されたラインパターンより成るラインパターン群である。また、図47Bに示すように、青色のパターンは、赤色のパターンと同程度の高さを有し、かつ、Y軸方向に配列されたラインパターンより成るライン

【0212】

色画像分割部47は、カメラ2で撮像されたカラー画像データを入力する。色画像分割部47は、カラー画像データから分割された赤色の画像データを、リファレンスR画像データ群70A又は計測対象R画像データ71Aとして記憶部40に格納する。色画像分割部47は、カラー画像データから分割された青色の画像データを、リファレンスB画像データ群70C又は計測対象B画像データ71Cとして記憶部40に格納する。

【0213】

奥行き推定部45は、計測対象R画像データ71Aと、リファレンスR画像データ群70Aとの間で、マッチング窓MWを用いた画像マッチングを行うことにより、投影光学系12による2次元パターンの結像位置を基準とする計測対象物4のおおまかな奥行きを推定する。

【0214】

また、奥行き推定部45は、計測対象B画像データ71Cと、リファレンスB画像データ群70Cとの間で、マッチング窓MWを用いた画像マッチングを行うことにより、投影光学系12による2次元パターンの結像位置を基準とする計測対象物4の奥行きを推定する。

【0215】

奥行き推定部45は、赤色、青色でそれぞれ求められた奥行きの平均値を、最終的な奥行きの推定値（奥行きデータ55）として算出する。

【0216】

なお、この実施の形態では、図47Aに示すような2次元パターンの画像マッチングに用いられるマッチング窓MWは、X軸方向が長手方向となり、図47Bに示すような2次元パターンの画像マッチングに用いられるマッチング窓MWは、Y軸方向が長手方向となる。

【0217】

このように、色毎の画像データにおいてラインパターンが並ぶ方向（空間周波数成分を有する方向）を互いに直交するようにすれば、ラインパターンの空間周波数成分の方向に関わらず、奥行きを正確に推定することができる。この時、共通の開口パターンを使用した場合、Y軸は開口パターンに直交する方向となるため、投影パターンはただのボケた画

10

20

30

40

50

像となる。これにより、Y軸方向ではD f Dの効果を得ることができ、Coarse to fineがワンショットで実現される。あるいは、Y軸の投影パターンに合わせて、開口パターンもY軸方向にすれば、X軸およびY軸それぞれがインパルス列となり、冗長性による精度向上や、マッチング窓がオクルージョンの影響を受けにくくなるというメリットが生まれる。これにより、図48に示すように、球状の計測対象物4の上側の輪郭部分や、左側の輪郭部分の奥行きを精度良く推定することができる。

【0218】

実施の形態8' (カラーフィルタによる開口) .

次に、この発明の実施の形態8'について説明する。

【0219】

この実施の形態では、開口パターンには、第1の色(例えば赤色)の光のみを遮断するカラーフィルタを備えた第1の開口パターンと、第2の色(例えば青色)の光のみを遮断するカラーフィルタを備えた第2の開口パターンとが含まれる。複数のパターンを異なる色で投影する際に、それぞれの色に適したカラーフィルタを用いて開口パターンを作成することで、投影されるパターンに異なる性質を与えることができる。これにより、前記のCoarse to fineや、複数色による曖昧性の減少、直交パターンによるオクルーディングバウンダリの精度向上などを、より効果的に実現できる。

【0220】

実施の形態9 (プロジェクタ2台によるシステム) .

次に、この発明の実施の形態9について説明する。

【0221】

図49に示すように、この実施の形態では、3次元計測システム100は、プロジェクタ1A、1Bを2台備えている。プロジェクタ1A、1Bは、異なる方向から計測対象物4に2次元パターンを投影する。カメラ2の光軸は、プロジェクタ1A、1Bの光軸とは同軸ではない。

【0222】

このように、複数の異なる方向から2次元パターンの投影像を計測対象物4に投影し、カメラ2でその投影像を撮像するようになれば、例えばプロジェクタ1Aと計測対象物4との間に障害物6があったとしても、プロジェクタ1Bの投影光により、計測対象物4の上に投影像を投影することができるので、計測対象物4の奥行きを正確に推定することができる。

【0223】

なお、計測対象物4の奥行きを計測するには、プロジェクタ1Aから投影された投影像と、プロジェクタ1Bから投影された投影像とを分離して撮像するのが望ましい。このために、プロジェクタ1A、1Bから投影される投影光の色を異なるものとし、カメラ2側にバンドパスフィルタを設けて、2つの投影像の画像データを分離するようによい。また、プロジェクタ1A、1Bから投影される投影光を異なる方向の偏光とし、カメラ2側で偏光フィルタ又は偏光ビームスプリッタ等を設けて、2つの投影像を別々に撮像可能としてもよい。

【0224】

また、図50に示すように、プロジェクタ1Aの光軸AXとカメラ2の光学系の光軸とのずれを示す基線をベースラインB1とし、プロジェクタ1Bの光軸AXとカメラ2の光学系の光軸とのずれを示す基線をベースラインB2とする。この場合、ベースラインB1、B2が直交するようにプロジェクタ1A、1Bを配置するようによい。この場合、プロジェクタ1A、1Bにおける符号化開口13D、13Eの空間周波数成分の方向は、ベースラインB1、B2が延びる方向に設定される。映像面11に表示される2次元パターンも同様である。このようになれば、計測対象物4のY軸方向の輪郭だけでなく、X軸方向の輪郭も精度良く推定することができる。

【0225】

なお、上記各実施の形態では、画像マッチングにより2つの画像データの相関値を求め

10

20

30

40

50

て、画像マッチングを行うことにより、計測対象物 4 の奥行きを推定した。しかしながら、計測対象物 4 の奥行きを求める方法は、これには限られない。例えば、画像データ内のマッチング窓 MW と同じ大きさの領域についてそれぞれ特徴量を求め、インデックスを奥行きとする K d 木を生成し、K d 木による探索により、画像マッチングを行い、計測対象物 4 の奥行きを推定するようにしてもよい。例えば、図 5 1 に示すようなカラー画像データ A を投影する場合、各色の画像データ B、C、D におけるマッチング窓 MW 内の画像データにおける X 座標ごとの輝度の総和を特徴量ベクトルとして用いればよい。

【0226】

なお、上記実施の形態では、赤色、緑色、青色とされているものを、適宜他の色（赤色、緑色、青色を含む）に変更することができる。

10

【0227】

また、複数の色で奥行きの推定を行う場合には、符号化開口として、各色に対応する符号化開口をプロジェクタに設けるようにしてもよい。

【0228】

実施の形態 10（DOE（Diffractive Optical Element）による実装）。

次に、この発明の実施の形態 10 について説明する。

【0229】

図 5 2 に示すように、この実施の形態では、3次元計測システムの光源としてレーザ光源 80 を用いる。まずレーザ光源 80 から出射されたレーザを、ドット列（例えば、不規則に2次元状に配列されたランダムドットパターン）を出力とする第1のDOEとしてのDOE 81に入射する。次に、その出力を、ラインパターン列を形成する第2のDOEとしてのDOE 82に入射する。これにより、前記した投影パターンと開口パターンとの畳込みと同様の効果を実現することができる。DOE 81、82は、光量を数%程度しか減衰させないため、本システムでは光量をほとんど減衰させずにパターン（平面レーザ群 83）を形成することができるメリットがある。また、DOEの組合せとしては、ドット列とラインパターンを逆転させても良い。あるいは、双方をラインパターン、ドットパターンとしても良い。

20

【0230】

符号化開口 13 の開口パターンと、投影される2次元パターンは少なくとも一方が不規則なランダムパターンであればよい。また、上記実施の形態 4 等では、プロジェクタ 1 の投影光学系 12 の光軸 AX と、カメラ 2 の光軸とが非同軸に設定されているとしたが、プロジェクタ 1 の投影光学系 12 の光軸 AX と、カメラ 2 の光軸とを同軸に設定するようにしてもよい。

30

【0231】

その他、コンピュータ 3 のハードウェア構成やソフトウェア構成は一例であり、任意に変更および修正が可能である。

【0232】

制御部 31、主記憶部 32、外部記憶部 33、操作部 34、表示部 35 及び通信部 36、内部バス 30 などから構成されるコンピュータ 3 の処理を行う中心となる部分は、専用のシステムによらず、通常のコンピュータシステムを用いて実現可能である。例えば、前記の動作を実行するためのコンピュータプログラムを、コンピュータが読み取り可能な記録媒体（フレキシブルディスク、CD-ROM、DVD-ROM 等）に格納して配布し、当該コンピュータプログラムをコンピュータにインストールすることにより、前記の処理を実行するコンピュータ 3 を構成してもよい。また、インターネット等の通信ネットワーク上のサーバ装置が有する記憶装置に当該コンピュータプログラムを格納しておき、通常のコンピュータシステムがダウンロード等することでコンピュータ 3 を構成してもよい。

40

【0233】

コンピュータ 3 の機能を、OS（オペレーティングシステム）とアプリケーションプログラムの分担、または OS とアプリケーションプログラムとの協働により実現する場合には、アプリケーションプログラム部分のみを記録媒体や記憶装置に格納してもよい。

50

【0234】

搬送波にコンピュータプログラムを重畳し、通信ネットワークを介して配信することも可能である。たとえば、通信ネットワーク上の掲示板（BBS, Bulletin Board System）にコンピュータプログラムを掲示し、ネットワークを介してコンピュータプログラムを配信してもよい。そして、このコンピュータプログラムを起動し、OSの制御下で、他のアプリケーションプログラムと同様に実行することにより、前記の処理を実行できるように構成してもよい。

【0235】

この発明は、この発明の広義の精神と範囲を逸脱することなく、様々な実施の形態及び変形が可能とされるものである。また、上述した実施の形態は、この発明を説明するためのものであり、この発明の範囲を限定するものではない。すなわち、この発明の範囲は、実施の形態ではなく、特許請求の範囲によって示される。そして、特許請求の範囲内及びそれと同等の発明の意義の範囲内で施される様々な変形が、この発明の範囲内とみなされる。

10

【0236】

なお、本願については、2015年5月21日に出願された日本国特許出願2015-103366号を基礎とする優先権を主張し、本明細書中に日本国特許出願2015-103366号の明細書、特許請求の範囲、図面全体を参照として取り込むものとする。

【符号の説明】

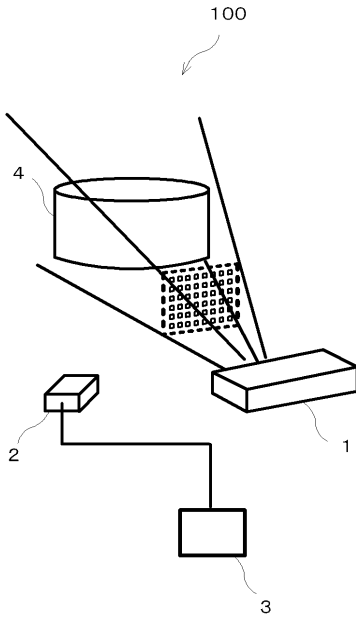
【0237】

1、1A、1B プロジェクタ、2 カメラ、3 コンピュータ、4 計測対象物、5 符号パターン、6 障害物、11 映像面、11A、11B 投影パターン、12 投影光学系、13、13A、13B、13C、13D、13E 符号化開口、30 内部バス、31 制御部、32 主記憶部、33 外部記憶部、34 操作部、35 表示部、36 通信部、39 プログラム、40 記憶部、41 データ取得部、42 初期計測部、43 ファイン計測部、44 出力部、45 奥行き推定部、46 投影パターン設定部、47 色画像分割部、48 仮想斜面画像作成部、50A、50B 画像データ、51 ヒストグラムデータベース、52 奥行き範囲データ、53 スケールパラメータ、54、55 奥行きデータ、60、61 ハーフミラー、70 リファレンス画像データ群、70A リファレンスR画像データ群、70B リファレンスG画像データ群、70C リファレンスB画像データ群、71 計測対象画像データ、71A 計測対象R画像データ、71B 計測対象G画像データ、71C 計測対象B画像データ、72 リファレンス斜面画像データ群、74 奥行きデータ、75 粗奥行きデータ、76 ファイン奥行きデータ、80 レーザ光源、81、82 DOE、83 平面レーザ群、100 3次元計測システム。

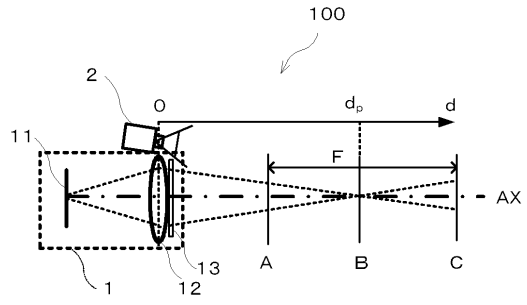
20

30

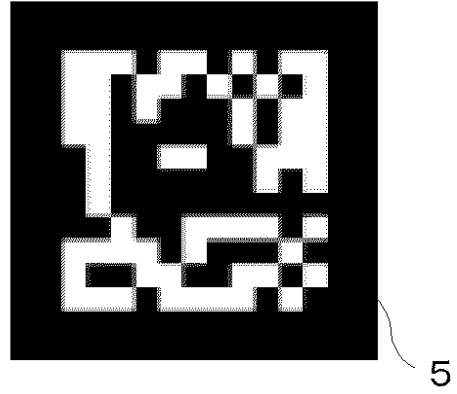
【図1】



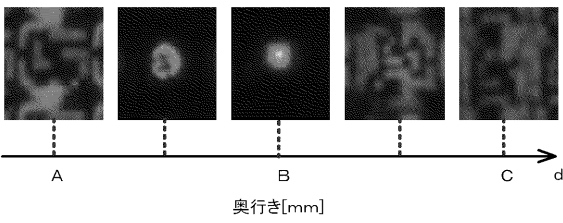
【図2】



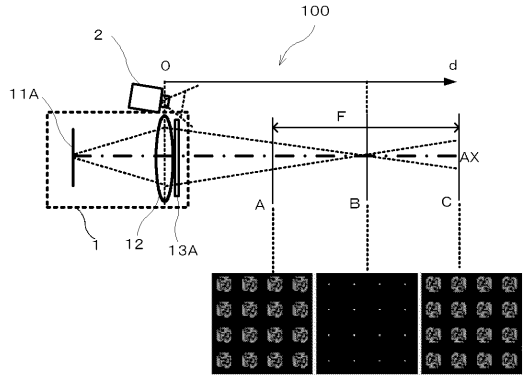
【図3A】



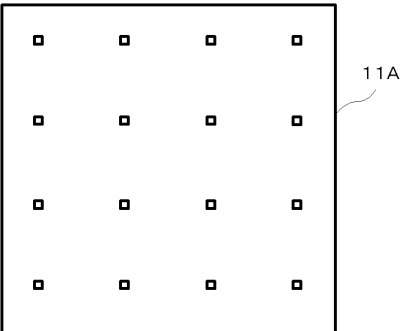
【図3B】



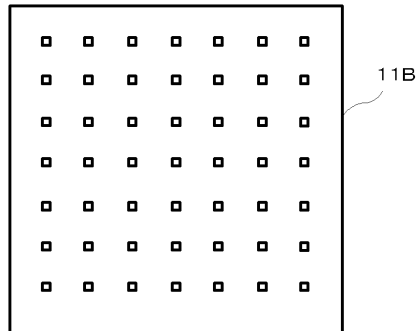
【図4B】



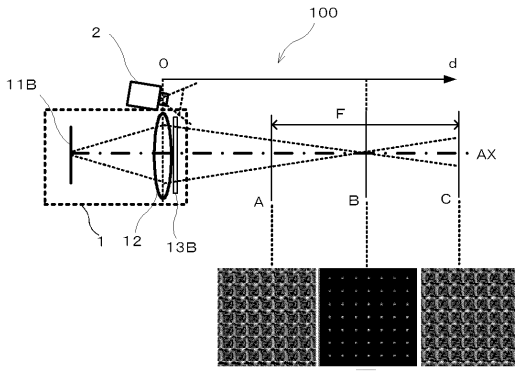
【図4A】



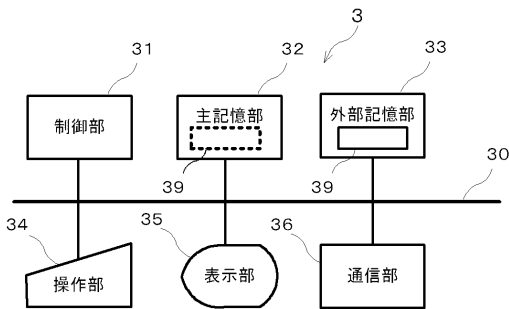
【図5A】



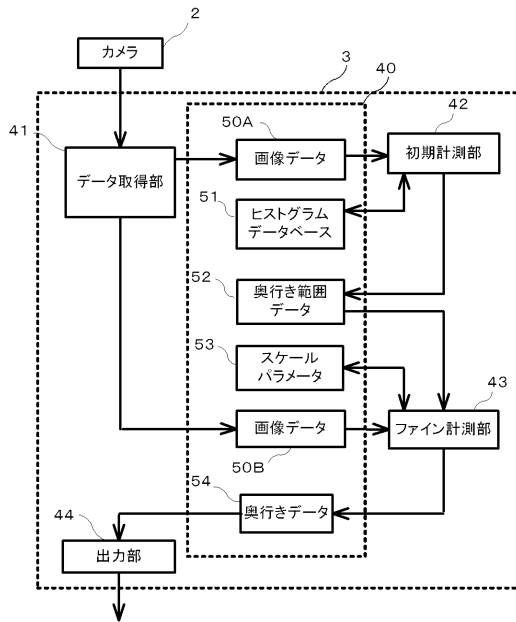
【図5B】



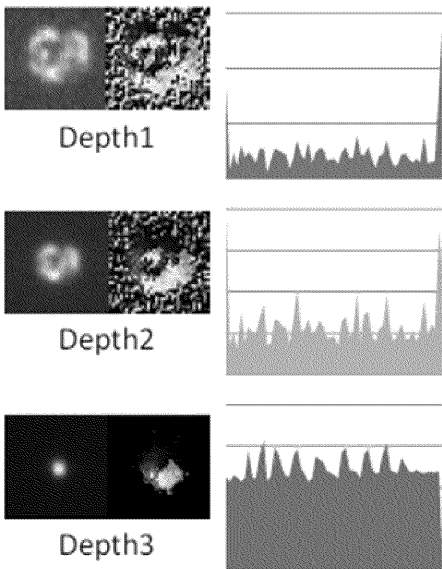
【図6】



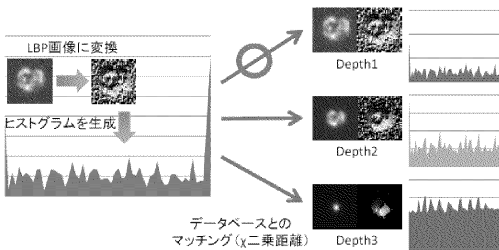
【図7】



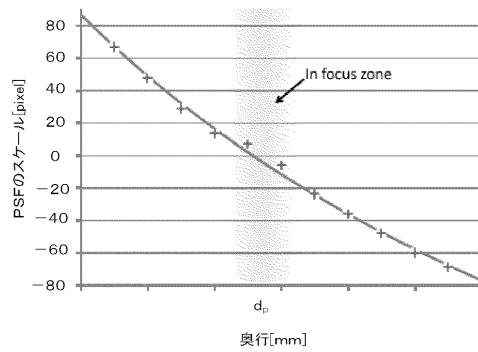
【図8】



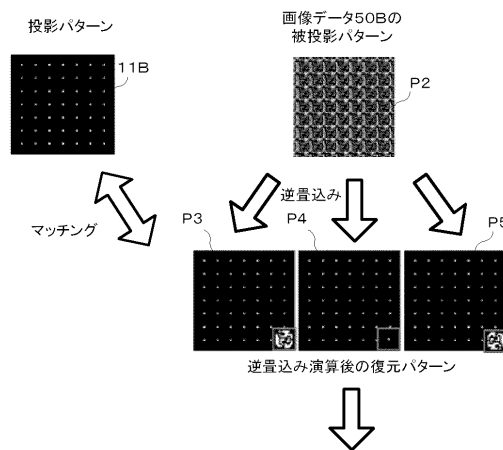
【図9】



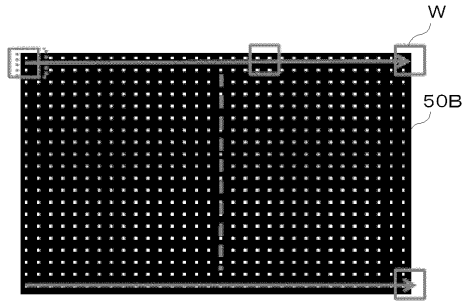
【図10】



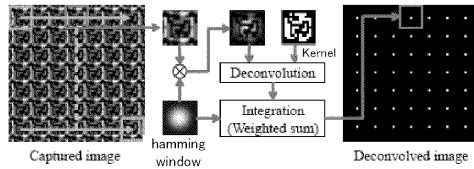
【図11】



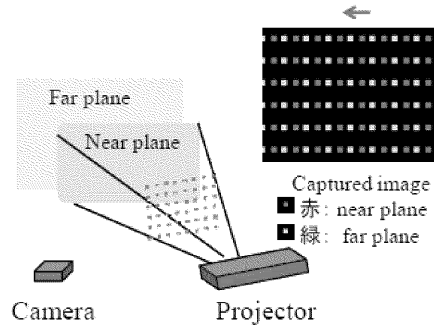
【図 1 2】



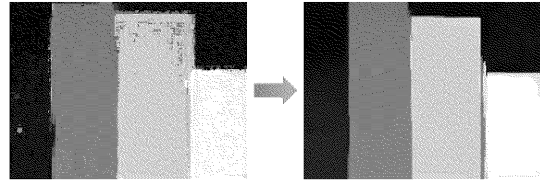
【図 1 3】



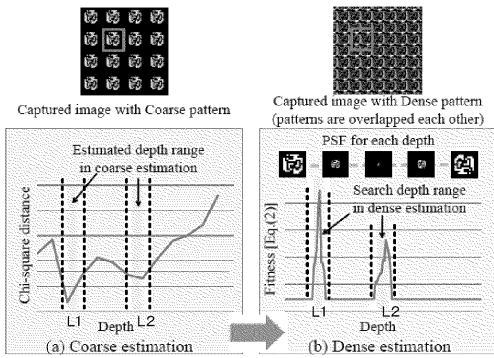
【図 1 4】



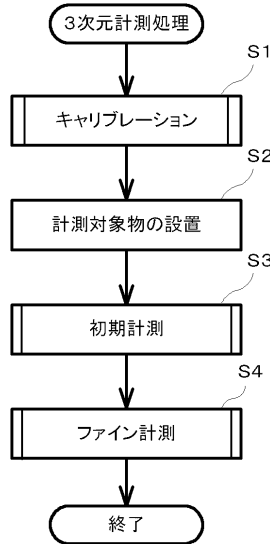
【図 1 5】



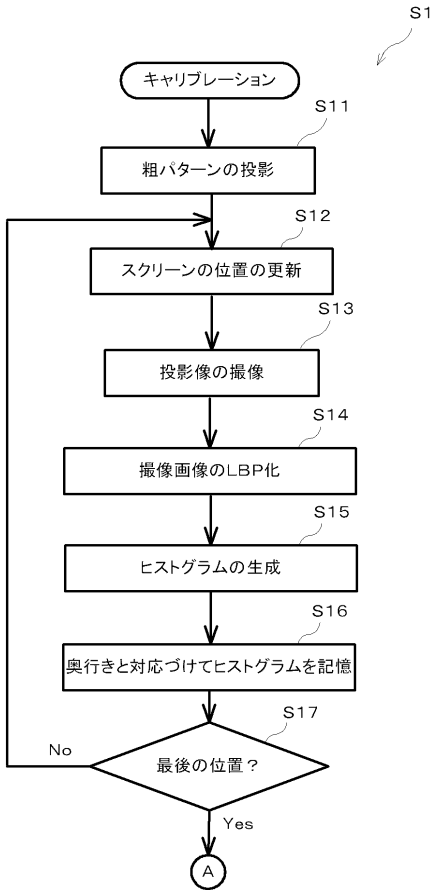
【図 1 6】



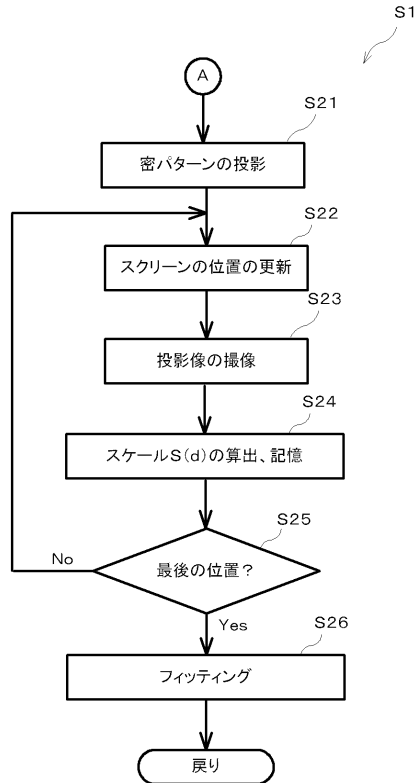
【図 1 7】



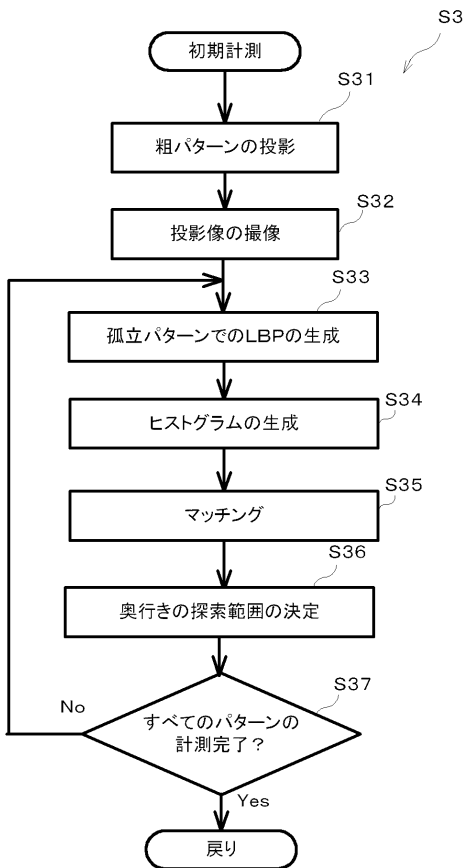
【図18】



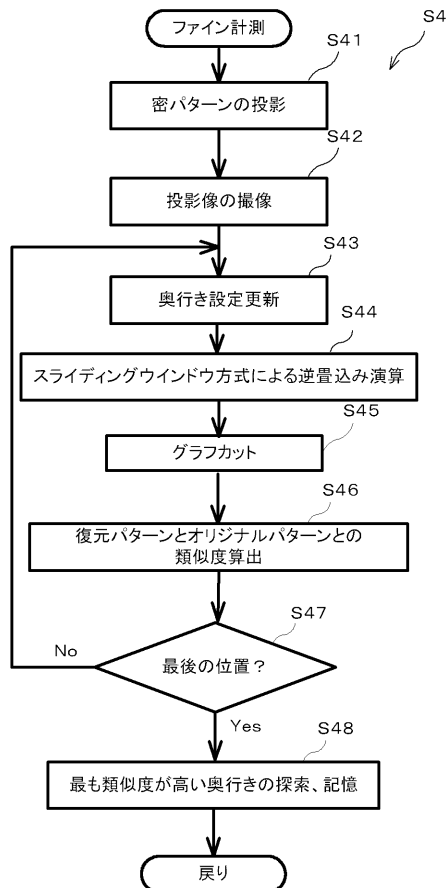
【図19】



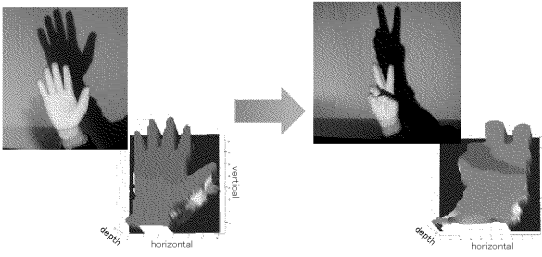
【図20】



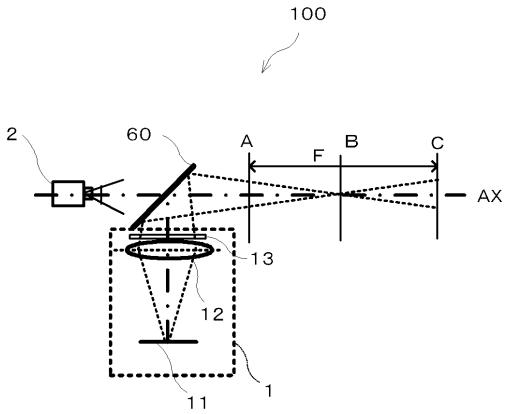
【図21】



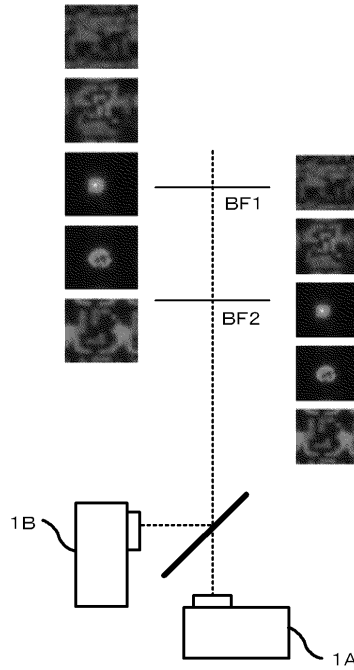
【 図 2 2 】



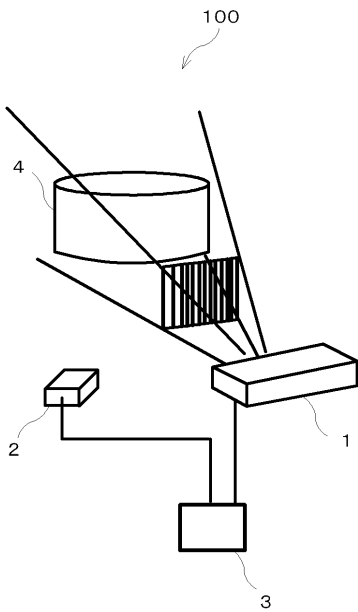
【 図 2 3 】



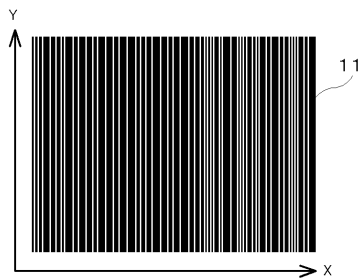
【 図 2 4 】



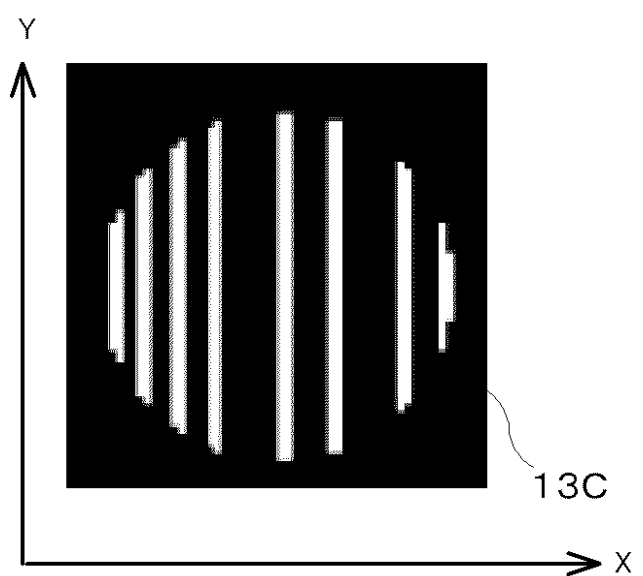
【 図 2 5 A 】



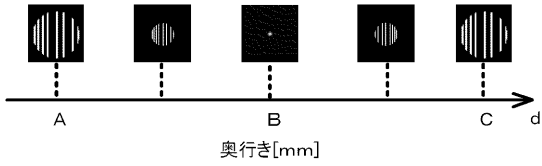
【 図 2 5 B 】



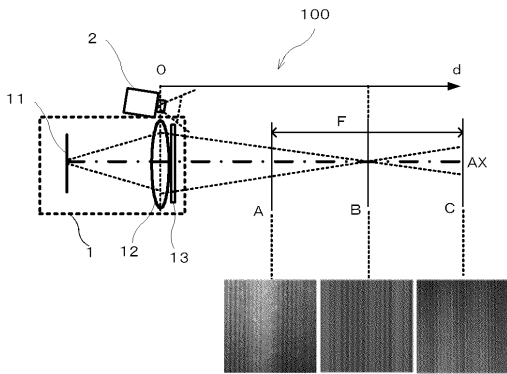
【 図 2 6 A 】



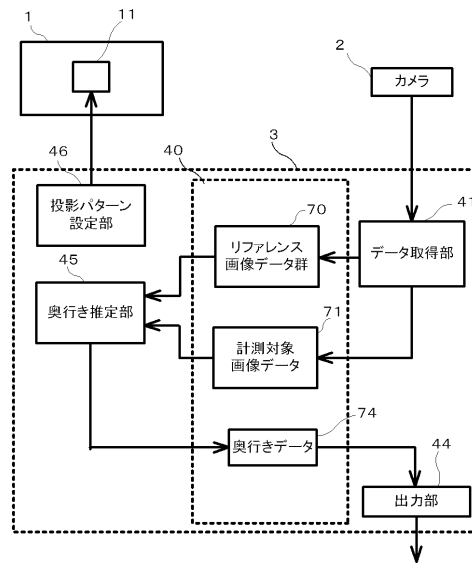
【図 26 B】



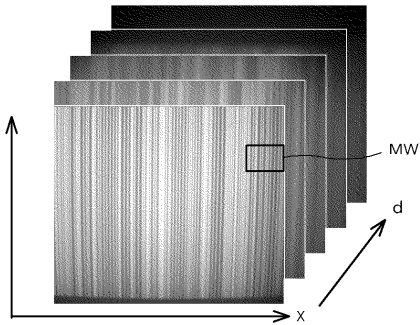
【図 27】



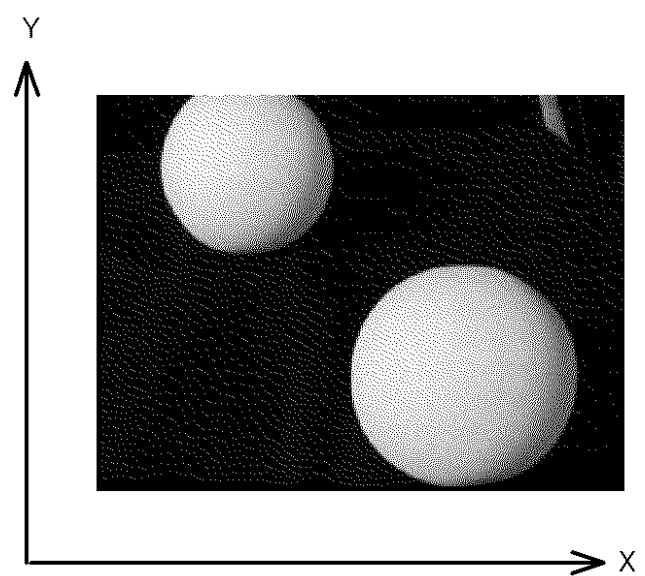
【図 28】



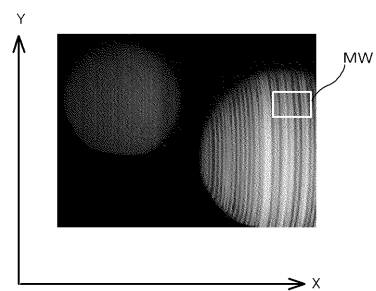
【図 29 A】



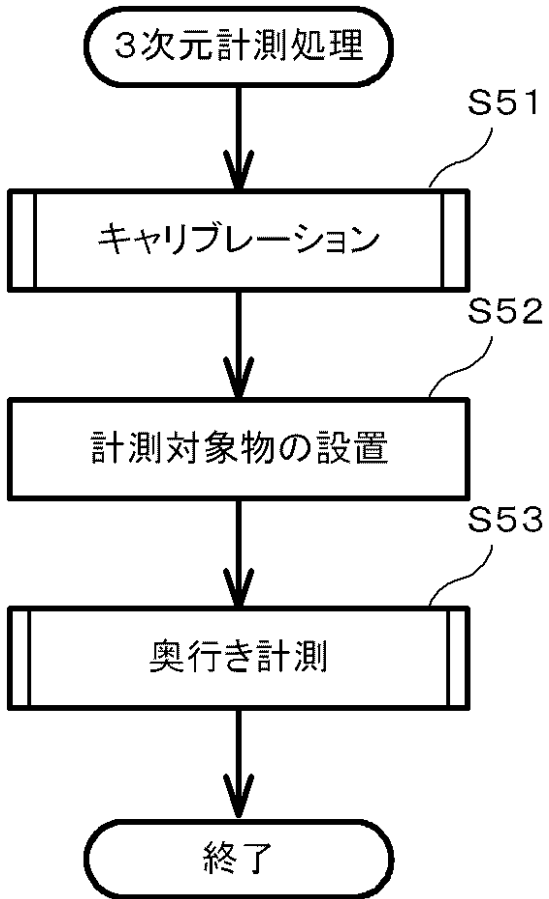
【図 29 B】



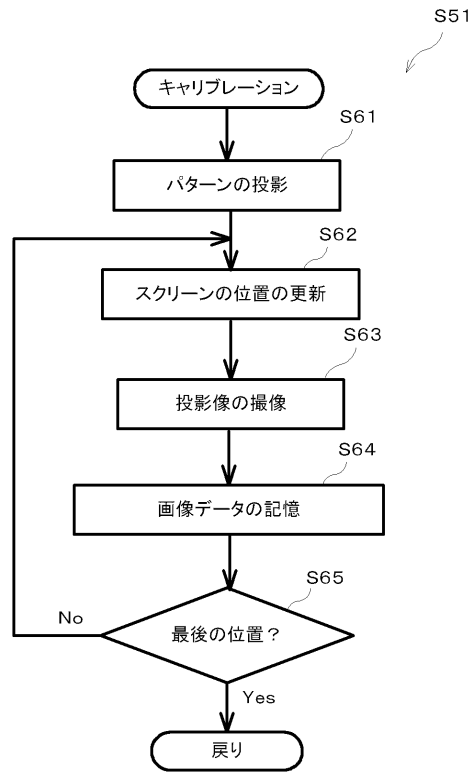
【図 29 C】



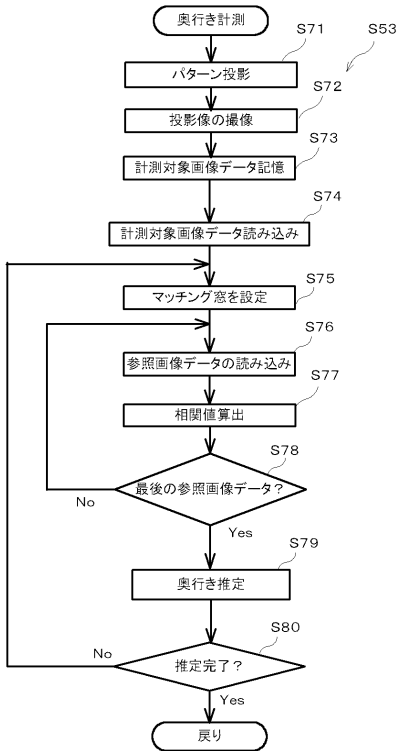
【図30】



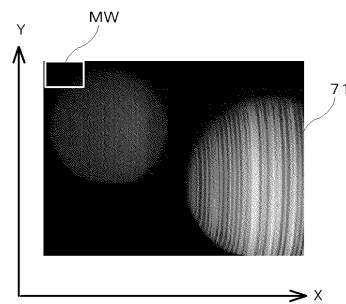
【図31】



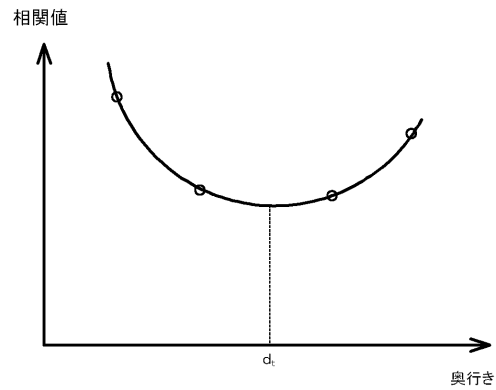
【図32】



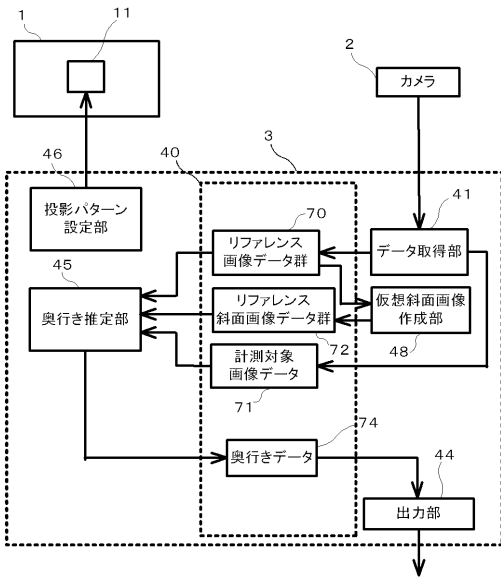
【図33】



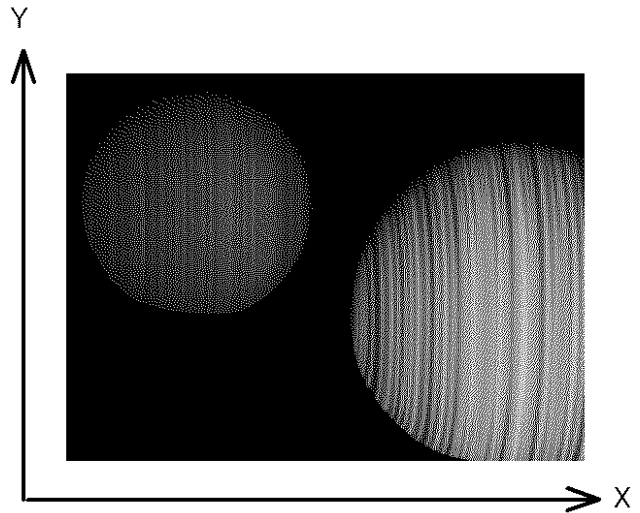
【図34】



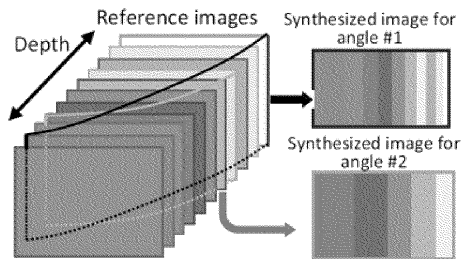
【図35】



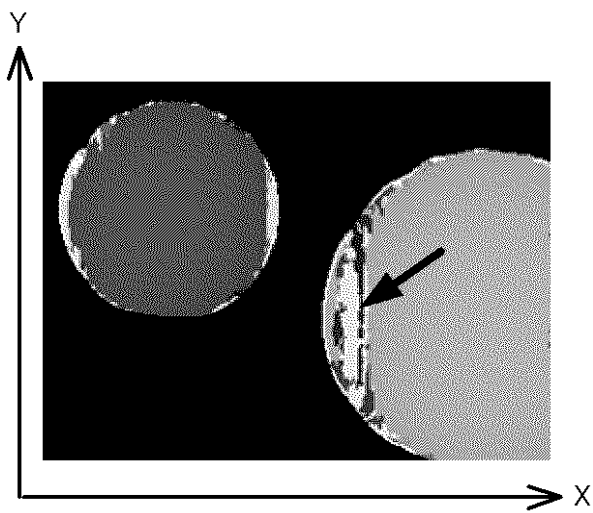
【図36B】



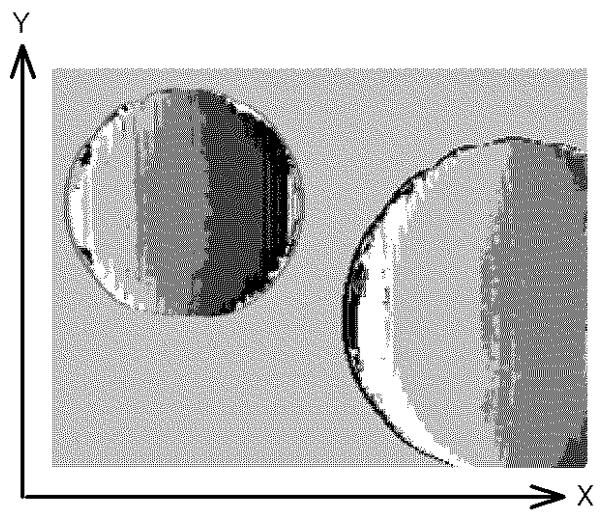
【図36A】



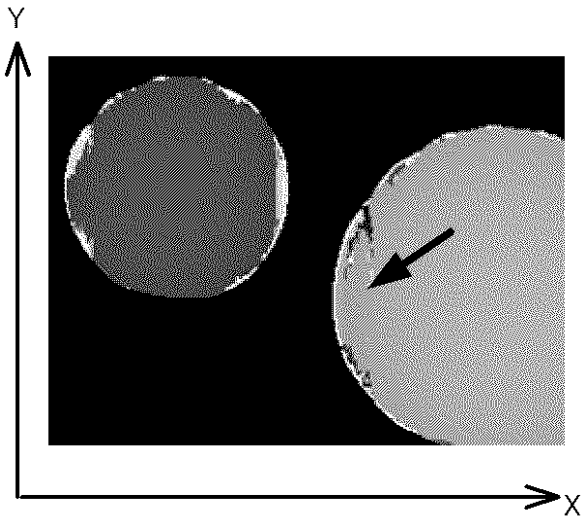
【図36C】



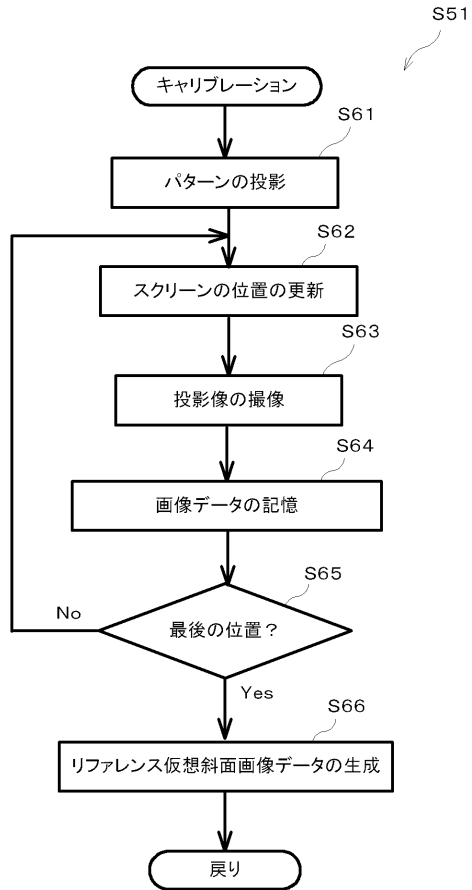
【図36D】



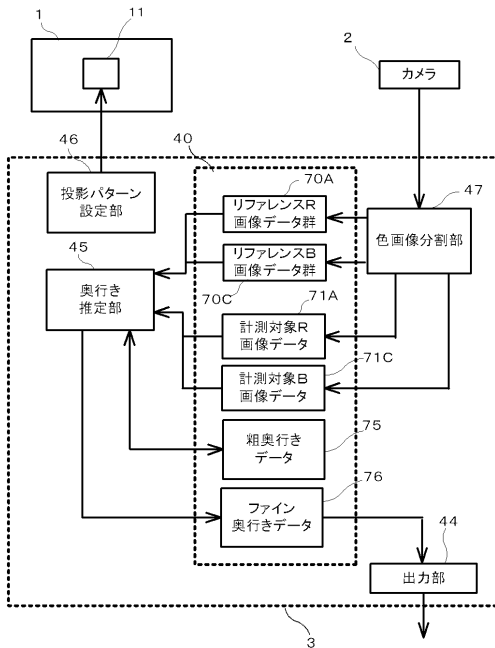
【図36E】



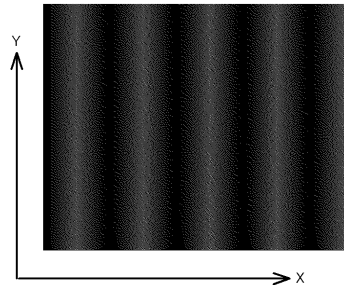
【図37】



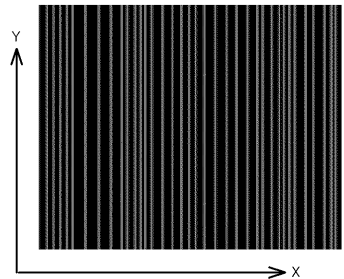
【図38】



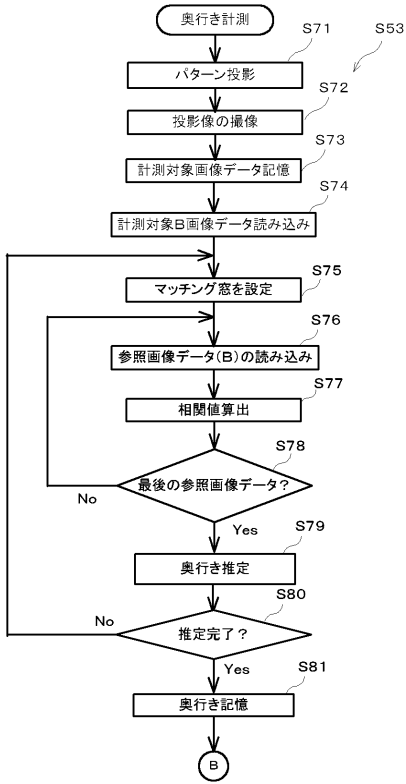
【図39A】



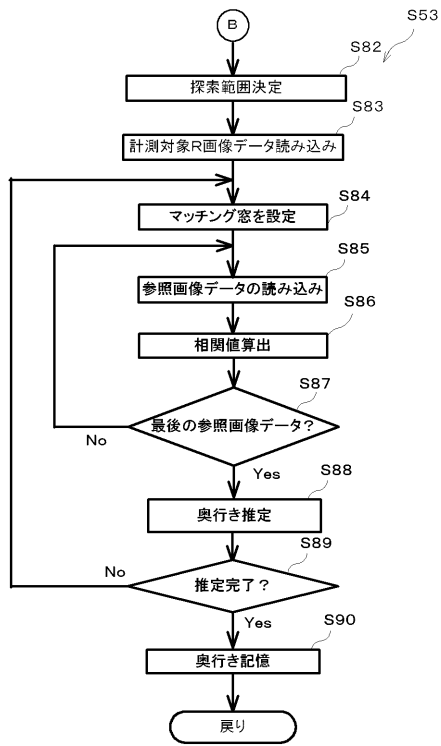
【図39B】



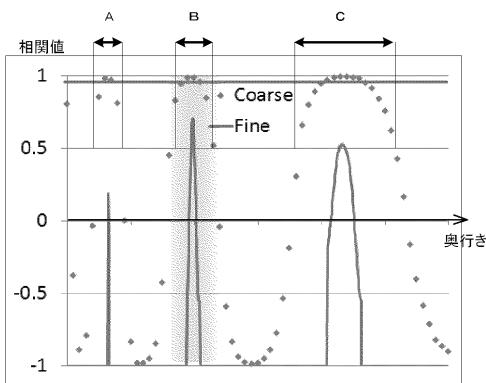
【図40】



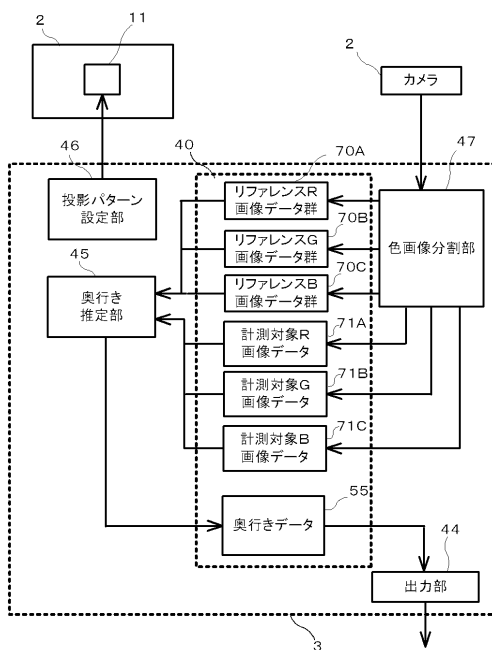
【図41】



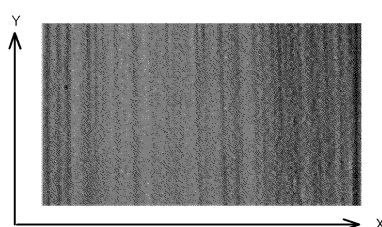
【図42】



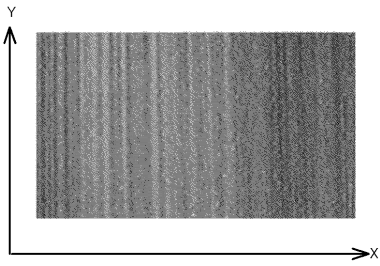
【図43】



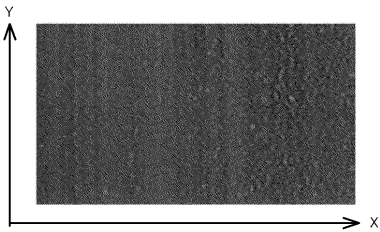
【図44A】



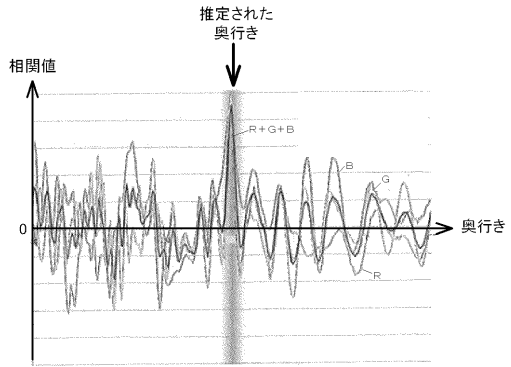
【図44B】



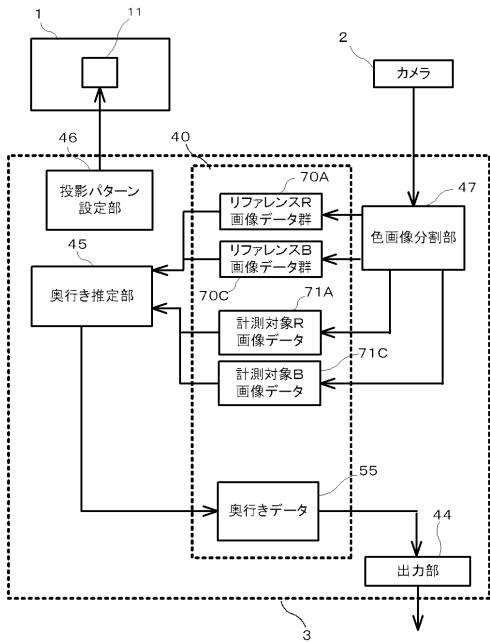
【図44C】



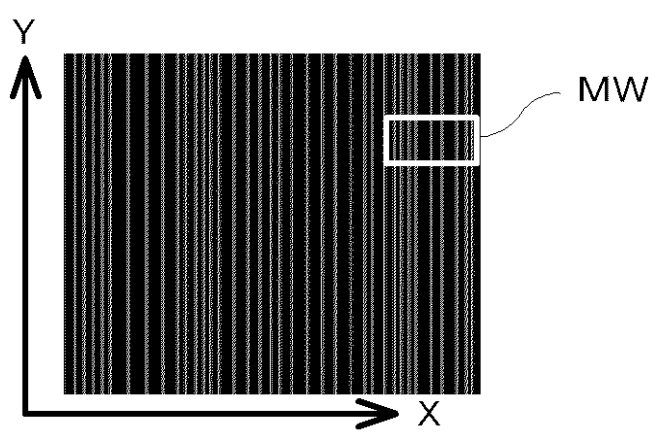
【図45】



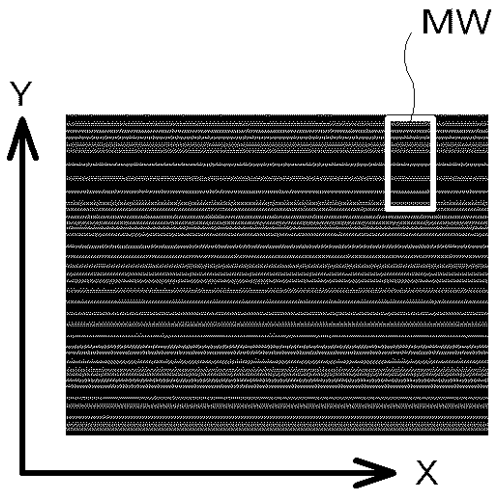
【図46】



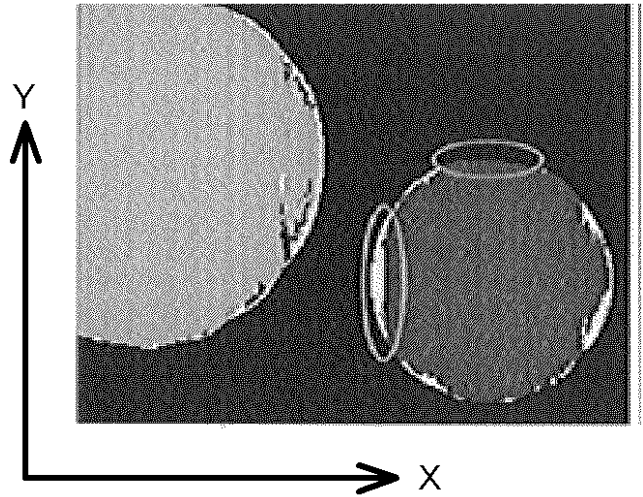
【図47A】



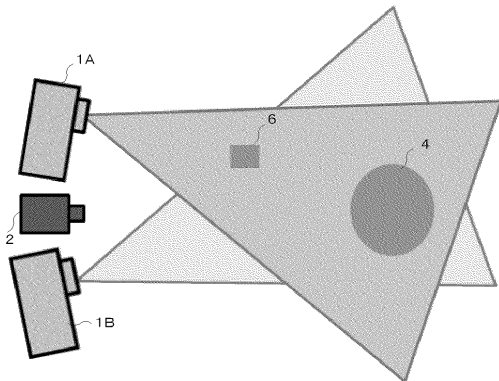
【図47B】



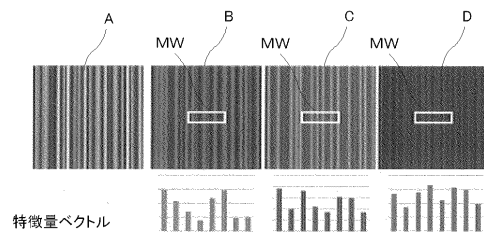
【図48】



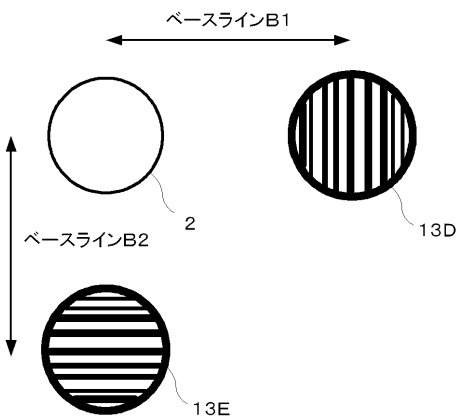
【図49】



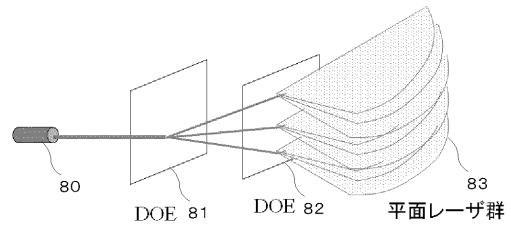
【図51】



【図50】



【図52】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2016/065084
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01B11/25(2006.01)i, G06T1/00(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01B11/25, G06T1/00 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Yuichi TAKEDA et al., "Integration of Depth from Defocus and Stereo Using Coded Aperture", The Transactions of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 01 August 2013 (01.08.2013)	1-19
A	Yuki HORITA et al., "Robust Active 3D Measurement Method against Bokeh Using Projector-Camera System with Coded Aperture", The Transactions of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 01 August 2013 (01.08.2013)	1-19
A	Yuichi Takeda et al., Fusing Depth from Defocus and Stereo with Coded Apertures, CVPR, 2013	1-19
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 26 July 2016 (26.07.16)		Date of mailing of the international search report 02 August 2016 (02.08.16)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 6 / 0 6 5 0 8 4									
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01B11/25(2006,01)i, G06T1/00(2006,01)i											
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01B11/25, G06T1/00											
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2016年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2016年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2016年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2016年	日本国実用新案登録公報	1996-2016年	日本国登録実用新案公報	1994-2016年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2016年										
日本国実用新案登録公報	1996-2016年										
日本国登録実用新案公報	1994-2016年										
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)											
C. 関連すると認められる文献											
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号									
A	武田祐一 ほか, 符号化開口を用いた Depth from Defocus とステレオ法の融合, 電子情報通信学会論文誌, 2013.08.01	1-19									
A	堀田祐樹 ほか, 符号化開口を用いたプロジェクタカメラシステムによるぼけを利用した三次元計測手法, 電子情報通信学会論文誌, 2013.08.01	1-19									
A	Yuichi Takeda et al., Fusing Depth from Defocus and Stereo with Coded Apertures, CVPR, 2013	1-19									
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。		☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。									
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献											
国際調査を完了した日 26.07.2016		国際調査報告の発送日 02.08.2016									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 堀田 真也	2 S 3303								
		電話番号 03-3581-1101 内線 3216									

フロントページの続き

(81) 指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(72) 発明者 川崎 洋

鹿児島県鹿児島市郡元一丁目2番24号 国立大学法人 鹿児島大学内

(72) 発明者 堀田 祐樹

鹿児島県鹿児島市郡元一丁目2番24号 国立大学法人 鹿児島大学内

(72) 発明者 小野 智司

鹿児島県鹿児島市郡元一丁目2番24号 国立大学法人 鹿児島大学内

(72) 発明者 日浦 慎作

広島県広島市安佐南区大塚東三丁目4番1号 公立大学法人広島市立大学内

(72) 発明者 古川 亮

広島県広島市安佐南区大塚東三丁目4番1号 公立大学法人広島市立大学内

Fターム(参考) 2F065 AA04 AA06 AA14 AA20 AA35 AA53 BB05 DD02 DD03 DD04
DD06 EE11 FF01 FF04 FF09 FF10 HH06 HH07 JJ03 LL00
LL22 LL53 NN08 QQ16 QQ17 QQ21 QQ24 QQ25 QQ29 QQ34
QQ36 QQ38 QQ43 RR09
5L096 AA02 AA09 CA04 CA06 DA02 EA05 FA34 FA37 GA17 GA38
GA55 LA05

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。