

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7344660号
(P7344660)

(45)発行日 令和5年9月14日(2023.9.14)

(24)登録日 令和5年9月6日(2023.9.6)

(51)国際特許分類

G 0 1 C	3/06 (2006.01)	F I	G 0 1 C	3/06	1 1 0 B
G 0 1 B	11/25 (2006.01)		G 0 1 B	11/25	H
G 0 6 T	7/521(2017.01)		G 0 6 T	7/521	

請求項の数 16 (全20頁)

(21)出願番号 特願2019-52735(P2019-52735)
 (22)出願日 平成31年3月20日(2019.3.20)
 (65)公開番号 特開2019-184587(P2019-184587)
 A)
 (43)公開日 令和1年10月24日(2019.10.24)
 審査請求日 令和4年3月22日(2022.3.22)
 (31)優先権主張番号 特願2018-67512(P2018-67512)
 (32)優先日 平成30年3月30日(2018.3.30)
 (33)優先権主張国・地域又は機関
 日本国(JP)

(73)特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74)代理人 110003281
 弁理士法人大塚国際特許事務所
 大井川 誠
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (72)発明者 キヤノン株式会社内
 大森 努
 審査官

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 視差算出装置、視差算出方法及び視差算出装置の制御プログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

パターン光が投影された測定対象を撮像して得られた、視差を有する原画像組を取得する取得手段と、

前記原画像組を縮小する縮小手段と、

前記縮小手段から得られる画像組から、各領域で所定の探索範囲及び探索ウィンドウを用いて前記画像組の各領域に対応する視差量の分布である視差マップを算出する算出手段と、を備え、

所定のデータ数を有する視差マップを得るために、前記算出手段は、前記縮小手段から得られる最も倍率の小さい画像組を用いて算出される視差マップの階層を最下層として、複数の階層においてそれぞれ視差マップを算出し、各階層の視差マップを算出する際の前記所定の探索範囲は、1階層下の視差マップに基づいて決定され、

前記縮小手段が前記原画像組を縮小する際に前記最下層の視差マップを得るための倍率である倍率mと、前記測定対象に投影された前記パターン光の前記原画像組上の基準周波数fとの関係が、以下の条件

$5f \leq m \leq 3f$

を満たすことを特徴とする、視差算出装置。

【請求項2】

前記条件を満たすように、前記倍率mを設定することを特徴とする、請求項1に記載の視差算出装置。

【請求項 3】

前記条件を満たすように、前記パターン光の投影パターンまたは前記取得手段による撮像条件が設定されることを特徴とする、請求項1または2に記載の視差算出装置。

【請求項 4】

前記基準周波数 f は、前記原画像組における空間周波数の分布における最多の成分であることを特徴とする、請求項1または2に記載の視差算出装置。

【請求項 5】

前記基準周波数 f は、前記原画像組における合焦面での空間周波数であることを特徴とする、請求項1または2に記載の視差算出装置。

【請求項 6】

前記基準周波数 f は、前記原画像組における最も高い空間周波数であることを特徴とする、請求項1または2に記載の視差算出装置。

【請求項 7】

前記測定対象に対応する撮像画像における注目領域を設定することにより、前記算出手段により所定の速度で視差マップを算出する、速度設定モードを搭載したことを特徴とする、請求項1乃至6のいずれか1項に記載の視差算出装置。

【請求項 8】

前記縮小手段が前記原画像組を縮小する際の倍率を最も大きい値とする高精度モードを搭載し、当該高精度モードにおいて、撮像素子によって決まるナイキスト周波数 $f_{n y q}$ に対し、前記測定対象に投影された前記パターン光の前記原画像組上での基準周波数 f が、以下の条件

$$(1/3) * f_{n y q} \leq f \leq (1/5) * f_{n y q}$$

を満たすように、前記取得手段及び前記算出手段の少なくとも一方の条件を設定することを特徴とする、請求項1乃至7のいずれか1項に記載の視差算出装置。

【請求項 9】

パターン光が投影された測定対象を撮像して得られた、視差を有する原画像組を取得する取得手段と、

前記原画像組を縮小する縮小手段と、

前記縮小手段から得られる画像組から、各領域で所定の探索範囲及び探索ウィンドウを用いて前記画像組の各領域に対応する視差量の分布である視差マップを算出する算出手段と、を備え、

所定のデータ数を有する視差マップを得るために、前記算出手段は、前記縮小手段から得られる最も倍率の小さい画像組を用いて算出される視差マップの階層を最下層として、複数の階層においてそれぞれ視差マップを算出し、各階層の視差マップを算出する際の前記所定の探索範囲は、1階層下の視差マップに基づいて決定され、

前記縮小手段が前記原画像組を縮小する際の倍率を最も大きい値とする高精度モードを搭載し、当該高精度モードにおいて、撮像素子によって決まるナイキスト周波数 $f_{n y q}$ に対し、前記測定対象に投影された前記パターン光の前記原画像組上での基準周波数 f が、以下の条件

$$(1/3) * f_{n y q} \leq f \leq (1/5) * f_{n y q}$$

を満たすように、前記取得手段及び前記算出手段の少なくとも一方の条件を設定することを特徴とする視差算出装置。

【請求項 10】

パターン光が投影された測定対象を撮像して得られた、視差を有する原画像組を取得する取得手段と、前記原画像組を縮小する縮小手段と、前記縮小手段から得られる画像組から、各領域で所定の探索範囲及び探索ウィンドウを用いて前記画像組の各領域に対応する視差量の分布である視差マップを算出する算出手段と、を備える視差算出装置を用いた視差算出方法であって、

所定のデータ数を有する視差マップを得るために、前記算出手段は、前記縮小手段から得られる最も倍率の小さい画像組を用いて算出される視差マップの階層を最下層として、

10

20

30

40

50

複数の階層においてそれぞれ視差マップを算出するステップを有し、各階層での視差マップを算出する際の前記所定の探索範囲は、1階層下の視差マップに基づいて決定され。

前記縮小手段が前記原画像組を縮小する際に前記最下層の視差マップを得るための倍率である倍率mと、前記測定対象に投影された前記パターン光の前記原画像組上の基準周波数fとの関係が、以下の条件

5 f m 3 f

を満たすことを特徴とする、視差算出方法。

【請求項11】

前記測定対象に対応する撮像画像における注目領域を設定することにより、予め決められた速度で視差マップを算出する、速度設定モードを搭載したことを特徴とする、請求項10 10に記載の視差算出方法。

【請求項12】

パターン光が投影された測定対象を撮像して得られた、視差を有する原画像組を取得する取得手段と、前記原画像組を縮小する縮小手段と、前記縮小手段から得られる画像組から、各領域で所定の探索範囲及び探索ウィンドウを用いて前記画像組の各領域に対応する視差量の分布である視差マップを算出する算出手段と、を備える視差算出装置を用いた視差算出方法であって、

所定のデータ数を有する視差マップを得るために、前記算出手段は、前記縮小手段から得られる最も倍率の小さい画像組を用いて算出される視差マップの階層を最下層として、複数の階層においてそれぞれ視差マップを算出するステップを有し、

各階層での視差マップを算出する際の前記所定の探索範囲は、1階層下の視差マップに基づいて決定され。

前記縮小手段が前記原画像組を縮小する際の倍率を最も大きい値とする高精度モードを搭載し、当該高精度モードにおいて、撮像素子によって決まるナイキスト周波数 f_{nyq} に対し、前記測定対象に投影された前記パターン光の前記原画像組上の基準周波数fが、以下の条件

$(1/3) * f_{nyq} \leq f \leq (1/5) * f_{nyq}$

を満たすように、前記取得手段及び前記算出手段の少なくとも一方の条件を設定することを特徴とする、視差算出方法。

【請求項13】

パターン光が投影された測定対象を撮像して得られた、視差を有する原画像組を取得する取得手段と、前記原画像組を縮小する縮小手段と、前記縮小手段から得られる画像組から、各領域で所定の探索範囲及び探索ウィンドウを用いて前記画像組の各領域に対応する視差量の分布である視差マップを算出する算出手段と、を備える視差算出装置の制御プログラムであって、

所定のデータ数を有する視差マップを得るために、前記算出手段に、前記縮小手段から得られる最も倍率の小さい画像組を用いて算出される視差マップの階層を最下層として、複数の階層においてそれぞれ視差マップを算出するステップを実行させ、

各階層での視差マップを算出する際の前記所定の探索範囲は、1階層下の視差マップに基づいて決定され。

前記縮小手段が前記原画像組を縮小する際に前記最下層の視差マップを得るための倍率である倍率mと、前記測定対象に投影された前記パターン光の前記原画像組上の基準周波数fとの関係が、以下の条件

5 f m 3 f

を満たすことを特徴とする、視差算出装置の制御プログラム。

【請求項14】

前記測定対象に対応する撮像画像における注目領域を設定することにより、前記算出手段により予め決められた速度で視差マップを算出する、速度設定モードを搭載したことを特徴とする請求項13に記載の視差算出装置の制御プログラム。

10

20

30

40

50

【請求項 15】

パターン光が投影された測定対象を撮像して得られた、視差を有する原画像組を取得する取得手段と、前記原画像組を縮小する縮小手段と、前記縮小手段から得られる画像組から、各領域で所定の探索範囲及び探索ウィンドウを用いて前記画像組の各領域に対応する視差量の分布である視差マップを算出する算出手段と、を備える視差算出装置の制御プログラムであって、

所定のデータ数を有する視差マップを得るために、前記算出手段に、前記縮小手段から得られる最も倍率の小さい画像組を用いて算出される視差マップの階層を最下層として、複数の階層においてそれぞれ視差マップを算出するステップを実行させ、

各階層で視差マップを算出する際の前記所定の探索範囲は、1階層下の視差マップに基づいて決定され、

前記縮小手段が前記原画像組を縮小する際の倍率を最も大きい値とする高精度モードを搭載し、当該高精度モードにおいて、撮像素子によって決まるナイキスト周波数 f_{nyq} に対し、前記測定対象に投影された前記パターン光の前記原画像組上での基準周波数 f が、以下の条件

$$(1/3) * f_{nyq} \leq f \leq (1/5) * f_{nyq}$$

を満たすように、前記取得手段及び前記算出手段の少なくとも一方の条件を設定することを特徴とする視差算出装置の制御プログラム。

【請求項 16】

請求項 13 乃至 15 のいずれか 1 項に記載の制御プログラムを記憶したことを特徴とするコンピュータが読み取り可能な記憶媒体。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、視差算出装置、視差算出方法及び視差算出装置の制御プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

撮像画像を取得し、取得した撮像画像から距離情報を算出する手法が提案されている。例えば、異なる視点からの複数の画像を取得し、各画像間の相関値から視差量を求め、距離情報を取得する手法がある。具体的には、視差を有する画像組のそれぞれから探索ウィンドウ（以下、単にウィンドウともいう。）と呼ばれる一部領域の信号を抜き出す。そして、探索ウィンドウの位置を変えながら相関値を計算することにより視差量を算出する。このとき、撮像画像中に模様（以下、テクスチャともいう。）の乏しい領域がある場合、信号のコントラストが低いことにより相関値の算出精度が低下し、測距精度が低下する。これに対してパターン光の投影を使用して撮像画像を取得し、元々は模様の乏しい領域でも測距精度の低下の影響を低減する手法がある。

30

【0003】

特許文献 1 では、縞模様のパターン光を物体に投影し、異なる位置から撮像した 2 つの画像（画像組）を用いて視差量を算出する手法が提案されている。

【先行技術文献】

40

【特許文献】

【0004】

【文献】特開 2015-137933 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献 1 のようなパターン光の投影を使用した測距技術において、処理の高速化や負荷低減に関する検討は十分になされていなかった。

【0006】

本発明は上記問題点を鑑みてなされたものであり、パターン投影を使用したステレオ測

50

距において、階層処理を用いて視差量を計算することができる視差算出装置、視差算出方法及び視差算出装置の制御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】

【0007】

上記目的を達成するために、本発明の一例としての視差算出装置は、パターン光が投影された測定対象を撮像して得られた、視差を有する原画像組を取得する取得手段と、前記原画像組を縮小する縮小手段と、前記縮小手段から得られる画像組から、各領域で所定の探索範囲及び探索ウィンドウを用いて前記画像組の各領域に対応する視差量の分布である視差マップを算出する算出手段と、を備え、所定のデータ数を有する視差マップを得るために、前記算出手段は、前記縮小手段から得られる最も倍率の小さい画像組を用いて算出される視差マップの階層を最下層として、複数の階層においてそれぞれ視差マップを算出し、各階層での視差マップを算出する際の前記所定の探索範囲は、1階層下の視差マップに基づいて決定され、前記縮小手段が前記原画像組を縮小する際に前記最下層の視差マップを得るために倍率である倍率mと、前記測定対象に投影された前記パターン光の前記原画像組上での基準周波数fとの関係が、以下の条件

5f m 3f

を満たすことを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、パターン投影を使用したステレオ測距において、階層処理を用いて視差量を計算することで処理の高速化あるいは処理の負荷低減を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】第1実施形態に係る距離測定装置の一例を示す模式図である。

【図2】第1実施形態に係る撮像装置の一例を示す模式図である。

【図3】Aは第1実施形態に係る画素の一例を示す断面図であり、Bは第1実施形態に係る射出瞳を示す模式図である。

【図4】第1実施形態に係る投影パターンの一例を示す。

【図5】第1実施形態に係る投影装置の一例を示す。

【図6】第1実施形態に係る距離検出方法のフローの一例を示す。

【図7】Aはパターン光を投影して撮像した画像の一例を示す模式図であり、Bは第1画素の信号と第2画素の信号の振幅及び周期を示すグラフの一例である。

【図8】Aは空間周波数とサンプリング画素とを示すグラフの一例であり、Bは倍率m1で縮小してサンプリングした信号を示すグラフの一例である。

【図9】Aは空間周波数とサンプリング画素とを示すグラフの一例であり、Bは倍率m2で縮小してサンプリングした信号を示すグラフの一例である。

【図10】第1実施形態に係る撮像装置の他の例を示す模式図である。

【図11】第2実施形態に係るロボットの一例を示す模式図である。

【図12】第2実施形態に係る距離検出方法のフローの一例を示す。

【図13】仮撮像において取得した画像の一例を示す。

【図14】第2実施形態に係るユーザインターフェースの一例を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

本発明について、例示的な実施形態を、図面を用いて詳細に説明する。同じ構成を指す場合は同じ参照番号を用いた。本発明は各実施形態に記載された内容に限定されない。また、各実施形態を適宜組み合わせてもよい。

【0011】

(第1実施形態)

本実施形態では、パターン投影を使用したステレオ測距の高速化あるいは負荷低減を目的として、階層処理を適用した手法を提案する。階層処理では、撮像画像を例えれば一定の

10

20

30

40

50

画素間隔で間引いて作成した縮小画像を用いて視差量の計算を行うことにより、演算負荷を低減し、処理を高速化する。さらに、画素数の多い元画像での視差量の計算において、低階層で求めた視差量をもとに探索範囲を限定することにより、演算負荷を低減し、処理を高速化する。

【0012】

縮小画像を生成するときの倍率（縮小された画像のサイズ）は、所定の計算速度、及び所定の距離情報の算出精度に応じて決定されるのが好ましい。また、パターン光を投影して撮像されたパターン投影画像においては、倍率がパターンに影響を及ぼす。すなわち、倍率とパターン投影の空間周波数の組み合わせが適していないと、生成した画像組の各画像中において、パターンによるテクスチャのコントラストS/N比が低下する。これにより、視差の算出精度、つまり測距精度が低下する。そこで本実施形態では、パターン投影を使用したステレオ測距において、階層処理を用いて処理負荷の低減を図り、さらに測距精度（視差量及び位相差の算出精度）の低下を抑制する各種条件について提案する。

10

【0013】

（装置構成及びパターン撮像部）

図1は、距離の測定対象にパターン光を投影して撮像することによって、原画像組を取得するパターン撮像部100を備えた視差算出装置の一例としての距離測定装置を示す。取得手段の一例としてのパターン撮像部100は、パターン光を投影する投影装置101（投影部）と、視差を持った原画像組を撮像する撮像装置103（撮像部）とを備える。投影装置101は、測定対象である被写体102へパターン光を投影する。そして、撮像装置103は、原画像組を撮像する。また、投影装置101及び撮像装置103は、同期等の制御を行うと共に、原画像組を縮小して得られた画像組から視差量を算出する計算機104（算出部）に接続されている。本実施形態では、投影装置101及び撮像装置103を備えるパターン撮像部100と計算機104とが別装置として設けられているが、一体となっていてもよい。また、投影装置101及び計算機104が一体であってもよく、撮像装置103が別装置であってもよく、装置構成は上述した構成に限らない。撮像装置103と計算機104が一体となっている場合、図2に示す、撮像装置103の演算処理部204が計算機104の構成・機能を兼ねていてもよい。

20

【0014】

計算機104はリサイズ部1040、相関演算部1041、視差量算出部1042、距離算出部1043、メモリ1044、及び制御部1045を有する。縮小手段の一例としてのリサイズ部1040は、撮像装置103より入力された視差を有する原画像組を所定の倍率で縮小し、相関演算部1041に出力する。相関演算部1041は、リサイズ部1040より入力された視差を有する画像組を相対的に移動させながら、例えばSAD（Sum of Absolute Difference）を用いて該画像組の相関値マップを算出する。算出手段の一例としての視差量算出部1042は、相関演算部1041で得られた相関値マップから、例えば相関が最も高くなる相関値を決定して画像組の視差量（像ずれ量）を算出する。距離算出部1043は、視差量算出部1042で得られた視差量（像ずれ量）を現在の光学系の状態に対応する換算係数を用いてデフォーカス量に変換し、さらに被写体までの距離を示す被写体距離を算出する。計算機104は、撮像装置103から順次入力される原画像（信号）組あるいは一旦メモリ1044に記憶された原画像組に基づき、視差量、デフォーカス量、あるいは被写体距離の少なくともいずれかを演算結果としてメモリ1044に記憶または外部に出力する。本実施形態では、上述した視差量、デフォーカス量、及び被写体距離をまとめて、画像に対応し、画像内の被写体の深さ方向（奥行方向）の位置あるいは位置関係を示す情報として深度情報と呼ぶことにする。制御部1045は、計算機104内の各部に指示を送り、各部を制御する。

30

40

【0015】

図2は、撮像装置103の構成を示す。撮像装置103は、カメラボディ201、撮像レンズ202、撮像素子203、演算処理部204（演算部）、及び本体メモリ205を備える。本実施形態では、撮像装置103が原画像組を取得できるように、撮像素子20

50

3の各画素は少なくとも一方に対し分割されている。撮像素子203の1つの画素は、図3Aに示す断面図のように、マイクロレンズ311、フィルタ312、及び光電変換部310A、310Bを有している。撮像素子203は、画素毎にフィルタ312によって検出する波長帯域に応じた分光特性が与えられ、所定の配色パターン(例えばRGB(Red, Green, Blue)のカラーフィルタによるベイヤ-配列)でxy平面上に配置されている。基板313には、検出する波長帯域に感度を有する光電変換部310A、310Bが形成されている。検出する波長帯域としては可視光に限らないが、少なくとも一部の光電変換部が感度良く受光可能な波長帯域に、投影装置101が投光する光の波長帯域が含まれるものとする。また、各画素は、図示しない配線を備えている。

【0016】

図3Bに示す第1瞳領域321A及び第2瞳領域321Bは、それぞれ撮像レンズ202の射出瞳320の異なる領域である。光電変換部310Aには第1瞳領域321Aを通過した第1光束が入射し、光電変換部310Bには第2瞳領域321Bを通過した第2光束が入射する。撮像素子203内の第1画素である光電変換部310Aが取得した第1光束から、第1信号が取得される。同様に、第2画素である光電変換部310Bが取得した第2光束から、第2信号が取得される。そして、演算処理部204(図2)は、第1信号からA像を形成し、第2信号からB像を形成する。形成されたA像とB像は本体メモリ205に蓄えられ、当該A像及びB像を用いて計算機104(図1)が測距演算処理を行い、視差マップ及び距離マップを計算する。

【0017】

測距演算処理は公知の手法によって行われ、例えば計算機104は、相関値マップを算出し、相関値マップから視差マップを求め、視差マップを距離マップへ換算する。投影装置101からパターン光を被写体102へ投影し、被写体102の表面にテクスチャを重畠した状態で撮像装置103が撮像する。これにより、相関値ピークの算出、ひいては測距演算の精度が向上する。

【0018】

図4は、投影するパターン光のパターン401を示している。当該パターン401は限定されないが、取得した原画像組内でのパターンの空間周波数の制御が容易となるよう、視差分割方向402に対し一定周期のパターン401が望ましい。また、視差分割方向402に垂直な方向403への制約は少ない。ただし、取得した原画像組及び相関値の平滑化が容易になるため、同様な繰り返しパターン、つまりパターン401のような、視差分割方向402において一定周期の縦縞パターンが望ましい。

【0019】

図5に示す投影装置101は、ボディ501、光源502、調整レンズ503、空間変調器504、及び投影レンズ505を備える。光源502は白色LEDを有し、光源502から出射した光は、調整レンズ503により空間変調器504に結像される。その後、空間変調器504がパターン光を形成し、投影レンズ505により被写体102の表面へパターン光が結像される。空間変調器504は、DMD(Digital Mirror Device)で形成されている。投影装置101は、この構成に限定されない。拡散板を導入して光量分布を一様にしてもよく、又はケーラー照明若しくは入射瞳に光源像を結ばせる光学系等の各種投影光学系が適用されてもよい。

【0020】

(基本処理フロー及び階層処理)

原画像組を取得し距離マップを算出する基本処理フローと、縮小した画像組を用いた階層処理について説明する。本実施形態では、所定のデータ数を有する視差マップを得るために、原画像組から縮小処理によって最も倍率を小さく縮小した画像組を用いる処理を最下層とする。この最下層の縮小画像を生成するときの倍率は、測距精度の低下を抑制することのできる倍率とするのが好ましい。なお、最下層の縮小画像の倍率については、詳細に後述する。そして、段階的に画像組の倍率が大きくなっていく(あまり縮小されなくなっていく)複数の階層において、順次視差マップを算出する。このとき各階層での探索範

10

20

30

40

50

囲あるいは探索ウィンドウは1階層下の演算結果に基づいて限定的な探索範囲あるいは探索ウィンドウのサイズで決定することで、視差マップ算出にかかる処理負荷および処理速度を大幅に低減する。

【0021】

図6は、第1実施形態に係る基本処理フローを示す。ステップS601にて、投影装置101が被写体102にパターン光を投影し、パターン光が投影された被写体102の原画像組を撮像装置103が取得する(パターン撮像ステップ)。ステップS602にて、計算機104のリサイズ部1040は、原画像組を倍率mで縮小して、最下層の縮小画像の画像組を作成する。ここで倍率mは画像組を形成する際に読み出す画素数の割合に相当する。従って、ステップS601にて取得した原画像組の画素数に対しa画素おきに出力することによって間引いて作成する縮小画像の倍率mは、下記式(1)により表すことができる。

【0022】

$$m = 1 / a \quad \dots (1)$$

従って、ステップS601にて取得した原画像組の画素からa画素おきに出力することによって、倍率mの縮小画像を得ることができる。

【0023】

次にステップS603にて倍率mで縮小して得られた画像組を用いて、上述したような公知の演算手法にて相関値マップ(画像組の各領域に対応する相関値の分布)を算出する。このとき、画素数を間引いて縮小された画像組を用いて相関値マップを算出するため、従来の原画像組から相関値マップを算出する場合に比べて面内解像度(サンプリング数、データ数)が減少する。一方、相関値マップの探索範囲及び計算に用いる探索ウィンドウ内の画素数が原画像組を用いて計算するときと比較して少なくなるため、計算速度が向上する。ステップS604において、求めた相関値マップから、画像組のA像とB像間の視差マップを算出する(算出ステップ)。

【0024】

ステップS605にて、視差マップが所望の出力解像度(データ数、画素数)以上であるか否かを判断し、所望の出力解像度以上でない場合は(ステップS605にてNO)、ステップS606に処理を進める。なお、所望の出力解像度は、任意に設定することが可能であり、その設定方法は特に制限されない。所望の出力解像度が得られない場合、計算機104は、原画像組をより大きい倍率で縮小して得られた他の画像組から視差マップを算出する。すなわち、ステップS606にて、距離マップを算出する際の所望の出力解像度に応じて、原画像組の画素数に対し、aよりも少ないb画素おきに出力することによって間引いて他の画像組を作成し、1階層上の相関演算に用いる画像組とする(a > bである)。そのため、他の画像組の倍率は先に作成した画像組の倍率よりも大きく、先に作成した画像組と比較すると出力解像度の高い画像組となる。

【0025】

次にステップS607にて、ステップS604で先に求めた視差マップをもとに、1階層上での相関演算における探索範囲を設定し、ステップS606で生成した他の画像組を用いて相関値マップを算出する。本実施形態では、対応する領域で先に求めた視差量をもとに、探索範囲、すなわち相関演算において画像組の画素を相対的にずらす画素ずらし量(例えばある階層で±10Pixelなど)を、当該視差量の値もしくはその近傍の値に設定する。

【0026】

また、画像組において相関演算の対象とする領域のサイズである探索ウィンドウサイズ(例えばある階層で垂直方向に4行、水平方向に20Pixelなど)は、各階層の倍率(a、bなど)あるいは解像度に応じて設定される。すなわち、各階層における相関演算の対象領域(対象としている被写体)が略同一になるように、探索ウィンドウのサイズ(解像度、画素数)を設定する。

【0027】

10

20

30

40

50

さらに、下層において先に求めた相関値の信頼度に応じて、信頼度が高い領域は算出された視差量の信頼度も高い（算出誤差を吸収するべくサイズを大きくする必要がない）として、探索ウィンドウサイズを倍率から換算されるサイズより小さく設定するようにしてもよい。ここでいう相関値の信頼度とは、相関演算によって得られる像ずれ量と相関値をプロットする曲線における傾きや、画像信号そのものが相関を取りやすい、エッジ成分の大きいものであるかを測るために画像組の対象領域におけるエッジ積分値や、画像信号のS/N比を用いてもよい。

【0028】

また、探索ウィンドウサイズを各階層の倍率によらず一定値（例えば全ての階層で垂直方向に4行、水平方向に20Pixelなど）に設定するようにしてもよい。階層が上がるにつれ画像の解像度は上がるが探索ウィンドウサイズは一定値のため、相関値マップの面内解像度が向上する。さらに下層での算出視差量をもとに正解視差量の近傍で相関値を算出するため、探索ウィンドウサイズを階層に応じて変更せず一定値としたことで相関演算の対象領域（対象としている被写体）が変わることによる相関値算出エラーを回避できる。

10

【0029】

以上の処理により、視差量が不明な状態で画像全体に一律で大きな探索範囲及び探索ウィンドウを設定する場合に比べて、視差量の算出処理にかかる処理負荷と処理速度を大幅に低減することができる。

【0030】

その後、ステップS608にて視差マップ（画像組の各領域に対応する視差量の分布）を算出する。このように、ステップS604にて求めた画像組の視差マップが、次の他の画像組での探索範囲及び探索ウィンドウの設定に反映されるため、探索範囲及び探索ウィンドウの設定が不必要に大きくならない。これにより、縮小して得られた画像組の計算を介さない場合と比較して計算速度が向上する。ステップS609にて視差マップが所望の出力解像度以上であるか否かを判断し、所望の出力解像度以上でない場合は（ステップS609にてNO）、ステップS606～S608を所望の出力解像度以上となるまで繰り返す。すなわち、原画像組の縮小により他の画像組より倍率が大きい画像組を作成して、作成した新たな画像組を用いて相関値マップを算出した後、視差マップを算出する。

20

【0031】

所望の出力解像度以上の視差マップが得られた場合は（ステップS609にてYES）、ステップS610にてカメラの光学系情報をもとに視差マップから距離マップ（画像組の各領域に対応する距離値の分布）を算出する。倍率mにより作成された画像組（a画素間引いて作成する画像組）の解像度が所望の出力解像度以上である場合は（ステップS605にてYES）、当該画像組の視差マップを用いて距離マップを算出する。この場合は、ステップS606へ進むことなく、ステップS610に処理を進めて距離マップを算出する。

30

【0032】

（変数決定方法、及び倍率mと空間周波数fの関係）

続いて、第1実施形態に係る視差マップの算出において、ステップS602で行われる原画像組を最も小さく縮小する最下層の階層処理における、原画像組を縮小する倍率mと、パターン光を投影して撮像して得られた原画像中の空間周波数fとの関係を説明する。

40

【0033】

図1に示したような構成で被写体102にパターン401を投影して撮像して得られた原画像701を図7Aに示す。ここで説明を簡便にするため、原画像701（原画像組の一方の画像）中の線分702上の、パターン光が投影された被写体102に対応する区間703の画像信号を図7Bに抜き出して示す。区間703の画像信号は、パターン401の一定周期に対応した第1信号711（実線）と第2信号712（破線）とを含む。ここで、第1信号711は、第1画素である光電変換部310Aが取得したA像の信号である。また、第2信号712は、第2画素である光電変換部310Bが取得したB像の信号で

50

ある。第1信号711と第2信号712は互いに視差量に対応した位相のずれ713を持っている。

【0034】

図8A, 図8Bを用いて、倍率mと取得した原画像組における測定対象上のパターン空間周波数である基準周波数f(以下、空間周波数fともいう)との関係について示す。図8Aは、図7Bで示した第1信号711と第2信号712の一部区間を示し、撮像画素801との関係を1次元で示している。第1信号711は、取得した原画像上において区間802で示される周期Tに対応する基準周波数f($=1/T$)を持っている(第2信号712も同様)。これに対し、区間803に対応する画素数a1を間引いて、図8Aに太枠で示したサンプリング画素804のみで作成した、すなわち、倍率m1($=1/a_1$)で縮小してサンプリングした画像組の画像信号を図8Bに示す。

10

【0035】

第1信号711を倍率m1で縮小してサンプリングした画像の画像信号が実線で示した信号811である。また、第2信号712を倍率m1で縮小してサンプリングした画像の画像信号が破線で示した信号812である。このとき、サンプリング画素804は、サンプリング定理を満たすように、 $m_1 = 2f$ の関係で設定した。図8Bに示すように、第1信号711に対応する信号811はもとの信号形状を残しているのに対し、第2信号712に対応する信号812はもとの信号形状が消失してしまう。

【0036】

これは、第1信号711と第2信号712が視差量に起因した位相ずれを持っているため、一方の信号に対しサンプリング定理を適応しても他方の信号の形状が保存・復元されないからである。このように被写体102へパターン光を投影して取得した原画像組に対し、適切な倍率を設定しないと、縮小して形成した画像組のA像またはB像の信号形状(テクスチャ)のコントラストが低下してしまう。その結果、相関値マップの算出精度、ひいては視差マップ及び距離マップの算出精度が低下する。

20

【0037】

一方の信号の形状を最大限に残す最小のサンプリングに対し、他方の信号の形状が最も消失してしまうのは、位相ずれが $\pm\pi/4$ のときである。したがって、 $m_1 = 4f$ の関係を満たすように倍率(サンプリング画素)を設定すれば、A信号もB信号も信号形状を残しながら最小画素数でサンプリングできる。この最小画素数でサンプリングした様子を図9A, 図9Bに示す。

30

【0038】

図8Aと同様に図9Aにおいて、第1信号711は取得した原画像上において区間802で示される周期Tに対応する空間周波数f($=1/T$)を持っている(第2信号712も同様)。これに対し、区間903に対応する画素数a2を間引いて、図9Aに太枠で示したサンプリング画素904のみで作成した、すなわち、倍率m2($=1/a_2$)で縮小してサンプリングした画像の画像信号を図9Bに示す。第1信号711を倍率m2で縮小してサンプリングした画像の画像信号が、実線で示した信号911である。また、第2信号712を倍率m2で縮小してサンプリングした画像の画像信号が、破線で示した信号912である。ここで、倍率m2と空間周波数fの関係は $m_2 = 4f$ である。このとき、縮小して形成した画像組においてもA像に対応する信号911とB像に対応する信号912は、ともにもとの画像信号の信号形状を反映している。そのため、相関値マップの算出精度が低下することなく、視差マップを算出できる。また、第1実施形態の効果を得るためにサンプリング画素の間隔で決まる倍率mと空間周波数fの関係が、下記式(2)を満たせばよい。

40

【0039】

$$m_2 = 4f \quad \dots (2)$$

【0040】

しかしながら、上記式(2)は空間周波数fを限りなく小さくすれば、つまり投影するパターン光のパターン401の周期Tを限りなく大きくすれば、倍率mの値に関係なく成

50

立する。一方で、距離マップの算出対象である被写体 102 に対し、不必要に大きすぎる周期 T は距離マップを算出する面内分解能の観点から好適ではない。したがって、倍率 m に対し、倍率 $m = 4f$ の関係を満たすように、取得した原画像組上での空間周波数 f を投影装置 101 と撮像装置 103 を備えるパターン撮像部 100 にて制御する。ここで、倍率 m は所定の空間分解能及び計算速度によって決定され、空間周波数 f は最大の面内分解能が得られるパターン光の取得画像組上での空間周波数である。空間周波数 f は、順次取得される画像組においてパターン検出により算出してもよいし、投影装置 101 及び撮像装置 103 の光学条件、被写体との位置関係などが予め分かっている場合には、対応する空間周波数 f を予めメモリ 1044 に記憶しておいてもよい。

【0041】

ここで空間周波数 f の設定精度を説明する。パターン撮像部 100 の投影装置 101 及び撮像装置 103 の光学系により重畠される誤差、及び被写体 102 を含む各装置間の互いの相対距離により生じる誤差を重畠する。すると、取得した原画像上での空間周波数 f は $\pm 25\%$ の誤差を持つ。したがって、倍率 m と基準周波数 f の関係は、下記式 (3) を満たせばよい。

【0042】

$$5f \leq m \leq 3f \quad \dots (3)$$

【0043】

取得画像上での被写体 102 のパターン 401 の空間周波数である基準周波数 f と、間引き画素数によって決まる倍率 m との関係が式 (3) を満たすことによって、視差マップの算出精度を保ちながら縮小して形成した画像組により相関値マップを算出できる。つまり、所定の計算速度及び解像度を満たす倍率 m を、測距精度が低下することなく設定するという効果が得られる。例えば計算機 104 は、上記式 (3) を満たすように投影パターン又は撮像条件を設定する(設定ステップ)。すなわち、計算機 104 は、投影装置 101 内の空間変調器 504 での生成パターン若しくはパターンマスク、又は投影レンズ 505 の倍率、及び撮像装置 103 が取得する画像の画角若しくは倍率を設定する。または、上記式 (3) を満たすように、計算機 104 が階層処理の倍率 m を設定する(設定ステップ)。

【0044】

(その他の構成)

原画像組を取得する撮像装置 103 は、2つ以上の複数の光学系とそれに対応する撮像素子を有するステレオカメラであってもよい。ステレオカメラを用いることにより、基線長の設計自由度が向上し、測距分解能が向上する。また、第1実施形態に係るパターン撮像部 100 は、撮像装置 103 に投影装置 101 を搭載したひとつの装置であってもよい。この装置は、撮像装置 103 と投影装置 101 の位置関係が固定された状態となるため、耐環境性の向上、及び画角又は倍率の条件設定の容易化を実現できる。具体的には図 10 に示すように、第1実施形態に係る撮像装置は、カメラボディ 201 の上部に投影装置 1001 を搭載し、制御装置 1010 を用いて、互いのパラメータ及び同期を制御する、撮像装置 1000 としてもよい。

【0045】

計算機 104 を撮像装置 1000 内に備えられた C P U (C e n t r a l P r o c e s s i n g U n i t) とすることにより、撮像装置 1000 を小型化できる。パターン制御部である空間変調器 504 は、反射型 L C O S (L i q u i d C r y s t a l O n S i l i c o n)、透過型 L C O S、及び D M D (D i g i t a l M i c r o m i r r o r D e v i c e) のいずれでもよい。これらの空間変調器 504 を用いることで、画素数が多いパターンを高い応答速度で生成することができる。これにより、面内解像度を向上できると共に、パターンを高速切り替えでき、画像の取得速度を向上できる。

【0046】

パターン制御部は、すりガラス又は金属板等の、パターンがあらかじめ形成されているパターンマスクを、投影装置 101, 1001 の光路へ出し入れすることによってパター

10

20

30

40

50

ンを投影してもよい。これにより、装置コストの低減化、及び装置の小型化を実現できる。さらに投影装置 101, 1001 内の光源は、LD (Laser Diode)、LED (Light Emitting Diode)、及びハロゲンランプのような熱光源のいずれであってもよい。装置ならびに被写体の大きさを鑑みて、適切な光量ならびに光源の大きさを設計することによって、装置の小型化及び低コスト化を実現できる。

【0047】

投影装置 101, 1001 の光源は、波長が可視光域の全域を含む白色光を出射できる。これにより、第 1 実施形態の手法において、被写体の分光反射率によらず第 1 実施形態の効果が得られる。また、投影装置 101, 1001 の光源は、R、G、B の 3 色の光を出射してもよい。これにより、撮像装置のカラーフィルタ透過帯域と光の波長とを一致させ、使用エネルギーに対する光利用効率を高くできる。

10

【0048】

また、投影装置 101, 1001 の光源の波長が IR (Infrared) 領域であり、IR 領域に対応した透過帯域ならびに受光感度を持つカラーフィルタが配された撮像素子を備えた撮像装置を用いて被写体を撮像してもよい。これにより、RGB 帯域を用いた鑑賞用画像を、測距と同時に撮像できる。特に IR の波長帯域が 800 nm から 1100 nm の間である場合、光電変換部に Si を用いることができる。これにより、カラーフィルタの配列を変更することで、ひとつの撮像素子により RGB 帯域の鑑賞画像と IR 帯域の測距画像を取得することができる。

20

【0049】

縮小画像は、間引き画素数に相当する画素を加算平均して生成してもよい。これにより、測距精度にかかるパターンやテクスチャの識別性能は低下するものの、平滑化により耐環境性が向上する。相関値マップの算出手法は、SSD (Sum of Squared Difference)、SAD (Sum of Absolute Difference)、及び POC (Phase Only Correlation) のいずれでもよいが、これらの手法に限定されない。

【0050】

第 1 実施形態は、撮像装置の他に、コンピュータプログラムをも包含する。第 1 実施形態のコンピュータプログラムは、距離マップあるいは視差マップの算出のために、コンピュータに所定の工程を実行させる。第 1 実施形態のプログラムは、距離検出装置、視差量検出装置またはそのいずれかを備えるデジタルカメラ等の撮像装置のコンピュータにインストールされる。インストールされたプログラムがコンピュータによって実行されることにより、上記の機能が実現し、距離マップ及び視差マップを高速かつ高精度で検出できる。一例として、このプログラムは、原画像組を取得するパターン撮像部 100 と、原画像組を縮小して得られた画像組から視差マップを計算する計算機 104 とを備える撮像装置 1000 の制御プログラムである。当該制御プログラムは、コンピュータに、算出ステップと、設定ステップとを実行させる。この算出ステップでは、原画像組を縮小して得られた画像組から視差マップを算出する。また、設定ステップでは、縮小する際の倍率である倍率 m と、原画像上での基準周波数 f との関係が、上記式 (3) を満たすように、パターン撮像部 100 及び計算機 104 のいずれかの条件を設定する。

30

【0051】

(第 2 実施形態)

(高速測定モード、FA 検査装置)

図 11 から図 13 を参照して、第 2 実施形態に係る撮像装置 1100 を用いた FA (Factory Automation) 検査装置及び速度設定モードに関して説明する。

40

【0052】

図 11 は第 2 実施形態に係る FA 検査装置のロボット 2000 を示す。ロボット 2000 は、撮像装置 1100、作業ステージ 1101、ロボットアーム 1102、ロボットハンド 1103、及び制御装置 1105 (算出部) を備える。撮像装置 1100 を用いて取得した深度情報をもとに、制御装置 1105 がロボットアーム 1102 及びロボットハンド 1103 を制御する。

50

ド 1 1 0 3 を制御して、主被写体であるワーク 1 1 0 4 (測定対象) を把持する。当該把持動作のなかで、深度情報の算出に係るフローを図 1 2 に示す。

【 0 0 5 3 】

ステップ S 1 2 0 1 では、計測速度、基準周波数、注目領域、間引きする画素数、倍率、投影条件、及び撮像条件等の各種条件を設定する。例えば、使用者は計測速度を設定する。計測速度は実際の速度でもよいし、「高速 / 中速 / 低速」のようなあらかじめ設定された段階から使用者が選択してもよい。計測速度に応じて、撮像装置 1 1 0 0 を用いて仮撮像を行い、倍率 m と、投影するパターン光 (投影パターン) または撮像装置 1 1 0 0 の撮像条件を設定し、基準周波数 f を設定する。

【 0 0 5 4 】

ワーク 1 1 0 4 を仮撮像して取得した撮像画像 1 3 0 1 を図 1 3 に示す。制御装置 1 1 0 5 は、ステップ S 1 2 0 2 にて、ワーク 1 1 0 4 が写っている領域を注目領域 : R O I (Region Of Interest) 1 3 0 2 として設定する。次に、制御装置 1 1 0 5 は、ステップ S 1 2 0 1 において設定した計測速度に対応した倍率を算出する。具体的に、「高速」モードを設定したとき、制御装置 1 1 0 5 は、R O I 1 3 0 2 の画像から 1 0 画素おきに画素を間引きするように倍率 m_{ROI} を算出する。このとき、倍率 m_{ROI} と、撮像画像 1 3 0 1 (ワーク 1 1 0 4 に重畳されるパターン光) の空間周波数 f との関係が、下記式 (4) を満たすように、制御装置 1 1 0 5 は、投影装置 (不図示) または撮像装置 1 1 0 0 の条件を設定する (設定ステップ)。または、制御装置 1 1 0 5 は、下記式 (4) を満たすように倍率 m_{ROI} を設定する (設定ステップ)。

【 0 0 5 5 】

$$5f = m_{ROI} \cdot 3f \quad \dots (4)$$

【 0 0 5 6 】

例えば、撮像装置 1 1 0 0 の条件を固定する場合、制御装置 1 1 0 5 は、投影装置内の空間変調器 5 0 4 の条件を変更し、撮像画像 1 3 0 1 の空間周波数 f が上記式 (4) の関係を満たすように制御する。その後、ステップ S 1 2 0 2 からステップ S 1 2 1 0 までの処理を行い、制御装置 1 1 0 5 がステップ S 1 2 1 1 にて距離マップを算出する。なお、ステップ S 1 2 0 2 からステップ S 1 2 1 0 は、第 1 実施形態において説明したステップ S 6 0 1 からステップ S 6 0 9 と同じであるため、その説明は省略する。ステップ S 1 2 1 1 にて算出された距離マップをもとに、制御装置 1 1 0 5 は、ロボットアーム 1 1 0 2 及びロボットハンド 1 1 0 3 を制御し、ワーク 1 1 0 4 を把持させる。

【 0 0 5 7 】

このように、第 2 実施形態の撮像装置は、測定対象の撮像画像の注目領域を設定することにより、所定の速度で視差マップを算出する、速度設定モードを搭載している。これにより、注目する主被写体に対し、R O I を設定し、目的に応じた倍率を設定し、縮小することで、所定の計算速度で距離マップを算出できる。また、制御装置 1 1 0 5 は、深度情報 (深度マップ) を距離値 (距離マップ) の形態でなく、視差量 (視差マップ) やデフォーカス量 (デフォーカスマップ) の形態で受け取り、ロボットアーム 1 1 0 2 及びロボットハンド 1 1 0 3 を制御可能であってもよい。この場合、S 1 2 0 6 の距離マップの算出ステップは必要ない。

【 0 0 5 8 】

ステップ S 1 2 0 1 においては、間引きする画素数または倍率を、ユーザが直接設定してもよい。これにより、ユーザが目的に応じて微調整できるため、ユーザビリティを向上できる。また、ステップ S 1 2 0 1 において、予め設定された速度項目のそれぞれに対し、間引きする画素数または倍率を事前にユーザが設定してもよい。これにより、ユーザビリティを向上できる。

【 0 0 5 9 】

ステップ S 1 2 0 1 の仮撮像は、事前に対象ワークの形状、及び測定に用いる撮像画角をメモリに記憶しておくことにより省略できる。また、第 2 実施形態の撮像装置は、測定対象の撮像画像から被写体を認識し、各種変数を自動で決定する自動決定モードを搭載し

10

20

30

40

50

ていてもよい。例えば、制御装置 1105 は、各種画像認識技術を用いることにより、撮像されたワークと事前登録された形状情報をもとに、随時自動で倍率と基準周波数を設定してもよい。これにより、ユーザビリティを向上できる。また、ROI はユーザが手動で設定してもよいし、各種画像認識から対象ワークが認識されたときに制御装置 1105 が ROI を自動設定してもよい。

【0060】

基準周波数 f は、原画像組における空間周波数の分布における最多の成分とすることができる。例えば、仮撮像によって得られた画像組（原画像組）を周波数解析することにより、最多の空間周波数成分をもつ領域を ROI に設定し、ROI の空間周波数を基準周波数 f に設定できる。これにより、ROI 及び基準周波数 f を自動的に設定できる。加えて、基準周波数 f は、原画像組における合焦点での空間周波数とすることができる。例えば、仮撮像時の画像組（原画像組）の合焦点位置をコントラスト解析または仮距離値測定によって算出し、合焦点位置の領域を ROI に設定する。合焦点位置の領域の空間周波数を基準周波数 f に設定することにより、ROI 及び基準周波数 f を自動的に設定できる。さらに、基準周波数 f は、原画像組における最も高い空間周波数とすることができる。例えば、仮撮像によって得られた画像を周波数解析することにより、最も高い空間周波数成分をもつ領域を ROI に設定する。当該領域の空間周波数を基準周波数 f に設定することにより、ROI 及び基準周波数 f を自動的に設定できる。

【0061】

第2実施形態に係る測定条件を満たすように、ロボット 2000 は、ユーザに対し投影条件及び撮像条件等の設定のアシストを行うユーザインタフェースを備えていてもよい。このユーザインタフェースにより、操作を容易にすることができる。図 14 は、ROI を設定するためのユーザインタフェースの一例を示す。ロボット 2000 は、撮像した画像を表示するタッチパネルである表示素子 1401 を備える。この表示素子 1401 上にて、ユーザが測定範囲 1402 に触れることにより ROI を設定する。このとき、表示素子 1401 は、事前に設定した測定速度または間引きする画素数に対応する倍率に対し、上記式（4）を満たす空間周波数の投影パターンをグリッド 1403 として表示する。この表示をもとにユーザは、投影装置によるパターン形状（投影パターン）、又は投影若しくは撮像の光学条件を変更する。

【0062】

（第3実施形態）

（高精度モード）

続いて、第3実施形態に係る撮像装置が搭載する高精度モードを説明する。縮小画像を生成する倍率を設定するうえで、最も面内分解能が高い縮小画像が作成されるのは、間引きする画素数 $a = 2$ のときである。このとき、倍率 $M = 1 / a$ は、最大の 0.5 となる。第3実施形態に係る撮像装置は、倍率 M を最も大きい値とする高精度モードを搭載している。この 2 画素おきでサンプリングした場合の倍率 M は、撮像素子によって、すなわち撮像素子の画素間隔によって決まるナイキスト周波数 f_{nyq} に一致する。

【0063】

従って、第3実施形態の高精度モードにおいては、倍率 $M = f_{nyq}$ を満たしたうえで、基準周波数 f が上記式（3）を満たす。つまり、高精度モードとしてサンプリング画素を 2 画素おきに設定する場合、式（5）を満たすように、取得した原画像組上での基準周波数 f を設定する。例えば、式（5）を満たすように、パターン撮像部の投影条件若しくは撮像条件を設定する。

【0064】

$$(1/3) * f_{nyq} \quad f \quad (1/5) * f_{nyq} \quad \dots \quad (5)$$

このように基準周波数 f を設定することにより、最も高精度な縮小画像でも（サンプリング画素を 2 画素おきに設定した場合でも）、原画像組の互いの信号形状が劣化することを抑制できる。これにより、高精度で視差マップを算出でき、ひいては高精度で測距できる。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 5 】**(その他の実施例)**

本発明は、上述の実施形態の 1 以上の機能を実現するプログラムを、ネットワーク又は記憶媒体を介してシステム又は装置に供給し、そのシステム又は装置のコンピュータにおける 1 つ以上のプロセッサーがプログラムを読み出し実行する処理でも実現可能である。また、1 以上の機能を実現する回路（例えば、A S I C）によっても実現可能である。

【 符号の説明 】**【 0 0 6 6 】**

1 0 0 取得手段

1 0 2 測定対象

1 0 4 0 縮小手段

1 0 4 2 算出手段

10

20

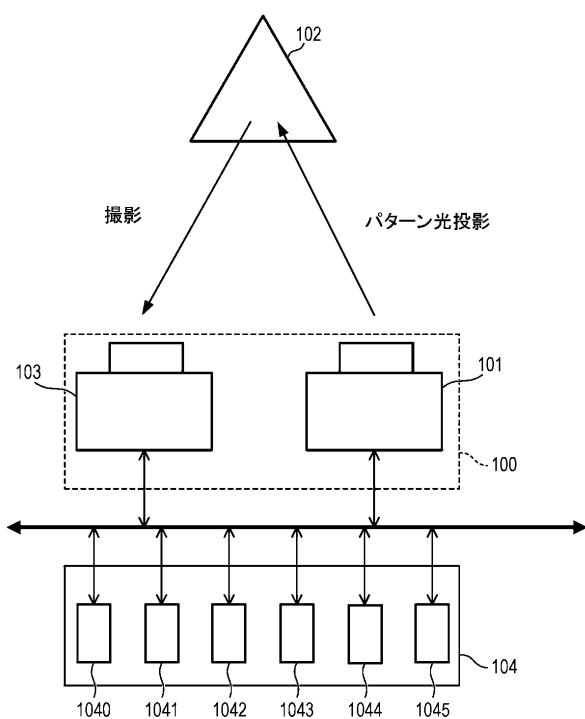
30

40

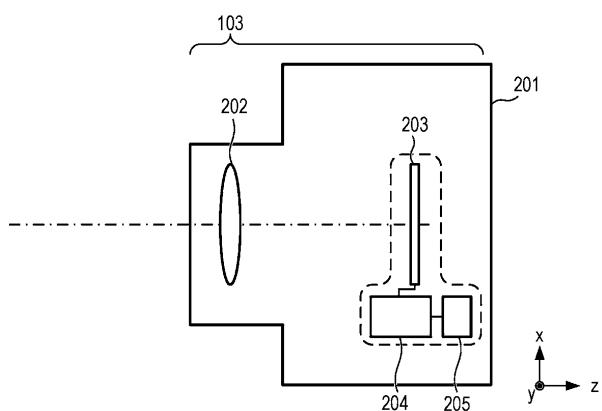
50

【図面】

【図 1】



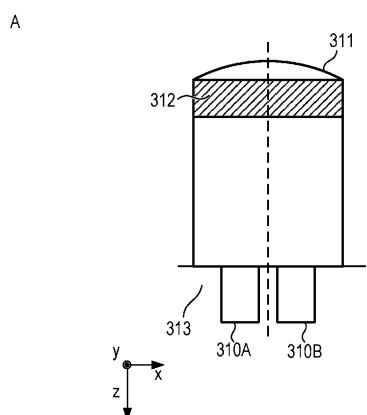
【図 2】



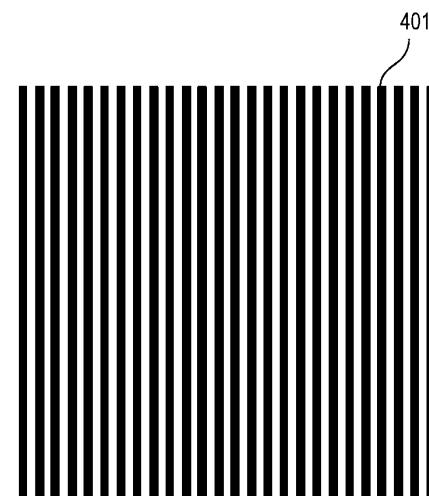
10

20

【図 3】

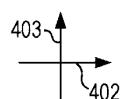
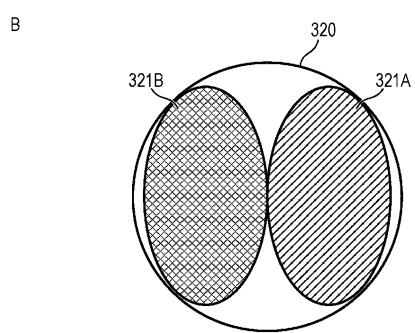


【図 4】



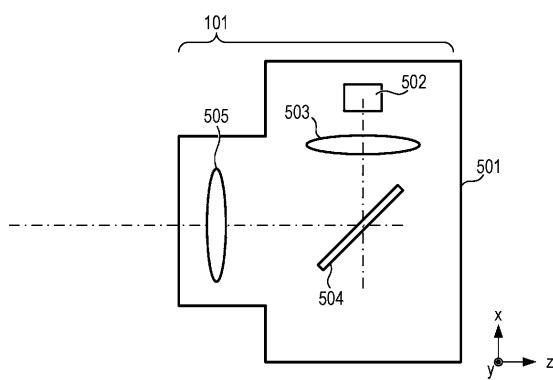
30

40

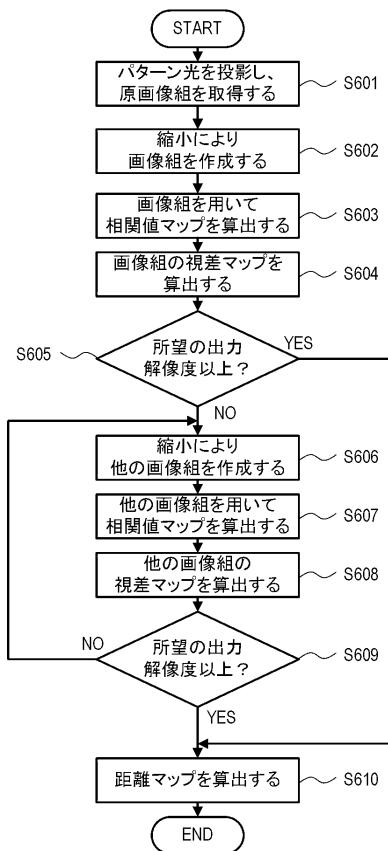


50

【図 5】



【図 6】



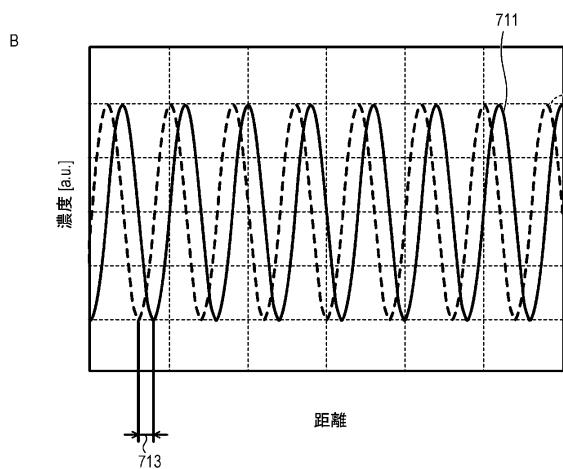
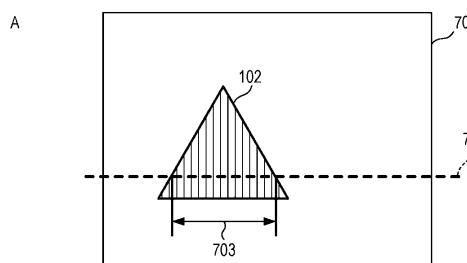
10

20

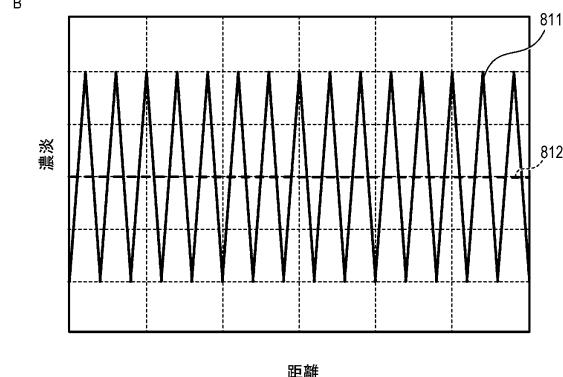
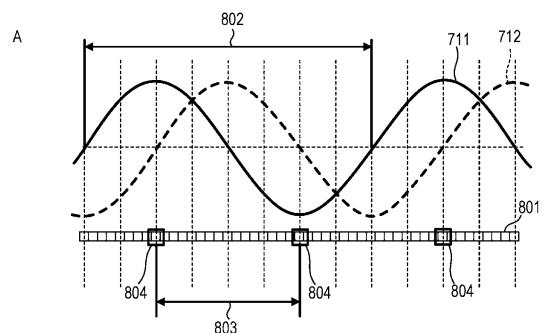
30

40

【図 7】

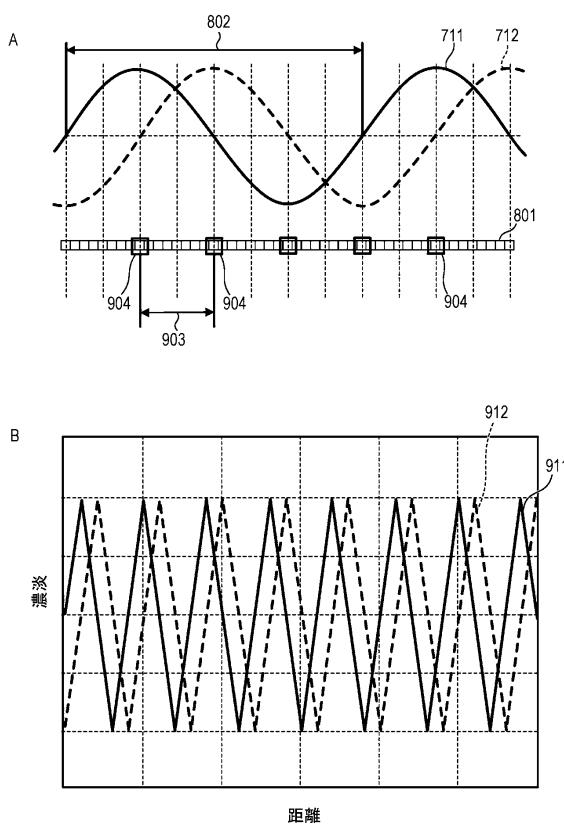


【図 8】

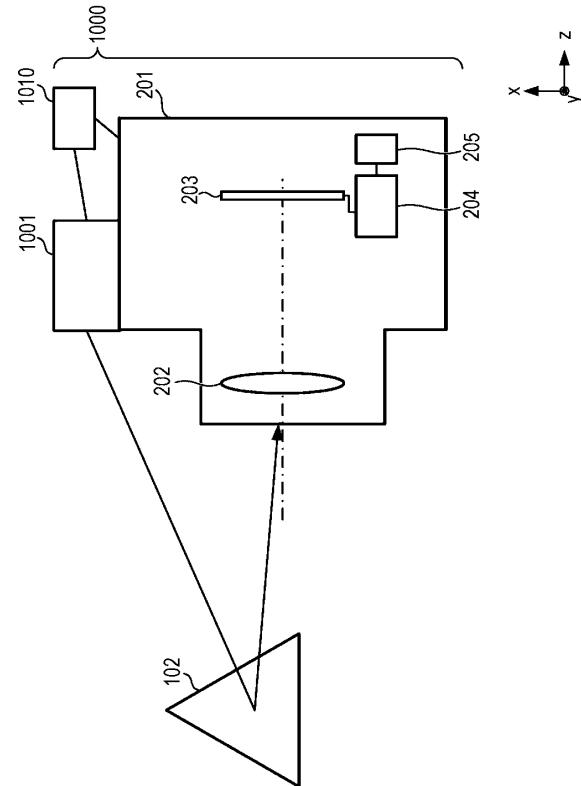


50

【図 9】



【図 10】



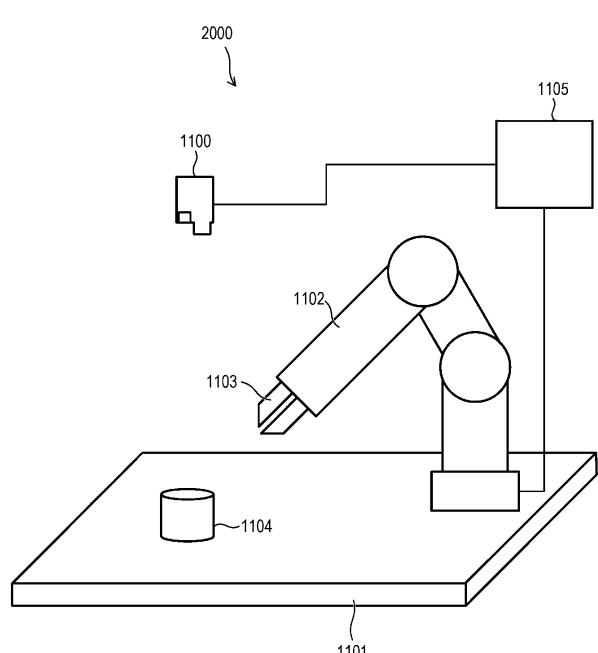
10

20

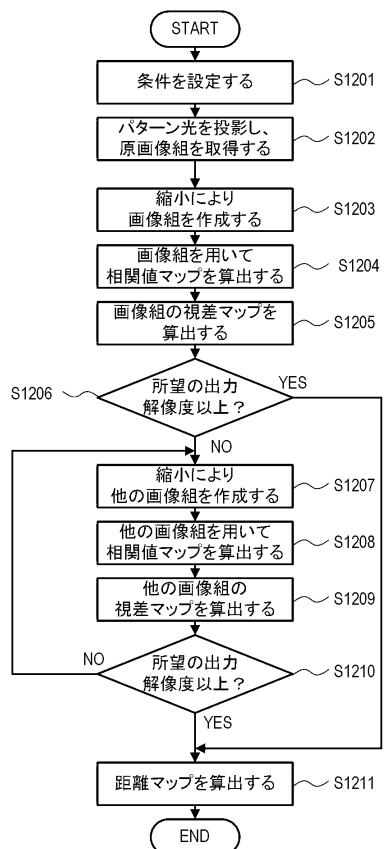
30

40

【図 11】

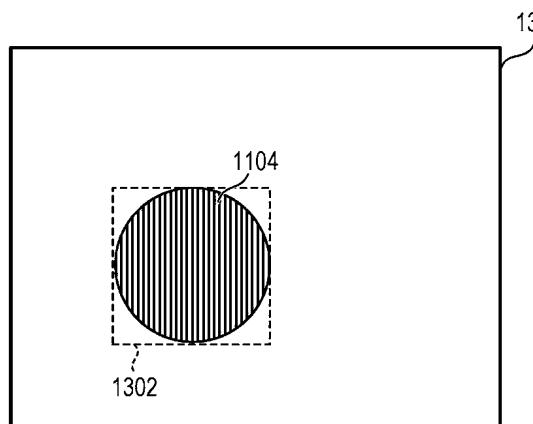


【図 12】

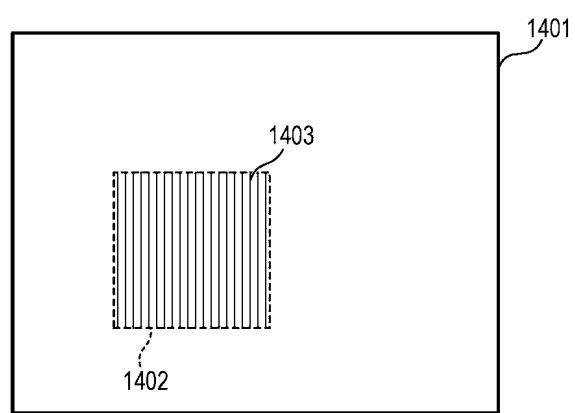


50

【図13】



【図14】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(56)参考文献

特開2003-187261(JP, A)
特開2015-137933(JP, A)
特開2007-213353(JP, A)
特開平10-031742(JP, A)
特開2016-024052(JP, A)
特開平07-103734(JP, A)
特開2015-173430(JP, A)
国際公開第2012/137511(WO, A1)
特開2016-095808(JP, A)
特開2008-082707(JP, A)
特表2016-514867(JP, A)
特開2004-184240(JP, A)
特開2017-027101(JP, A)
特開2005-292017(JP, A)
米国特許出願公開第2004/0222987(US, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G01C 3/00 - 3/32,
G01B 11/00 - 11/30,
G06T 7/521