

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6337677号
(P6337677)

(45) 発行日 平成30年6月6日(2018.6.6)

(24) 登録日 平成30年5月18日(2018.5.18)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 B 11/24 (2006.01) GO 1 B 11/24 K

請求項の数 5 (全 16 頁)

| | |
|--|---|
| <p>(21) 出願番号 特願2014-155876 (P2014-155876) (22) 出願日 平成26年7月31日 (2014. 7. 31) (65) 公開番号 特開2016-33463 (P2016-33463A) (43) 公開日 平成28年3月10日 (2016. 3. 10) 審査請求日 平成29年2月17日 (2017. 2. 17)</p> | <p>(73) 特許権者 000010098 アルプス電気株式会社 東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号 (73) 特許権者 504157024 国立大学法人東北大学 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 (73) 特許権者 511312469 東社シーテック株式会社 宮城県仙台市宮城野区銀杏町 3 1 - 2 4 (73) 特許権者 508122998 匠ソリューションズ株式会社 宮城県仙台市青葉区中央四丁目 6 番 1 号 S S 3 0 (74) 代理人 100085453 弁理士 野▲崎▼ 照夫</p> |
|--|---|

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 三次元測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コヒーレント光を基準面に照射して複数の参照スポットを形成する光照射部材と、参照スポット像を含む画像を取得する撮像部材と、判別部とが設けられており、

前記基準面では、複数の参照スポットが基準パターン上で規則的に配列し、被測定物体が前記光照射部材と前記基準面との間に位置したときに、前記基準パターン上に位置していた参照スポットが、被測定物体の表面に移動し、

参照スポットが被測定物体の表面に移動する際に、前記画像の連続する2つのフレームの間で参照スポット像が移動する距離は、移動後の参照スポット像と基準パターン上の他の参照スポット像との距離よりも短くなるように、撮像条件が、前記撮像部材の焦点距離 (f)、前記光照射部材と前記撮像部材との基線長 (B)、フレームレート ()、前記基準パターンでの参照スポット像の最短ピッチ (d)、ならびに前記基準面から垂直な方向での被測定物体の寸法または移動量、に基づいて決められており、

前記判別部では、前記画像上で参照スポット像が移動したら、移動後の参照スポット像が、基準パターン上に位置していた複数の参照スポット像のうちの最も距離が短いものから移動したと判定し、これにより被測定物体の存在が判別されることを特徴とする三次元測定装置。

【請求項 2】

以下の数 1 0 を使用することで、被測定物体の形状と寸法の少なくとも一方を求める請求項 1 記載の三次元測定装置。

【数 1 0】

$$-\frac{Z_{\min}^2 d}{2fB\cos\phi + Z_{\min}d} < \Delta Z_{\alpha}(t_k) < \frac{Z_{\min}^2 d}{2fB\cos\phi - Z_{\min}d}$$

ただし、 α は基準スポット像の配列方向とエビポーラ線との成す角度、 (Z_{\min}) はスポット像の Z 方向の移動最短距離、 $Z(t_k)$ は時刻 t_k における基準スポット像の Z 成分である。

【請求項 3】

以下の数 1 1 を使用することで、被測定物体の移動量を求める請求項 1 記載の三次元測定装置。

10

【数 1 1】

$$-\frac{Z_{\min}^2 vd}{2fB\cos\phi + Z_{\min}d} < \Delta V_{\alpha}(t_k) < \frac{Z_{\min}^2 vd}{2fB\cos\phi - Z_{\min}d}$$

ただし、 α は基準スポット像の配列方向とエビポーラ線との成す角度、 (Z_{\min}) はスポット像の Z 方向の移動最短距離、 $V(t_k)$ は時刻 t_k における被測定物体の Z 方向の移動速度である。

20

【請求項 4】

それぞれの参照スポットは、前記光照射部材から延びる照射線上に位置し、前記撮像部材による撮像方向が、それぞれの前記照射線と所定角を有して対向しており、

前記基準パターンに位置していた参照スポットが被測定物体の表面に移動したときに、画像上に現れる参照スポット像が、前記照射線に対応するエビポーラ線上を移動する請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の三次元測定装置。

【請求項 5】

前記基準パターンでは、複数の参照スポットが、互いに直交する行方向と列方向の双方に一定のピッチで配列しており、前記エビポーラ線は前記行方向と前記列方向の双方に対して所定の角度を成すように、基準パターンでの参照スポットの配列方向が決められている請求項 4 記載の三次元測定装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、基準面に複数の参照スポットを生成し、この参照スポットを撮像手段で取得することで、基準面の手前に現れる被測定物体を検知する三次元測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 に、コヒーレント光源を使用して被測定物体を検知する三次元測定装置に関する発明が記載されている。

40

【0003】

特許文献 1 に記載された三次元測定装置は、コヒーレント光源から生成されたランダムスペckルパターンが照明領域に照射され、照明領域からの光応答が画像化ユニットで検知される。被測定物体が照明領域に移動したときに得られるパターン画像と、被測定物体が存在していないときのランダムスペckルパターンの参照画像とでスペckルパターンのずれを検出し、三次元測量法を利用して、被測定物体の三次元マップを構築する、というものである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

50

【特許文献1】特許第5001286号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1に記載された三次元測定装置は、スペックルパターンがランダムに形成され、被測定物体が存在してスペックルパターンがずれたときは、参照画像で設定されていたランダムパターンの特徴の相対ずれを検出するものとなっている。

【0006】

この方法は、ランダムに配置された多数のスペックルパターンの相対位置関係を予め把握し、それぞれのスペックルパターンがどのように位置ずれしたかを相関アルゴリズムを使用して演算することが必要である。そのため、演算量が多くなり、CPUの負担が増大し、応答速度を速くするのに限界がある。

【0007】

本発明は上記従来の課題を解決するものであり、被測定物体を精度良く検知でき、しかも演算量が比較的少なくCPUなどの負担を軽減できる三次元測定装置を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、コヒーレント光を基準面に照射して複数の参照スポットを形成する光照射部材と、参照スポット像を含む画像を取得する撮像部材と、判別部とが設けられており、

前記基準面では、複数の参照スポットが基準パターン上で規則的に配列し、被測定物体が前記光照射部材と前記基準面との間に位置したときに、前記基準パターン上に位置していた参照スポットが、被測定物体の表面に移動し、

参照スポットが被測定物体の表面に移動する際に、前記画像の連続する2つのフレームの間で参照スポット像が移動する距離は、移動後の参照スポット像と基準パターン上の他の参照スポット像との距離よりも短くなるように、撮像条件が、前記撮像部材の焦点距離(f)、前記光照射部材と前記撮像部材との基線長(B)、フレームレート(\quad)、前記基準パターンでの参照スポット像の最短ピッチ(d)、ならびに前記基準面から垂直な方向での被測定物体の寸法または移動量、に基づいて決められており、

前記判別部では、前記画像上で参照スポット像が移動したら、移動後の参照スポット像が、基準パターン上に位置していた複数の参照スポット像のうちの最も距離が短いものから移動したと判定し、これにより被測定物体の存在が判別されることを特徴とするものである。

【0009】

本発明の三次元測定装置は、規則的に配列する複数の参照スポットを使用し、画像上でいずれかの参照スポット像の位置に変化が生じたときに、基準パターンにおいて最も近くに存在していた参照スポット像が移動元であると判定する。この判定では、少ない演算量で被測定物体を検知することができる。

【0012】

例えば、後に説明する数10を使用することで、被測定物の形状と寸法の少なくとも一方を求めることができ、後に説明する数11を使用することで、被測定物の移動量を求めることができる。

【0013】

本発明の三次元測定装置では、それぞれの参照スポットは、前記光照射部材から延びる照射線上に位置し、前記撮像部材による撮像方向が、それぞれの前記照射線と所定角を有して対向しており、前記基準パターンに位置していた参照スポットが被測定物体の表面に移動したときに、画像上に現れる参照スポット像が、前記照射線に対応するエピポーラ線上を移動するものとして構成できる。

【0014】

この場合に、前記基準パターンでは、複数の参照スポットが、互いに直交する行方向と

10

20

30

40

50

列方向の双方に一定のピッチで配列しており、前記エピポーラ線は前記行方向と前記列方向の双方に対して所定の角度を成すように、基準パターンでの参照スポットの配列方向が決められていることが好ましい。

【0015】

上記のように、エピポーラ線を行方向と列方向に対して所定の角度を成す向きに設定すると、エピポーラ線に沿う方向で隣り合う参照スポット像のピッチを長く確保でき、参照スポット像の移動量が比較的長くても、基準パターンのどの位置から移動してきたかを判別しやすくなる。

【発明の効果】

【0016】

本発明は、基準パターンにおいて参照スポットが規則的な配列となるように配置されており、被測定対象物が存在して画像上で参照スポット像が移動したときに、移動後の参照スポットが基準パターンにおいて最短距離の位置に存在していた参照スポット像から移動したものと判断する。これにより、比較的負担の少ない演算処理で、被測定物体を高精度に検知することができる。

【0017】

本発明は、画像上で、複数の参照スポット像のどれが移動したかを把握することで、被測定物体の形状と寸法を判別できる。また、画像上で、複数の参照スポット像のどれが移動したかを把握することで、被測定物体の移動を判別できる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明の実施の形態の三次元測定装置を示す斜視図、

【図2】図1に示す三次元測定装置を上方から見た平面図、

【図3】画像上での参照スポット像の移動を示す説明図、

【図4】基準面に形成される参照スポットの配列を示す説明図、

【図5】撮像部材の画面に表示された参照スポット像の配列と移動を示す説明図、

【図6】(A)(B)は、参照スポット像とエピポーラ線の向きとの関係を比較する説明図、

【発明を実施するための形態】

【0019】

図1と図2に示す三次元測定装置1は、基準面2と、この基準面2に対向する光照射部材10ならびに撮像部材20を有している。

【0020】

図1と図2に示す基準面2は平面であるが、基準面2は凹凸を有するものであってもよい。

【0021】

図1と図2には、基準座標としてX-Y-Z座標が示されている。X-Y面は基準面2と平行な面であり、X-Z面は基準面1と垂直な平面である。

【0022】

光照射部材10は、コヒーレント光源であるレーザ光源11と、レーザ光源から発せられる発散光束14aを平行光束14bに変換するコリメートレンズ12と、コリメートレンズ12で変換された平行光束14bが通過する透過型のホログラム素子13とを有している。レーザ光源11は、人が目視できない近赤外線の波長領域のレーザ光を発する。あるいは、可視光のレーザ光を発するものであってもよい。

【0023】

ホログラム素子13は位相型の回折格子であり、平行光束14bが回折されて、所定の発散角度を有する照射光束14cが形成され、照射光束14cが基準面2に与えられる。照射光束14cが基準面2に照射されると、基準面2に複数の基準参照スポット31が投影される。複数の基準参照スポット31は、前記レーザ光がホログラム素子13で回折されて形成されるものであり、図4に示す例では、基準面2に小丸形状の基準参照スポット

10

20

30

40

50

31が形成されている。基準参照スポット31の形状は小丸に限られるものではなく、任意の形状を選択できる。

【0024】

図4に示すように、平面である基準面2に形成されている基準参照スポット31が、規則的な投影パターンに従って配列されて、基準パターン30が形成される。ここでの「規則的」とは、いずれか1つの基準参照スポット31に着目したときに、その基準参照スポット31とそれぞれの方向で隣接する基準参照スポット31との方向ならびに距離の相対関係が、他の全ての基準参照スポット31において同じである関係を意味している。

【0025】

図4に示す基準パターン30では、基準参照スポット31が行方向と列方向へ一定のピッチで並ぶ正方格子状に配列している。行方向と列方向は、X-Y方向に対して傾いた状態で基準参照スポット31が照射されている。

【0026】

図2には、光照射部材10から基準面2に向けて照射される照射光束14cの照射基準線0aが示されている。照射基準線0aは、レーザ光源11とコリメートレンズ12ならびにホログラム素子13の光軸に一致している。照射基準線0aはX-Z平面と平行な面内に位置しており、図2の平面図に示すように、照射基準線0aは基準面2からの垂直線Hに対して90度未満の角度を有して配置されている。

【0027】

ホログラム素子13から基準面2に延びる照射光束14cの内部には、それぞれの基準参照スポット31に個別に対応する照射線15が含まれている。ホログラム素子13の回折現象で生成された複数の基準参照スポット31は、それぞれの照射線15と基準面2との交点に生成される。照射光束14cは発散光であるため、厳密には個々の照射線15が拡散角を有しているが、光照射部材10と基準面2との距離を十分に長く確保することで、図2に示すように、照射線15を互いにほぼ平行な配置関係として表すことができる。

【0028】

図1では、光照射部材10と基準面2との間に被測定物体5が入り込んだ状態が示されている。図1では被測定物体5が人の手である。被測定物体5が入り込むと、その表面に参照スポットが投影される。本明細書では、被測定物体5の表面に投影された参照スポットを移動参照スポット32と呼んでいる。図2に示すように、移動参照スポット32は、個々の照射線15と被測定物体5の表面との交点に生成される。

【0029】

図1と図2に示すように、撮像部材20はビデオカメラ21を有している。図2には、ビデオカメラ21の撮像基準線0bが示されている。撮像基準線0bはビデオカメラ21の撮像視野の中心線であり、カメラレンズの光軸に一致している。撮像基準線0bは、X-Z面と平行な面内に位置し、この面内において、撮像基準線0bは垂直線Hと平行に配置されている。その結果、照射基準線0aと撮像基準線0bとが、X-Z面と平行な面内で、角度を有して対向している。図2に示す実施の形態では角度は鋭角である。なお、前記角度を有していれば、照射基準線0aが垂直線Hと平行であってもよいし、照射基準線0aと撮像基準線0bの双方が垂直線Hと非平行であってもよい。また角度は鋭角に限られるものではない。

【0030】

図3には、ビデオカメラ21で撮像された画像21aが示されている。画像21aには基準参照スポット像31aと移動参照スポット像32aが映し出されている。ここでの基準参照スポット像31aと移動参照スポット像32aは、基準参照スポット31の反射光を取得した像と、移動参照スポット32の反射光を取得した像を意味している。

【0031】

照射基準線0aと撮像基準線0bとが所定の角度（は鋭角に限られない）で対向している結果、画像21aにおいては、移動参照スポット像32aが基準参照スポット像31aから延びるエピポーラ線E上に位置する。エピポーラ線Eは、画像21aにおいて、

10

20

30

40

50

基準参照スポット像 3 1 a とその基準参照スポット像 3 1 a が移動した移動参照スポット像 3 2 a とを結ぶ仮想の直線である。

【 0 0 3 2 】

図 2 に示すように、撮像部材 2 0 では、ビデオカメラ 2 1 で取得された画像が、フレーム (コマ) 毎にフレームメモリ 2 2 に蓄積される。フレームメモリ 2 2 には複数のフレーム分の画像が蓄積され、新たなフレームの画像が入力されると、最も古いフレームの画像が廃棄される。

【 0 0 3 3 】

フレームメモリ 2 2 に蓄積された画像 2 1 a はフレーム毎に画像分析部 2 3 に送られて画像が分析され、分析結果が判別部 2 4 に送られる。

10

【 0 0 3 4 】

次に、前記三次元測定装置 1 の測定動作について説明する。

三次元測定装置 1 では、基準面 2 に基準参照スポット 3 1 が投影されている状態で、ビデオカメラ 2 1 で画像が取得される。その画像は、1 フレーム毎にフレームメモリ 2 2 に蓄積され、画像分析部 2 3 では、前後のフレームの画像を比較してどの参照スポットが移動したかが分析される。

【 0 0 3 5 】

図 5 は、フレーム毎に取得される画像 2 1 a を説明するものであるが、この図には、互いに直交する横軸 u と縦軸 v が付加されている。横軸 u は、図 4 に示す基準面 2 における X 軸に対応し、縦軸 v は基準面 2 における Y 軸に対応している。画像 2 1 a において参照スポットが移動するエピポーラ線 E は、照射基準線 $O a$ と撮像基準線 $O b$ との対向状態により決まるもので、必ずしも横軸 u や縦軸 v と平行になるものではないが、図 2 と図 5 に示す実施の形態では、説明の都合上、参照スポットが移動するエピポーラ線 E が、横軸 u (X 軸) と平行となるように設定されている。

20

【 0 0 3 6 】

図 5 には、図 4 に示す基準参照スポット 3 1 の反射像である基準参照スポット像 3 1 a が白抜きの小丸で示されている。基準パターン 3 0 の照射領域に被測定物体 5 が存在していないときに取得される第 1 フレームの画像 2 1 a では、複数の基準参照スポット像 3 1 a が、正方格子状に規則的に配列した基準パターン像 3 0 a を構成している。

【 0 0 3 7 】

第 1 フレームに続く第 2 フレームの画像 2 1 a が取得されたときに、被測定物体 5 が存在してその表面に移動参照スポット 3 2 が照射されていると、画像 2 1 a に移動参照スポット像 3 2 a が現れる。この移動参照スポット 3 2 a は元の基準参照スポット像 3 1 a 上を通るエピポーラ線 E 上に位置する。図 5 では、第 2 フレームの画像 2 1 a に現れた移動参照スポット像 3 2 a が黒で塗られた小丸で示されている。

30

【 0 0 3 8 】

また、既に基準パターン 3 0 の照射領域に存在している人の手などの被測定物体 5 が、前記照射領域内で動いたときは、移動参照スポット像 3 2 a が、その移動参照スポット像 3 2 a の元の位置を通過するエピポーラ線 E 上を移動する。

【 0 0 3 9 】

図 5 に示すように、この三次元測定装置 1 では、第 1 フレームの画像 2 1 a で規則的に配置された基準参照スポット 3 1 a が動いておらず、次の第 2 フレームの画像 2 1 a に移動参照スポット像 3 2 a が現れたときに、第 1 フレームの基準参照スポット像 3 1 a と第 2 のフレームの測定対象となる移動参照スポット像 3 2 a との間のエピポーラ線 E 上での移動距離 $L 1$ が、第 1 フレームで既に取得されていた複数の基準参照スポット像 3 1 a のうちの移動元でない基準参照スポット像 3 1 a と測定対象である移動参照スポット像 3 2 a との最短距離 $L 2$ よりも短くなるように ($L 1 < L 2$ となるように) 撮像条件が決められている。

40

【 0 0 4 0 】

また、照射領域内に既に存在する被測定物体 5 が照射領域内で移動するときも、フレー

50

ム間で移動した測定対象となる移動参照スポット像 3 2 a のエピポーラ線 E 上での移動距離 L_1 が、先のフレームの複数の移動参照スポット像 3 2 a のうちの移動元でない他の移動参照スポット像 3 2 a と測定対象となる移動参照スポット像 3 2 a との最短距離 L_2 よりも短くなるように ($L_1 < L_2$ となるように) 撮像条件が決められている。

【0041】

前記条件 ($L_1 < L_2$) は、撮像部材 2 0 の焦点距離 (f)、光照射部材 1 0 と撮像部材 1 0 との基線長 (B)、フレームレート ()、基準参照スポット 3 1 の最短ピッチ (d)、ならびに基準面 2 から垂直な方向での被測定物体 5 の寸法または移動量に依存する。ここで、被測定物体 5 は通常は人の手であり、その大きさと移動速度、ならびに基準面 2 に対する Z 方向の操作位置を予め予測できる。そのため、撮像部材 2 0 の焦点距離 (f)、光照射部材 1 0 と撮像部材 2 0 との基線長 (B)、フレームレート ()、基準参照スポット 3 1 の最短ピッチ (d) を調整することで、前記条件 ($L_1 < L_2$) を満たすことが可能である。

10

【0042】

前記条件 ($L_1 < L_2$) が満たされていると、基準面 2 の手前に被測定物体 5 が存在して移動参照スポット像 3 2 a が現れたときに、その直前のフレームで得られた画像 2 1 a の複数の基準参照スポット像 3 1 a のうち、移動参照スポット像 3 2 a から最も近い位置にある基準参照スポット像 3 1 a を、その移動参照スポット像 3 2 a の移動元であると特定することができる。

【0043】

同様に、既に基準面 2 の手前に位置する被測定物体 5 が移動し、移動参照スポット像 3 2 a が移動したときにも、その直前のフレームで得られた画像 2 1 a の複数の移動参照スポット像 3 2 a のうち、対象となる移動参照スポット像 3 2 a から最も近い位置にある移動参照スポット像 3 2 a を、その移動参照スポット像 3 2 a の移動元であると特定することができる。

20

【0044】

画像 2 1 a 上で規則的に配列する基準参照スポット像 3 1 a と移動参照スポット像 3 2 a には、それぞれが区別できるように予め識別記号が付されている。この識別符号は座標点を表す番号などである。移動参照スポット像 3 2 a は、移動すると座標点が変わるため、識別符号が変化し、対応する移動参照スポット像 3 2 a の識別符号がフレーム間で相違してしまう。ただし、判別部 2 4 では、移動後の移動参照スポット像 3 2 a から最も近い距離に存在していた基準参照スポット像 3 1 a または移動参照スポット像 3 2 a の識別記号が、移動した参照スポット像 3 2 a のものであると特定することが可能になる。

30

【0045】

多数の基準参照スポット像 3 1 a または移動参照スポット像 3 2 a のうちの移動した参照スポットを特定することで、被測定物体 5 の形状や、被測定物体 5 がどの方向へ移動しているかなどを、判別部 2 4 で判別できるようになる。

【0046】

この特定方法は、ランダムに配列した参照スポットを使用した従来例に比べて演算処理を軽減できる。さらに、画像上でエピポーラ線 E を特定できなくても、移動元の基準参照スポット像 3 1 a を特定できるため、被測定物体 5 の位置や移動を測定する演算処理を容易に行うことができる。

40

【0047】

図 5 に示す実施の形態では、照射線 1 5 に相当しているエピポーラ線 E が u 軸方向に延びているが、基準パターン像 3 0 a の行方向と列方向は、u 軸と v 軸と平行になっていない。すなわちエピポーラ線 E は、行方向ならびに列方向に角度を有して延びている。基準パターン像 3 0 a とエピポーラ線 E との関係がこのように設定されていると、前記条件 ($L_1 < L_2$) を、さらに設定しやすくなる。

【0048】

図 6 (A) は、エピポーラ線 E と、基準パターン像 3 0 a の行方向とが一致している例

50

を示し、図 6 (B) は、エピポーラ線 E が、行方向と列方向に対して 45 度の角度に延びている例を示している。図 6 (A) では、基準参照スポット像 3 1 a とその次のフレームで得られた移動参照スポット像 3 2 a との距離が $(d/2)$ を超えないように前後のフレームの取得時間を設定しないと、移動参照スポット像 3 2 a がどの基準参照スポット像 3 1 a から移動したのかが解らなくなる。 (d) は基準参照スポット像 3 1 a の配列ピッチである。

【 0 0 4 9 】

これに対し、図 6 (B) では、移動参照スポット像 3 2 a と基準参照スポット像 3 1 a との距離が $(d/2)$ を超えたとしても、最短距離に有った基準参照スポット像 3 1 a を移動元であると特定することができる。

10

【 0 0 5 0 】

よって、エピポーラ線 E の方向を、行方向と列方向に対して $45 \text{度} \pm$ (は 45度 未満) の角度に設定しておくことで、フレームレートが低くても、移動参照スポット像 3 2 a の最短距離に有った基準参照スポット像 3 1 a を移動元であると特定できるようになる。

【 0 0 5 1 】

図 5 に示す例のように、移動参照スポット像 3 2 a が現れたときに、または移動参照スポット像 3 2 a が移動したときに、その移動参照スポット像 3 2 a が、移動元の基準参照スポット像 3 1 a を中心とした一辺の長さが (d) である四角形領域 3 5 の内部に位置するようにフレームレートやその他の撮像条件を設定すれば、移動参照スポット像 3 2 a から最短に位置していた基準参照スポット像 3 1 a を移動元であると特定することが可能である。

20

【 0 0 5 2 】

次に、前記条件 $(L_1 < L_2)$ を成立させるためのパラメータを説明する。

図 5 に示すように、基準パターン像 3 0 a 上では基準参照スポット像 3 1 a が正方格子状に配列しており、行方向と列方向での基準参照スポット像 3 1 a のピッチが d である。エピポーラ線 E の向きは u 軸と平行であり、エピポーラ線 E と行方向の成す角度は ϕ である。 ϕ は、 $-(\pi/4) < \phi < (\pi/4)$ である。

【 0 0 5 3 】

以下では、 i 行で j 列に位置する基準参照スポット像 3 1 a を識別記号 $m_{\alpha}(i, j)$ で表し、行方向においてその前後に位置する基準参照スポット像 3 1 a の識別記号をそれぞれ、 $m_{\alpha+}(i, j+1)$ 、 $m_{\alpha-}(i, j-1)$ で表している。

30

【 0 0 5 4 】

時刻 $t = t_{k-1}$ のフレームにおける $m_{\alpha}(i, j)$ の基準参照スポット像 3 1 a の座標を以下の数 1 とすると、 $m_{\alpha+}(i, j+1)$ と $m_{\alpha-}(i, j-1)$ の基準参照スポット像 3 1 a は、まとめて $m'_{\alpha\pm}$ として、以下の数 2 で表すことができる。

【 0 0 5 5 】

【数 1】

$$m'_{\alpha}(t_{k-1}) = (u'_{\alpha}(t_{k-1}), v'_{\alpha}(t_{k-1}))$$

40

【 0 0 5 6 】

【数 2】

$$\begin{aligned} m'_{\alpha\pm}(t_{k-1}) &= (u'_{\alpha\pm}(t_{k-1}), v'_{\alpha\pm}(t_{k-1})) \\ &= (u'_{\alpha}(t_{k-1}) \pm d \cos \phi, v'_{\alpha}(t_{k-1}) \pm d \sin \phi) \end{aligned}$$

【 0 0 5 7 】

次のフレーム取得時刻 $t = t_k = t_{k-1} + \Delta t$ における $m_{\alpha}(i, j)$ の基準参照ス

50

ポット像 3 1 a の座標は、 $m' (t_k) = (u' (t_k), v' (t_k))$ である。
 $u' (t_k)$ と $v' (t_k)$ は、以下の数 3 で表される。

【 0 0 5 8 】

【 数 3 】

$$\begin{aligned} u'_\alpha(t_k) &= u'_\alpha(t_{k-1}) + \Delta u'_\alpha(t_k) \\ &= u'_\alpha(t_{k-1}) + fB \frac{\Delta Z_\alpha(t_k)}{Z_\alpha(t_{k-1})Z_\alpha(t_k)} \end{aligned}$$

$$v'_\alpha(t_k) = v'_\alpha(t_{k-1})$$

10

【 0 0 5 9 】

数 3 における $Z (t_{k-1})$, $Z (t_k)$ は、それぞれ、時刻 t_{k-1} ならびに t_k における (i, j) の基準参照スポット像 3 1 a の $u-v-Z$ の三次元座標上の Z 成分である。なお、 $u-v$ 座標は画像座標であり、 Z は世界座標(空間座標)の Z 成分である。すなわち $u-v$ と Z は別々の座標系である。 f はビデオカメラ 2 1 の焦点距離であり、 B は光照射部材 1 0 と撮像部材 2 0 との基線長である。また、 $Z (t_k) = Z (t_{k-1}) - Z (t_{k-1})$ であり、 $u' (t_k) = u' (t_{k-1}) - u' (t_{k-1})$ である。

【 0 0 6 0 】

20

図 5 に示す距離 L_1 , L_2 は、以下の数 4 で定義でき、さらに数 5 に整理できる。

【 0 0 6 1 】

【 数 4 】

$$\begin{aligned} L_1 &= |m'_\alpha(t_k) - m'_\alpha(t_{k-1})| \\ L_2 &= \min_{\beta=\{\alpha+, \alpha-\}} |m'_\alpha(t_k) - m'_\beta(t_{k-1})| \end{aligned}$$

【 0 0 6 2 】

30

【 数 5 】

$$\begin{aligned} L_1 &= |\Delta u'_\alpha(t_k)| \\ L_2 &= \sqrt{(|\Delta u'_\alpha(t_k)| - d \cos \phi)^2 + d^2 \sin^2 \phi} \end{aligned}$$

【 0 0 6 3 】

ここで、 $L_1 < L_2$ となる条件を探すと、数 5 から、 $v' (t_k)$ に対して以下の数 6 の条件が導かれる。

【 0 0 6 4 】

40

【 数 6 】

$$|\Delta u'_\alpha(t_k)| < \frac{d}{2 \cos \phi}$$

【 0 0 6 5 】

また、図 3 を用いて $Z (t_k)$ に対する条件式を求めると、 $2 f B \cos \phi - Z (t_{k-1}) d > 0$ の場合には、以下の数 7 となる。

【 0 0 6 6 】

【数7】

$$-\frac{Z_{\alpha}(t_{k-1})^2 d}{2fB\cos\phi + Z_{\alpha}(t_{k-1})d} < \Delta Z_{\alpha}(t_k) < \frac{Z_{\alpha}(t_{k-1})^2 d}{2fB\cos\phi - Z_{\alpha}(t_{k-1})d}$$

【0067】

$2fB\cos\phi - Z_{\alpha}(t_{k-1})d < 0$ のときは、視差が以下の数8を満たすため、 $Z_{\alpha}(t_k)$ の上限がなくなり、数9となる。

【0068】

10

【数8】

$$D_{\alpha}(t_{k-1}) = \frac{fB}{Z_{\alpha}(t_{k-1})} < \frac{d}{2\cos\phi}$$

【0069】

【数9】

$$-\frac{Z_{\alpha}(t_{k-1})^2 d}{2fB\cos\phi + Z_{\alpha}(t_{k-1})d} < \Delta Z_{\alpha}(t_k)$$

20

【0070】

被測定物体5が存在しているときのZ成分の範囲を Z_{\min} 、 Z_{\max} とすると、 $Z = Z_{\min}$ のときに数7は最も厳しい条件を与え、以下の数10となる。

【0071】

【数10】

$$-\frac{Z_{\min}^2 d}{2fB\cos\phi + Z_{\min}d} < \Delta Z_{\alpha}(t_k) < \frac{Z_{\min}^2 d}{2fB\cos\phi - Z_{\min}d}$$

【0072】

30

以上から、焦点距離 (f)、基線長 (B)、基準パターン30aの配列ピッチ (d) と角度 () ならびに、基準参照スポット像31aのZ方向の移動最短距離 (Z_{\min}) を調整することで、条件 ($L1 < L2$) を実現できる。数10で、条件 ($L1 < L2$) を実現することで、どの基準参照スポット像31aが動いたかを知ることができ、その結果、被測定物5の寸法と形状とを把握することができる。

【0073】

なお、被測定物5が既に基準パターン30の照射領域に有り、フレーム間で被測定物5が移動する場合には、

$Z_{\alpha}(t_k)$ の代わりに、被測定物体5のZ方向の移動速度である $V_{\alpha}(t_k) = Z_{\alpha}(t_k) / t$ を用いて数10を書き換えると、以下の数11となる。数11の t はフレームレートであり、 $t = 1 / \Delta t$ である。

40

【0074】

【数11】

$$-\frac{Z_{\min}^2 v d}{2fB\cos\phi + Z_{\min}d} < \Delta V_{\alpha}(t_k) < \frac{Z_{\min}^2 v d}{2fB\cos\phi - Z_{\min}d}$$

【0075】

以上から、焦点距離 (f)、基線長 (B) フレームレート ()、基準パターン30a

50

の配列ピッチ (d) と角度 (θ) ならびに、基準参照スポット像 3 1 a の Z 方向の移動最短距離 (Z_{min}) を調整することで、条件 ($L_1 < L_2$) を実現可能な操作対象の動作速度を定義することができる。数 1 1 で、条件 ($L_1 < L_2$) を実現することで、被測定物 5 の移動量を把握できる。

【 0 0 7 6 】

前記実施の形態では、基準参照スポット像 3 1 a と移動参照スポット像 3 2 a との距離 L_1 を算出して、最も近い距離に存在していた基準参照スポット 3 1 a と移動参照スポット像 3 2 a とを関連付けている。しかし、本発明は、基準参照スポット像 3 1 a および移動参照スポット像 3 2 a の座標を比較することで距離を算出するのではなく、距離の算出手法を変えても良い。具体的には各スポット像の座標変換を行った後に比較を行っても良い。

10

【 0 0 7 7 】

例えば、光照射部材 1 0 から照射されるスポット像を片方の画像とみなすことで、撮像部材 2 0 とのステレオ系として考えることができる。この場合には、光照射部材 1 0 から出射されるスポット像と撮像部材 2 0 内のスポット像の間の変換を表す射影変換行列を定義することができるため、射影変換を行ってスポット像を整列させた後に距離を算出することができる。

【 0 0 7 8 】

ここでの射影変換行列とは、ステレオ画像間の点の変換行列を意味している。レーザー・カメラ系も、レーザーの投光パターンを片方の画像とみなすことでステレオ系と考えることができるため、投光パターンとカメラ画像内のレーザー点の間の変換を表す射影変換行列を定義することができる。

20

【 0 0 7 9 】

その際には、各フレームで用いる射影変換行列は、前フレームで求めた射影変換行列を、前後フレーム両方のスポット像に対して用いるものとする。

【 0 0 8 0 】

前後フレームで共通の射影変換行列を用いる理由は、それぞれのフレームで求めた射影変換行列を用いてそれぞれのスポット像を変換したとすると、変換先の基準参照スポット像 3 1 a が同一であるため、両方のフレームのスポット像が重なることになる。射影変換行列を求める際に、基準参照スポット像 3 1 a と移動参照スポット像 3 2 a とが正しく対応付けされていなければ問題ないが、対応付けができていない際には変換後のスポット像が行または列ごとずれて重なってしまう。この場合は、フレーム間のスポット像の対応付けは最も近い距離のものを対応付ける最近傍探索というよりも、基準参照スポット像 3 1 a の対応付けの問題になってしまう。

30

【 0 0 8 1 】

なお、射影変換は各スポット像を全て含む画像全体に対して一回行うか、または画像を分割し、その分割されたそれぞれの領域で射影変換行列を行い、結果を組み合わせる、のいずれかを選択すれば良い。

【 0 0 8 2 】

射影変換を用いた演算プロセスは以下の通りである。

40

仮想画像上の 番目の格子点座標を (u, v)、カメラ画像上の対応する格子点座標を (u', v')、カメラ画像座標を仮想画像に変換する射影変換行列を以下の数 1 2 とすると、変換式は数 1 3 で与えられる。数 1 3 での s はスカラーである。

【 0 0 8 3 】

【数 1 2】

$$H = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & 1 \end{bmatrix}$$

【0 0 8 4】

【数 1 3】

$$s \begin{bmatrix} u_\alpha \\ v_\alpha \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} u'_\alpha \\ v'_\alpha \\ 1 \end{bmatrix}$$

10

【0 0 8 5】

射影変換行列 H の自由度は 8 であり、4 つ以上の仮想画像とカメラ画像上の格子点の組があれば、最小二乗法により H を求めることができる。

【0 0 8 6】

【数 1 4】

20

$$\mathbf{x}_\alpha = \begin{bmatrix} u_\alpha \\ v_\alpha \end{bmatrix}$$

$$w_\alpha = \begin{bmatrix} u'_\alpha & v'_\alpha & 1 & 0 & 0 & 0 & u'_\alpha u_\alpha & v'_\alpha v_\alpha \\ 0 & 0 & 0 & u'_\alpha & v'_\alpha & 1 & u'_\alpha u_\alpha & v'_\alpha v_\alpha \end{bmatrix}$$

30

$$\mathbf{h} = [h_1 \ h_2 \ h_3 \ h_4 \ h_5 \ h_6 \ h_7 \ h_8]^T$$

数 1 4 での T は配置を示す。

【0 0 8 7】

【数 1 5】

$$X = [x_1^T \ x_2^T \ \dots \ x_\beta^T]^T$$

40

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_\beta \end{bmatrix}$$

【0 0 8 8】

数 1 5 のように定義すると、4 の場合に、h を数 1 6 のように求めることができる

50

。ここで W^+ は W の疑似逆行列を表す。

【 0 0 8 9 】

【 数 1 6 】

$$h = W^+ X$$

【 0 0 9 0 】

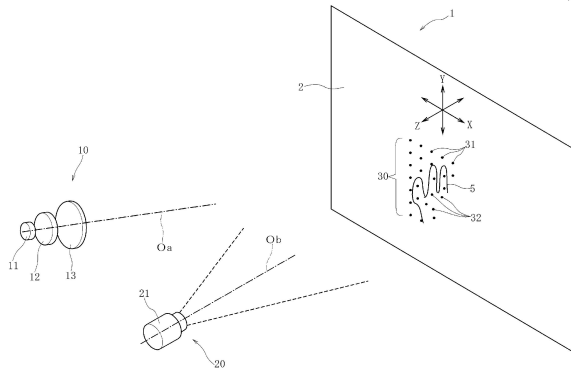
この射影変換行列を使用する手法は、被測定物が既にレーザーの照射範囲にあり、フレーム間で被測定物が移動する場合でも同様に計算できる。

【 符号の説明 】

【 0 0 9 1 】

- | | | |
|-------|-----------|----|
| 1 | 三次元測定装置 | |
| 2 | 基準面 | |
| 5 | 被測定物体 | |
| 1 0 | 光照射部材 | |
| 1 1 | レーザー光源 | |
| 1 2 | コリメートレンズ | |
| 1 3 | ホログラム素子 | |
| 1 5 | 照射線 | |
| 2 0 | 撮像部材 | |
| 2 1 | ビデオカメラ | 20 |
| 3 0 | 基準パターン | |
| 3 0 a | 基準パターン像 | |
| 3 1 | 基準参照スポット | |
| 3 1 a | 基準参照スポット像 | |
| 3 2 | 移動参照スポット | |
| 3 2 a | 基準スポット像 | |
| E | エピポーラ線 | |
| O a | 照射基準線 | |
| O b | 撮像基準線 | |

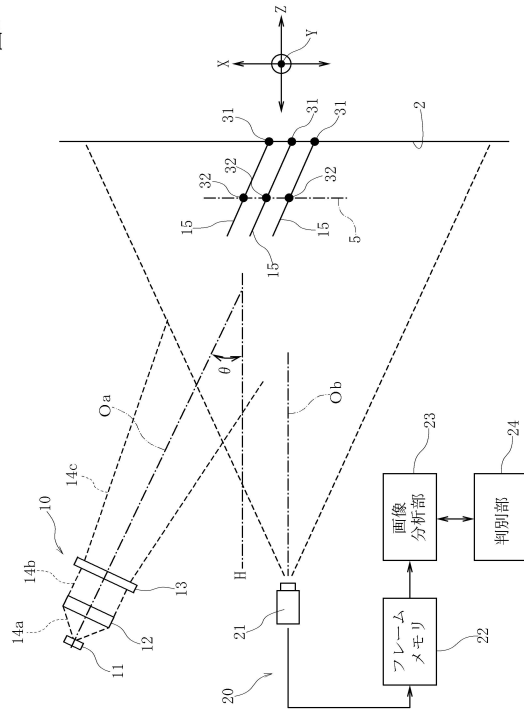
【図1】



【図2】

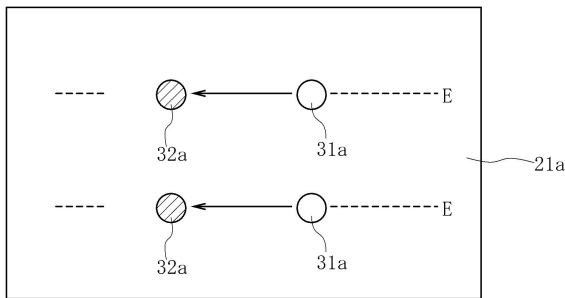
図1

図2



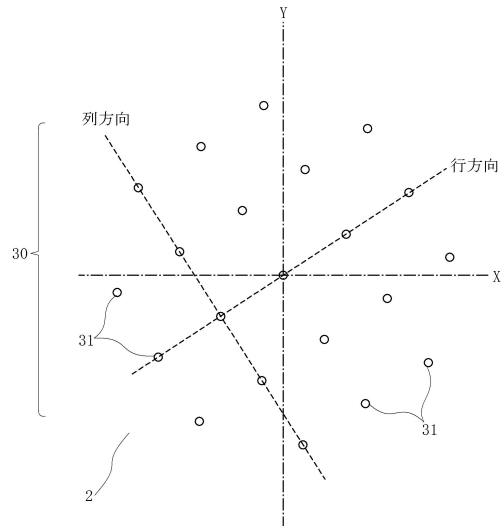
【図3】

図3



【図4】

図4



【 図 5 】

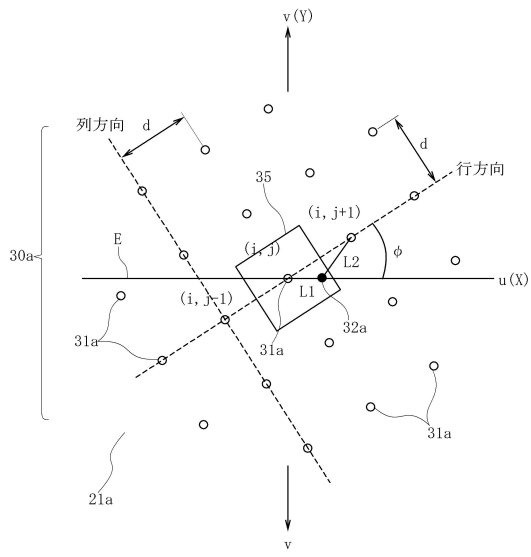


図5

【 図 6 】

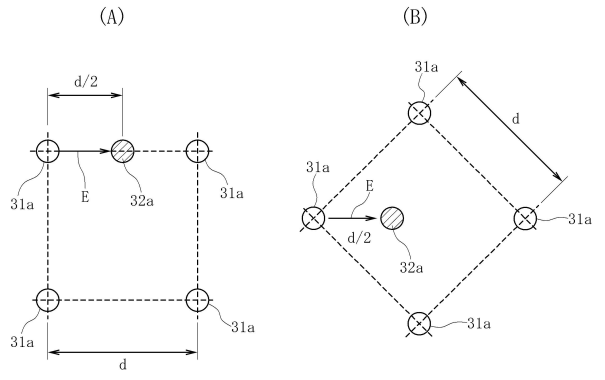


図6

フロントページの続き

- (74)代理人 100108006
弁理士 松下 昌弘
- (72)発明者 青木 孝文
宮城県仙台市青葉区片平2-1-1 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 遊佐 秀作
宮城県仙台市青葉区片平2-1-1 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 伊藤 康一
宮城県仙台市青葉区片平2-1-1 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 酒井 修二
宮城県仙台市青葉区片平2-1-1 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 関口 尚大
宮城県仙台市宮城野区銀杏町3-1-24 東杜シーテック株式会社内
- (72)発明者 鈴木 智浩
宮城県仙台市宮城野区銀杏町3-1-24 東杜シーテック株式会社内
- (72)発明者 後藤 拓喜
宮城県仙台市宮城野区銀杏町3-1-24 東杜シーテック株式会社内
- (72)発明者 岩本 正美
宮城県仙台市青葉区中央4-6-1 匠ソリューションズ株式会社内
- (72)発明者 安藤 弘一
宮城県仙台市青葉区中央4-6-1 匠ソリューションズ株式会社内

審査官 三好 貴大

- (56)参考文献 特開平03-042507(JP,A)
特開2002-122417(JP,A)
特開2005-246033(JP,A)
特開2002-122416(JP,A)
DIPANDA, Albert et al., Efficient correspondence problem-solving in 3-D shape reconstruction using a structured light system, Optical Engineering, SPIE, 2005年 9月27日, Vol. 44(9), 093602, pp. 1-14
- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01B 11/00-11/30