

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

特許第3446020号
(P3446020)

(45) 発行日 平成15年9月16日 (2003. 9. 16)

(24) 登録日 平成15年7月4日 (2003. 7. 4)

(51) Int.Cl.⁷

G 0 1 B 11/24

識別記号

F I

G 0 1 B 11/24

K

請求項の数1 (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2000-70269 (P2000-70269)
(22) 出願日 平成12年3月14日 (2000. 3. 14)
(65) 公開番号 特開2001-264031 (P2001-264031A)
(43) 公開日 平成13年9月26日 (2001. 9. 26)
審査請求日 平成12年3月14日 (2000. 3. 14)

早期審査対象出願

前置審査

(73) 特許権者 396019376
和歌山大学長
和歌山県和歌山市栄谷930
(72) 発明者 藤垣 元治
和歌山県和歌山市木ノ本694-1
(72) 発明者 森本 吉春
大阪府泉南郡田尻町りんくうポート北5
-17

(74) 代理人 100072051
弁理士 杉村 興作

審査官 山下 雅人

(56) 参考文献 特開 平7-35644 (J P , A)
特開 平10-96606 (J P , A)
特開 平4-147001 (J P , A)
特開2000-46530 (J P , A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 形状計測方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 3以上の基準面を、法線方向に略垂直な方向において所定の間隔を置いて設定する工程と、2次元格子が描かれた複数の基準平板を、それぞれ前記基準面の位置に順次に配置する工程と、前記複数の基準平板上に描かれた前記2次元格子を、撮像装置によって順次に撮影して格子画像を得、前記複数の基準平板上における前記2次元格子の座標位置を位相データとして順次蓄積する工程と、前記複数の基準平板上に画像投影装置から2次元格子を順次投影するとともに、前記投影された2次元格子を、撮像装置によって順次に撮影して格子画像を得、前記投影された2次元格子の座標位置を位相データとして蓄積する工程と、前記画像投影装置及び前記撮像装置の設置位置を固定し

た状態において、前記複数の基準平板を除去する工程と、前記基準面の最外方の2つの間に、計測すべき物体を配置する工程と、前記画像投影装置からの光線と前記撮像装置からの視線とを前記物体の表面上において交差させる工程と、前記光線及び前記視線の、前記物体表面上での交差位置から、前記基準面の、前記交差位置に最も近接した第1の基準面及び第2の基準面を選択する工程と、前記光線及び前記視線が前記物体表面上で交差した状態において、前記光線の、前記第1の基準面及び前記第2の基準面と交わる座標位置、及び前記視線の、前記第1の基準面及び前記第2の基準面と交わる座標位置を、前記2次元格子の座標位置に関する前記位相データから導出し、前記交差位置の座標を演算する工程と、を具える

ことを特徴とする、形状計測方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、形状計測方法に関し、さらに詳しくは、工場ライン検査及び人体形状計測の分野における非接触の形状計測に対して好適に使用することが可能な、形状計測方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、非接触において物体の3次元形状を計測する方法として、前記物体に所定の格子を投影し、異なる角度からその格子を撮影して得られた画像を解析することにより3次元形状を求める格子投影法が用いられている。この格子投影法は、具体的には、(1)物体に所定の格子を投影する工程と、(2)この投影された格子を撮影して格子画像を得る工程と、(3)この格子画像を解析し、格子位相値を計算する工程と、(4)この格子位相値から3次元座標を計算する工程と、からなる。

【0003】上記(1)及び(2)の工程における精度は、投影及び撮影に使用するプロジェクタやCCDカメラなどの性能によって決定される。また、(3)の工程における精度を向上させるために、フーリエ変換位相シフト法が好ましく用いられている。この方法は、ノイズの影響をほとんど無視することができ、極めて精度良く格子画像を解析することができる。

【0004】(4)の工程における精度を向上させるためには、3次元座標の計算においては、この格子画像解析においては、撮像装置であるCCDカメラや光照射装置であるプロジェクタなどのレンズ中心位置や光軸の向きなどの光学系パラメータを精度良く求めることが要求される。この要求に答えるべく、本発明者らは、基準面である2次元格子が描かれた基準平板を用い、この基準平板の格子画像を解析することにより得た位相分布を用いることにより、前記光学パラメータを精度良く求められることを見出した。この計測方法に関しては、本発明者らの出願によって特許を取得している(特許第2913021)。

【0005】図1は、本発明者らによる計測方法を説明するための概念図である。最初に、2次元格子が描かれた2つの基準面 R_0 及び R_1 を準備する。次いで、これら基準面の格子画像をCCDカメラ1によって撮影する。これらの格子画像は、図示しない演算処理機においてフーリエ変換されて、所定の位相分布に変換される。基準面に描かれている2次元格子のそれぞれの格子点における座標位置は既知であるので、CCDカメラの各画素に対応する2次元格子の位相値がわかれば、その画素に撮影されている基準面上の点の座標が得られることになる。基準面 R_0 及び R_1 上における座標位置は前記演算処理機中に位相データとして蓄積される。

【0006】また、基準面 R_0 及び R_1 にプロジェクタ

2から2次元格子を投影し、その2次元格子画像をCCDカメラ1によって撮影する。これらの格子画像も、図示しない演算処理機においてフーリエ変換されて、所定の位相分布に変換される。この位相分布から、プロジェクタから投影されている2次元格子の各投影線がCCDカメラのどの画素に撮影されているのかを求めることができる。CCDカメラの各画素に対応する基準面 R_0 及び R_1 上の座標はすでにわかっているため、プロジェクタからの各投影線が基準面 R_0 及び R_1 上に投影されている点の座標を求めることができる。基準面 R_0 及び R_1 上におけるプロジェクタから投影された2次元格子の座標位置も前記演算処理機中に位相データとして蓄積される。なお、CCDカメラ1とプロジェクタ2の位置は、基準面を撮影する場合も物体の形状計測を行う場合も、はじめに設置した状態のまま移動させないこととする。

【0007】物体の形状計測は、基準面 R_0 及び R_1 間に物体3を配置し、この物体3にプロジェクタ2から2次元格子を投影する。このときCCDカメラ1とプロジェクタ2の位置は、前述したようにはじめに設置した状態のまま移動させない。プロジェクタ2から2次元格子が投影されている物体3をCCDカメラ1で撮影すると、光線 L_p が投影されている点 S がCCDカメラ3の視線 L_c 上に存在し、視線 L_c に対応した画素に撮影される。上記説明で述べているように、その画素に撮影されている基準面 R_0 及び R_1 上の点 C_0 及び C_1 の座標は、演算処理機中に蓄積された位相データよりそれぞれ得られることになり、視線 L_c が点 C_0 及び C_1 を通る直線として精度よく求まることになる。

【0008】また、光線 L_p の持つ位相は、物体に投影された格子を撮影した格子画像から求めることができる。上記説明で述べたように、光線 L_p が基準面 R_0 及び R_1 とそれぞれ交わる点 P_0 及び P_1 の座標は、演算処理機中に蓄積された位相データよりそれぞれ得られることになり、光線 L_p が点 P_0 及び P_1 を通る直線として精度よく求まることになる。したがって、物体上の点 S は、視線 L_c と光線 L_p の交点として得ることができる。物体表面の各点において同様の操作を行うことにより、物体の形状計測を行うことができる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記のような方法においても、計測しようとする物体の大きさなどによっては、正確な光学パラメータを求めることができず、これにより、前記物体の形状を非接触で精度良く計測できない場合があった。

【0010】本発明は、上記問題のない新規な形状計測方法を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成すべく、本発明は、3以上の基準面を、法線方向に略垂直な方向

において所定の間隔を置いて設定する工程と、2次元格子が描かれた複数の基準平板を、それぞれ前記基準面の位置に順次に配置する工程と、前記複数の基準平板上に描かれた前記2次元格子を、撮像装置によって順次に撮影して格子画像を得、前記複数の基準平板上における前記2次元格子の座標位置を位相データとして順次蓄積する工程と、前記複数の基準平板上に画像投影装置から2次元格子を順次投影するとともに、前記投影された2次元格子を、撮像装置によって順次に撮影して格子画像を得、前記投影された2次元格子の座標位置を位相データとして蓄積する工程と、前記画像投影装置及び前記撮像装置の設置位置を固定した状態において、前記複数の基準平板を除去する工程と、前記基準面の最外方の2つの間に、計測すべき物体を配置する工程と、前記画像投影装置からの光線と前記撮像装置からの視線とを前記物体の表面上において交差させる工程と、前記光線及び前記視線の、前記物体表面上での交差位置から、前記基準面の、前記交差位置に最も近接した第1の基準面及び第2の基準面を選択する工程と、前記光線及び前記視線が前記物体表面上で交差した状態において、前記光線の、前記第1の基準面及び前記第2の基準面と交わる座標位置、及び前記視線の、前記第1の基準面及び前記第2の基準面と交わる座標位置を、前記2次元格子の座標位置に関する前記位相データから導出し、前記交差位置の座標を演算する工程と、を具えることを特徴とする、形状計測方法に関する。

【0012】本発明者らは、上述したような基準面を用いる形状計測方法において、物体の大きさなどに依存してこの物体の形状が正確に計測できなくなる原因を探るべき鋭意検討を行った。その結果、計測しようとする物体を前記基準面より離して配置すればするほど、前記物体の形状誤差が大きくなることを見出した。すなわち、ある一つの物体に対して基準面を設定し、この基準面を用いて前記物体よりも小さい物体の形状を計測しようすると、この物体は必然的に前記基準面より離れて配置されることになる。したがって、この小さい物体の形状計測においては誤差が大きくなってしまふことを見出した。

【0013】そこで、本発明者らは、計測しようとする物体の大きさに対応させて随時基準面の設定を行うことを試みた。しかしながら、このような方法では、前記基準面の設定に伴う座標位置の位相データへのフーリエ変換などに長時間を要してしまい、これによって計測に長時間を要してしまうという新たな問題を生じさせてしまっていた。したがって、本発明者らは、新たな形状計測方法を見出すべく鋭意検討を行った。

【0014】その結果、本発明者らによる上記計測方法において、従来用いていた2つの基準面に代えて3つ以上の基準面を予め設定しておき、計測すべき物体が配置された箇所に最も近接する任意の基準面を選出し、この

基準面を利用することによって前記物体の形状計測を実施することを想到した。本発明は、上述した原因の発見と、この原因に基づく新たな形状計測方法の探索の結果としてなされたものである。

【0015】したがって、本発明によれば、物体の大きさが変化した場合においても、その大きさに適合するように、前記物体に最も近接する基準面を用いて前記物体の形状を計測することができる。このため、物体形状の計測精度を飛躍的に向上させることができる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明を発明の実施の形態に基づいて詳細に説明する。図2及び3は、本発明の形状計測方法を説明するための概念図である。なお、図2及び3における、図1と同様の部分については同様の符号を用いて表している。

【0017】最初に、図2に示すように、2次元格子が描かれた基準面 $R_0 \sim R_{N-1}$ ($N \geq 3$ の自然数)を、これら基準面の法線方向に所定の間隔を置いて設定する。なお、図中においては、便宜上、前記法線方向をZ方向にとってある。そして、基準面 $R_0 \sim R_{N-1}$ のそれぞれに対するZ方向座標軸での座標位置 $Z_0 \sim Z_{N-1}$ を図示しない所定の演算処理機に記憶させておく。

【0018】次いで、2次元格子の描かれた基準平板を基準面 $R_0 \sim R_{N-1}$ 位置に順次設置にし、それぞれの位置において、前述したように描かれている2次元格子の位相分布と、プロジェクタから投影された2次元格子の位相分布をフーリエ変換することによって求め、それぞれ前記演算処理機中の位相データの形で蓄積する。つまり、この操作により、基準面 $R_0 \sim R_{N-1}$ の位置における、CCDカメラの各視線が通る座標と、プロジェクタの各投影線が通る座標の全てを求めることになる。なお、この操作終了後、基準平板は除去する。

【0019】その後、計測すべき物体3を互いに最も離れて位置する基準面 R_0 及び R_{N-1} 間に配置する。そして、前記同様にして、CCDカメラ1の視線 L_C とプロジェクタ2から発射される光線 L_P とを物体3の表面上において交差させる。この交差点を S' とする。この交差点 S' の位置は、上述した本発明者らによる従来の計測方法にしたがって、CCDカメラ1及びプロジェクタ2の位置に対応した、基準面 R_0 及び R_{N-1} 上における座標位置 P_0 及び C_0 、並びに P_{N-1} 及び C_{N-1} より求めることができる。すなわち、これらの座標位置から交差点 S' のZ方向座標軸における座標位置 $Z_{S'}$ を知ることができる。

【0020】次に、前記演算処理機には、各基準面のZ方向座標位置が記憶されているため、座標位置 $Z_{S'}$ に最も近接する Z_i 座標位置及び Z_{i+1} 座標位置の2つの基準面 R_i 及び R_{i+1} を選出する。その後は、従来の方法と同様にして、CCDカメラ1及びプロジェクタ2の位置に対応した、基準面 R_i 及び R_{i+1} の座標位置

P_i 及び C_i 、並びに P_{i+1} 及び C_{i+1} の前記演算処理機による計算から、物体3の表面の点Sの座標を求め、これによって物体3の形状を計測するものである。

【0021】図4は、本発明にしたがって、大きさが150×150mmである平面形状の物体の形状計測を実施した場合の計測誤差を示す図である。図から明らかなように、本計測は、基準面の法線方向（Z方向）において、 $R_0 \sim R_5$ の5つの基準面を20mmの等間隔で配置し、前記物体をZ方向における所定の位置に配置した場合の結果を示したものである。また、図5は、基準面 R_0 及び R_5 のみを用い、上記同様にして物体の形状計測を実施した場合の計測誤差を示す図である。

【0022】図4及び5から明らかなように、基準面 R_0 及び R_5 のみを用いた場合においては、基準面 R_0 及び R_5 から離れるにつれて、すなわち、これら基準面から前記物体が離れて配置されるにつれて、計測誤差が増大するのが分かる。これに反して、基準面 $R_0 \sim R_5$ を用いた本発明の計測方法においては、基準面 R_0 及び R_5 の間においてほぼ一定の計測誤差を示すことが判明した。そして、この計測誤差は、基準面 R_0 及び R_5 を用いる従来の計測方法に対してほぼ1/3程度以下に減少していることが分かる。すなわち、本発明の形状計測方法によれば、計測すべき物体に最も近接した基準面を使用することにより、前記物体の大きさによらず、前記物体形状を正確に計測できることが分かる。

【0023】図6は、本発明の形状計測方法を実施するために好適に用いることのできる、計測装置の一例を示す図である。図6に示す形状計測装置は、撮像装置としてのCCDカメラ1と、画像投影装置としてのプロジェクタ2と、画像表示装置としての液晶ディスプレイ4と、この液晶ディスプレイ4を支持するための移動手段である移動ステージ5とを具えている。

【0024】CCDカメラ1及びプロジェクタ2は、図2及び3に示すように互いに並列に配置するとともに、液晶ディスプレイ4と対向するように配置されている。そして、移動ステージ5は、液晶ディスプレイ4をCCDカメラ1及びプロジェクタ2に向けて連続的に移動できるようになっている。液晶ディスプレイ4上には、演算処理機6からの信号を受けて所定の2次元格子が画面上に映しだされるようになっており、液晶ディスプレイの画面自体が基準面を構成するように設定されている。また、CCDカメラ1、プロジェクタ2、液晶ディスプレイ4、及び移動ステージ5の位置並びに照射強度などのすべての動作は、演算処理機6によって行われる。

【0025】図6に示す形状計測装置を用いた形状計測は、以下のようにして行う。最初に、移動ステージ5によって液晶ディスプレイ4をCCDカメラ1及びプロジェクタ2に向けて、所定の距離だけ数段階（ $N-1:N$

3）移動させる。そして、各移動段階において、液晶ディスプレイ4の画面上に表示された2次元格子の格子画像をCCDカメラ1で撮影する。これによって、実質上基準面をN個設定したことになる。

【0026】上述した形状計測装置においては、基準平板を液晶ディスプレイの画面上に表示された2次元格子から構成し、この液晶ディスプレイを所定の距離だけ数段階移動するように構成している。このため、単一の液晶ディスプレイのみで所定の間隔だけ離隔された複数の基準面上に基準平板を設定することができ、これによって、装置構成を単純化することができる。

【0027】本発明の形状計測装置においては、基準面を液晶ディスプレイの画面上に表示された2次元格子から構成し、この液晶ディスプレイを所定の距離だけ数段階移動するように構成している。このため、単一の液晶ディスプレイのみで所定の間隔だけ離隔された複数の基準面を設定することができ、これによって、装置構成を単純化することができる。

【0028】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の形状計測方法によれば、任意の大きさの物体形状を高精度で計測できることが分かる。

【0029】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の形状計測方法及び形状計測装置によれば、任意のおおきさの物体形状を高精度で計測できることが分かる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 従来の形状計測方法を説明するための概念図である。

【図2】 本発明の形状計測方法を説明するための概念図である。

【図3】 同じく、本発明の形状計測方法を説明するための概念図である。

【図4】 本発明の形状計測方法によって物体形状を計測した場合の、計測誤差を示すグラフである。

【図5】 従来の形状計測方法によって物体形状を計測した場合の、計測誤差を示すグラフである。

【図6】 本発明の方法に用いる形状計測装置の一例を示す図である。

【符号の説明】

1 CCDカメラ

2 プロジェクタ

3 形状計測物体

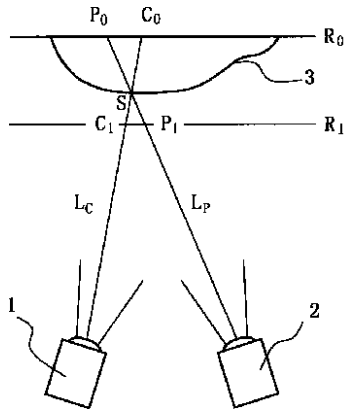
4 液晶ディスプレイ

5 移動ステージ

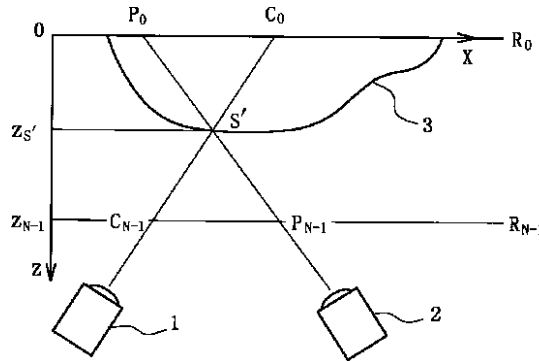
6 演算処理機

$R_0 \sim R_{N-1}$ 基準面

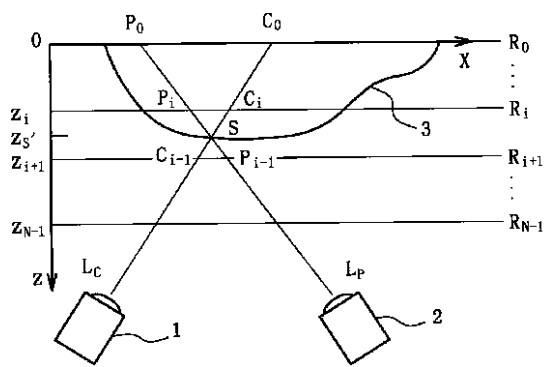
【図1】



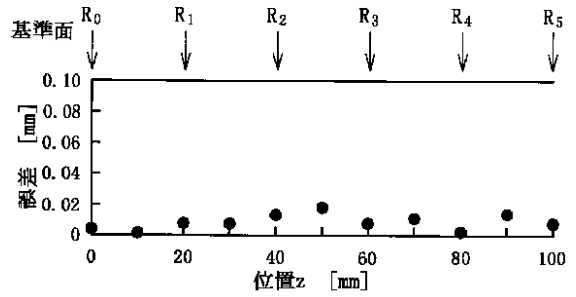
【図2】



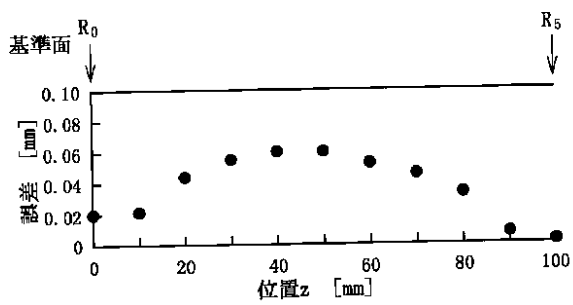
【図3】



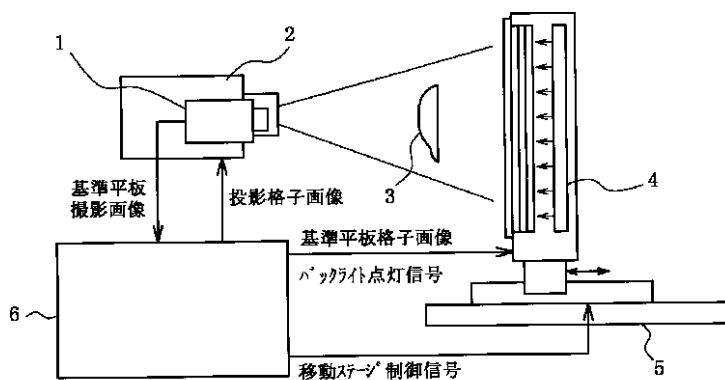
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.7, DB名)

G01B 11/00 - 11/30