

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6858878号
(P6858878)

(45) 発行日 令和3年4月14日(2021.4.14)

(24) 登録日 令和3年3月26日(2021.3.26)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 B 11/24 (2006.01) GO 1 B 11/24 K
GO 6 T 7/33 (2017.01) GO 6 T 7/33

請求項の数 17 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2019-545948 (P2019-545948)	(73) 特許権者	505377430
(86) (22) 出願日	平成30年2月7日 (2018.2.7)		クオリティー ヴィジョン インターナシ ョナル インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2020-509370 (P2020-509370A)		Quality Vision Inte rnational, Inc.
(43) 公表日	令和2年3月26日 (2020.3.26)		アメリカ合衆国 ニューヨーク州 146 21 ロチェスター ハドソン アヴェニ ュー 850
(86) 国際出願番号	PCT/US2018/017191		
(87) 国際公開番号	W02018/160326	(74) 代理人	100085556
(87) 国際公開日	平成30年9月7日 (2018.9.7)		弁理士 渡辺 昇
審査請求日	令和2年3月6日 (2020.3.6)	(74) 代理人	100115211
(31) 優先権主張番号	62/464, 620		弁理士 原田 三十義
(32) 優先日	平成29年2月28日 (2017.2.28)	(74) 代理人	100153800
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		弁理士 青野 哲巳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3Dモデルの試験対象物への自動アライメント

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

カメラの視軸を含む座標軸を有するマシンビジョンシステムにおいて3DのCADモデルを試験対象物にアライメントする方法であって、

測定したい試験対象物のフィーチャに対応するCADモデルのフィーチャを露出させるように、前記マシンビジョンシステムのモデルウィンドウにおいて前記3DのCADモデルを方向付ける工程と、

前記試験対象物を前記マシンビジョンシステムのステージ上に、前記3DのCADモデルの方向とほぼ一致する方向に載置する工程と、

前記ステージ上の試験対象物の画像を前記カメラで撮影し、前記カメラの視軸に垂直な基準面における周辺境界を抽出する工程と、

対応する基準面における前記3DのCADモデルのシルエット境界を抽出する工程と、
 フィッティングアルゴリズムを用いて、前記3DのCADモデルの前記シルエット境界を、前記対応する基準面において前記試験対象物の前記周辺境界とマッチングするように、相対的に位置決めする工程と、

前記3DのCADモデルにおける点の座標を、前記対応する基準面内で前記視軸に沿って参照された前記試験対象物の対応する点の座標とマッチングさせる工程と、

を備え、

前記対応する基準面における前記3DのCADモデルのシルエット境界を抽出する工程が、さらに、

10

20

前記 C A D モデルの 3 D の三角形メッシュのうちの可能性を有するシルエットエッジから、全線分を集める工程と、

前記可能性を有するシルエットの線分を、前記カメラの視線方向を用いて 2 D に投影する工程と、

前記線分に 2 D の候補輪郭点を生成する工程と、

前記候補輪郭点と一致する第一位置から、第二のシフト位置へと移動可能な試験点を生成する工程と、

前記シフト位置にある各試験点が、前記 C A D モデルの三角形メッシュの他の面によって覆われているか否かを判定し、前記第二のシフト位置にある試験点がいずれの他の面によっても覆われていない 2 D の候補輪郭点を、真の輪郭点であるとする工程と、

を備えた方法。

【請求項 2】

前記シフトした第二位置において、いずれの他の面によっても覆われていない試験点上のエッジのセットを有する、最小全域木を生成する工程をさらに備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

点生成密度よりも長い前記最小全域木のエッジのサブセットを捨てる工程をさらに備え、前記最小全域木のエッジの残りのサブセットが、前記 3 D の C A D モデルの真の輪郭の線分であることを特徴とする請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

フィッティングアルゴリズムを用いて、前記最小全域木のエッジの残りのサブセットを前記試験対象物の周辺境界にフィットさせる工程、をさらに備えたことを特徴とする請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記 3 D の C A D モデルが頂点によって結ばれた線を含み、前記シルエット境界を抽出する工程が、前記対応する基準面における前記 3 D の C A D モデルの境界よりも内側にある線を除去する工程を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記 3 D の C A D モデル上で測定対象のフィーチャを選択する工程と、

前記対応する基準面内で視軸に沿って参照される前記試験対象物の対応する点の座標とマッチングする前記 3 D の C A D モデルの点の座標に基づいて、前記ステージと前記カメラのうち少なくとも一方を所望の位置に自動的に平行移動させる工程と、

前記 C A D モデルの選択されたフィーチャに対応する試験対象物のフィーチャを測定する工程と、

をさらに備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記 3 D の C A D モデル上で測定対象フィーチャを選択する工程と、

前記試験対象物の選択されたフィーチャを測定する前に、前記 C A D モデルの選択されたフィーチャの 1 以上の点の座標に基づいて、前記カメラを前記試験対象物に対して自動的に焦点合わせする工程と、

をさらに備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記ステージ上の試験対象物の画像を前記カメラで撮影する工程は、ビデオカメラを用いて、(i) 静止画像データ、および (i i) ビデオストリームからのフレームの画像データのうちの 1 つを提供する工程を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記ステージ上の前記試験対象物の画像を前記カメラで撮影する前に、前記試験対象物に背後から照明を当てる工程をさらに備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

前記 3 D の C A D モデル上で測定対象フィーチャを選択する工程と、

10

20

30

40

50

前記対応する基準面内で視軸に沿って参照される前記試験対象物の対応する点の座標とマッチングする前記3DのCADモデルの点の座標に基づいて、前記ステージと前記カメラのうち少なくとも一方を所望の位置に自動的に平行移動させる工程と、

前記カメラを自動的に焦点合わせする工程と、

前記CADモデルの前記選択されたフィーチャに対応する試験対象物のフィーチャを測定する工程と、

をさらに備えたことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項11】

3DのCADモデルを参照しマシンビジョンシステムで試験対象物の異なるフィーチャを測定する方法であって、

前記3DのCADモデルをモデルウィンドウにおいて方向付ける工程と、

ビデオカメラで前記試験対象物のビデオ画像を取得する工程と、

前記ビデオカメラの視軸に垂直な基準面における撮像された試験対象物の周辺境界を抽出する工程と、

3DのCADモデルのシルエット境界を、対応する基準面において前記試験対象物の周辺境界とマッチングするように相対的に位置決めする工程と、

前記3DのCADモデルにおける点の座標を、前記対応する基準面内で前記視軸に沿って参照される前記試験対象物の対応する点の座標と、マッチングさせる工程と、

モデルウィンドウ内で前記CADモデルのフィーチャを選択し、前記フィーチャの1以上の点の座標を同定する工程と、

前記モデルウィンドウ内で選択されたCADモデルのフィーチャに対応する試験対象物のフィーチャを測定する工程と、

を備えた方法。

【請求項12】

前記試験対象物のフィーチャを測定する前に、前記視軸に沿って参照される前記CADモデルの選択されたフィーチャの1以上の点の座標に基づいて、前記試験対象物に対する前記ビデオカメラの焦点を変える工程をさらに備えたことを特徴とする請求項11に記載の方法。

【請求項13】

前記対応する基準面内において前記視軸に沿って参照される前記CADモデルの選択されたフィーチャの1以上の点の座標に基づいて、前記試験対象物の照明条件を変える工程をさらに備えたことを特徴とする請求項11に記載の方法。

【請求項14】

前記ビデオカメラの視野(FOV)を調節して、測定すべき前記試験対象物の前記フィーチャが視野(FOV)内に収まるようにする工程を、さらに備えたことを特徴とする請求項11に記載の方法。

【請求項15】

前記ビデオカメラの被写界深度(DOF)を調節して、試験対象物の周辺境界が基準面に近いかなにかかわらず、前記試験対象物の周辺境界全体が焦点内にとどまるようにする工程を、さらに備えたことを特徴とする請求項11に記載の方法。

【請求項16】

前記ビデオカメラの前記視野(FOV)を調節する工程が自動的に行われることを特徴とする請求項14に記載の方法。

【請求項17】

前記ビデオカメラの前記被写界深度(DOF)を調節する工程が自動的に行われることを特徴とする請求項15に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

本発明は、マシンビジョンシステム技術の分野に関し、特に、試験対象物のフィーチャを測定するために、3DのCADモデルを試験対象物に自動的にアライメントすることに関する。

【背景技術】

【0002】

マシンビジョンシステムは、ステージに載置された試験対象物の画像をディスプレイ画面に投影する。現在のビジョン測定マシン(vision measuring machines)の多くが、測定対象の部品のビデオ画像に依存して、行うべき測定をユーザが選択できるようにしている。ユーザが測定される部品のある位置から別の位置へと移動すると、追加の測定対象フィーチャの選択に使えるように画質を維持するために、照明と焦点の調整がしばしば必要となる。特に、ビジョンの光軸に沿って深さがある部品の場合、測定点から測定点への焦点の変更には時間がかかる可能性がある。

10

【0003】

測定対象の部品のCAD図面が利用可能な場合は、QVI社のZone 3等の一部の測定ソフトウェアでは、ユーザが、ディスプレイパネルのモデルウィンドウで、行うべき測定を指示できるようになっている。測定対象の部品のCADモデルをコントローラにロードし、そして、そのCADモデルを、一連のガイドされた手動操作の工程によって、ビデオ画像とアライメントするのである。この手動の設定されたプロセスは時間がかかり、経験の浅いユーザには混乱を招きかねない。

【発明の概要】

20

【0004】

マシンビジョンシステムにおいて、3DのCADモデルを試験対象物にアライメント(位置合わせ)する方法を提供する。1つの形態では、本方法は、測定したい試験対象物のフィーチャに対応するマスタ対象物のフィーチャが露出するように、マシンビジョンシステムのモデルウィンドウにおいて3DのCADモデルを方向づける(orienting)工程と、試験対象物をマシンビジョンシステムの移動ステージ上に、3DのCADモデルの方向(orientation)とほぼマッチングする(合う;一致する)方向に載置する工程と、移動ステージ上の試験対象物の画像をカメラで撮影し、カメラの視軸(viewing axis)に垂直な基準面(datum plane; データム面)における周辺境界(peripheral boundary)を抽出する工程と、対応する基準面における3DのCADモデルのシルエット境界(silhouette boundary)を抽出する工程と、フィッティングアルゴリズムを用いて、対応する基準面における試験対象物の周辺境界とマッチングするように、3DのCADモデルのシルエット境界を相対的に位置づける工程と、3DのCADモデルの点の座標を、対応する基準面内で視軸に沿って参照される試験対象物の対応する点の座標とマッチングさせる(適合させる、合わせる)工程と、を含む。

30

【0005】

本方法は、さらに、CADモデルの3D三角形メッシュの可能性のあるシルエットエッジからの全線分を集める工程と、可能性のあるシルエット線分(silhouette line segments)を、カメラ視線方向(view direction)を用いて2Dに投影する工程と、線分に2Dの候補輪郭点(candidate contour points)を生成する工程と、候補輪郭点と一致する第一位置からシフトした第二位置へと移動可能な試験点(test points)を生成する工程と、シフトした位置にある各試験点が、CADモデルの3D三角形メッシュの隣接面によって覆われているかを判定する工程と、を含んでいてよい。ここで、いかなる隣接面によっても覆われないシフトした第二位置にある試験点に対応する2Dの候補輪郭点が真の輪郭点である。

40

【0006】

本方法はさらに、シフトした第二位置において、隣接面によって覆われない試験点上のエッジのセット(集合)を有する、最小全域木を生成する工程を含んでいてよい。

【0007】

1つの形態において、本方法はさらに、点生成密度(point generation density)より

50

も長い最小全域木のエッジのサブセットを捨てる工程を含んでいてよい。ここにおいて、最小全域木のエッジの残りのサブセットが3DのCADモデルの真の輪郭線分である。

【0008】

本方法は、さらに、フィッティングアルゴリズムを用いて、最小全域木のエッジの残りのサブセットを試験対象物の周辺境界にフィッティングさせる(合わせる、適合させる)工程を備えていてよい。

【0009】

1つの構成において、3DのCADモデルは頂点によって結ばれた線を含み、シルエット境界を抽出する工程は、対応する基準面における3DのCADモデルの境界よりも内側にある線を除去する工程を含む。

【0010】

本方法はさらに、3DのCADモデル上で測定対象フィーチャを選択する工程と、対応する基準面内で視軸に沿って参照される試験対象物の対応する点の座標にマッチングする3DのCADモデルの点の座標に基づいて、移動ステージとカメラのうち少なくとも一方を所望の位置に自動的に平行移動させる工程と、3DのCADモデルの選択されたフィーチャに対応する試験対象物のフィーチャを測定する工程と、を備えていてよい。

【0011】

1つの構成において、本方法はまた、3DのCADモデル上で測定対象フィーチャを選択する工程と、試験対象物上の選択されたフィーチャを測定する前に、3DのCADモデルの選択されたフィーチャの1以上の点の座標に基づいて、カメラを試験対象物に対して自動的に焦点合わせする工程と、を含んでいてよい。

【0012】

別の形態において、移動ステージ上の試験対象物の画像をカメラで撮影する工程は、ビデオカメラを用いて、(i)静止画像データ、および(ii)ビデオストリームからのフレームの画像データのうちの1つを提供する工程を含む。

【0013】

本方法はさらに、移動ステージ上の試験対象物の画像をカメラで撮影する前に、試験対象物にバックライトを当てる工程を備えていてよい。

【0014】

本方法はまた、3DのCADモデル上で測定対象フィーチャを選択する工程と、対応する基準面内で視軸に沿って参照される試験対象物の対応する点の座標とマッチングする3DのCADモデルの点の座標に基づいて、移動ステージとカメラのうち少なくとも一方を所望の位置に自動的に平行移動させる工程と、カメラを自動的に焦点合わせする工程と、CADモデルの選択されたフィーチャに対応する試験対象物のフィーチャを測定する工程と、を備えていてよい。

【0015】

さらに別の形態において、3DのCADモデルを参照するマシンビジョンシステムで試験対象物の異なるフィーチャを測定する方法は、ビデオカメラで試験対象物のビデオ画像を撮影する工程と、ビデオカメラの視軸に垂直な基準面における撮影された試験対象物の周辺境界を抽出する工程と、3DのCADモデルのシルエット境界を、対応する基準面において試験対象物の周辺境界とマッチングするように相対的に位置づける工程と、3DのCADモデルの点の座標を、対応する基準面内で視軸に沿って参照される試験対象物の対応する点の座標にマッチングさせる工程と、モデルウィンドウ内でCADモデルのフィーチャを選択し、同フィーチャの1以上の点の座標を同定する工程と、モデルウィンドウ内で選択されたCADモデルのフィーチャに対応する試験対象物のフィーチャを測定する工程と、を備えている。

【0016】

本方法はさらに、試験対象物のフィーチャを測定する前に、視軸に沿って参照されるCADモデルの選択されたフィーチャの1以上の点の座標に基づいて、試験対象物に対するビデオカメラの焦点を変える工程を備えていてよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 7 】

本方法はまた、対応する基準面内において視軸に沿って参照されるCADモデルの選択されたフィーチャの1以上の点の座標に基づいて、試験対象物の照明条件を変える工程をさらに備えていてよい。

【 0 0 1 8 】

本方法はまた、ビデオカメラの視野(FOV)を調整して、測定すべき試験対象物のフィーチャが視野(FOV)内に収まるようにする工程を備えていてよい。1つの形態において、ビデオカメラの視野(FOV)は自動的に調整される。

【 0 0 1 9 】

本方法はさらに、ビデオカメラの被写界深度(DOF)を調整して、試験対象物の周辺境界が基準面に近いかな否かにかかわらず、試験対象物の周辺境界全体が焦点内にとどまるようにする工程を備えていてよい。1つの形態においては、ビデオカメラの被写界深度(DOF)は自動的に調整される。

10

【 0 0 2 0 】

別の形態においては、3DのCADモデルを参照するマシンビジョンシステムで試験対象物の異なるフィーチャを測定する方法は、3DのCADモデル上で測定対象フィーチャを選択する工程と、対応する基準面内で視軸に沿って参照される試験対象物の対応する点の座標とマッチングする3DのCADモデルの点の座標に基づいて、移動ステージとカメラのうち少なくとも一方を所望の位置に自動的に平行移動させる工程と、カメラを自動的に焦点合わせする工程と、CADモデルの選択されたフィーチャに対応する試験対象物のフィーチャを測定する工程と、を備えている。

20

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 1 】

【図1】3DのCADモデルを試験対象物にアライメントするためのマシンビジョンシステムの実施形態を示す概略図である。

【 0 0 2 2 】

【図2】マシンビジョンシステムにおいて、3DのCADモデルを試験対象物にアライメントするための方法の工程を示すフローチャートである。

【 0 0 2 3 】

【図3】マシンビジョンシステムを用いて、試験対象物の異なるフィーチャを測定するための方法の工程を示すフローチャートである。

30

【 0 0 2 4 】

【図4】3DのCADモデルの三角形メッシュを例示的に示す図である。

【 0 0 2 5 】

【図5】候補輪郭点のセット(集合)を例示的に示す図である。

【 0 0 2 6 】

【図6】ある点が真の輪郭点であるか否かの判定に用いられる試験点のセットを例示的に示す図である。

【 0 0 2 7 】

【図7】真の輪郭点の例示的セットである。

40

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 8 】

図面を参照すると、図1は、試験対象物20のプロファイル生成に用いられるマシンビジョンシステム10の実施形態を示す。1つの構成例では、マシンビジョンシステム10はトップダウン光学システム(top-down optical system)である。マシンビジョンシステム10は、1つの構成例では、座標測定機であってよい。用いられる座標測定機の一例は、Optical Gaging Products, Inc.社のSmartscope Quest Series Model 650 CMMである。しかし、測定機能およびビデオ機能を備えた他のマシンビジョンシステムを用いてもよいことを、当業者は理解されたい。

【 0 0 2 9 】

50

マシンビジョンシステム10は、一般的には、光学撮像システム30、可動ステージ40、およびバックライト照明器50を含む。システム10はさらに、コンピュータ等の処理装置60を含む。この処理装置は、1以上のプロセッサ、メモリ、データベース、グラフィックスカード等を含むとともに、通常のパーソナルコンピュータのモニタ等のディスプレイパネル70、およびキーボードやマウス等のユーザ入力装置80を含む。システムはさらに、プリンタおよび追加のディスプレイパネル(図示せず)を含んでいてよい。処理装置60は、データ記憶媒体に記憶されたデータとしておよび/または処理装置60への信号入力として入力されたプログラミング命令に従って動作するように、プログラムされている。

【0030】

可動ステージ40は、試験対象物20を位置決めおよび移動するために、平行移動の3つの直交する軸X、Y、Zを有する多軸ステージを含んでいてよい。しかし、ステージ40はより少ない数の平行移動軸を含んでもよく、まったく移動不能であってもよいことを理解されたい。ステージ40は手動制御によって調節してよく、コントローラ130およびモータ、アクチュエータ等の自動位置決め手段により自動的に調節してよい。

【0031】

マシンビジョンシステム10は可動ステージを有していなくてもよい。光学撮像システム30がX軸、Y軸およびZ軸に沿って移動してもよい。ある構成では、可動ステージ40がY軸に沿ってのみ移動され、光学撮像システム30がX軸およびZ軸に沿って移動される。あるシステムでは、ステージが移動不能で、光学撮像システム30がZ軸に沿って移動され、ユーザが手動で部品をX軸およびY軸に沿って移動しなければならない。光学撮像システム30と可動ステージ40の位置が分かる限り、マシンビジョンシステム10に対する測定点の相対的位置を定義する、測定点のマシン座標を定めることができる。

【0032】

マシンビジョンシステム10の光学撮像システム30は、ビデオカメラ90を含んでいてよい。ビデオカメラ90は試験対象物20のビデオ画像をビューイング画面100に投影してもよい。しかし、スチールカメラ、レーザー3Dスキャナーや他のあらゆる装置を用いてもよいことを理解されたい。これら装置は、試験対象物20の画像データを取得し、この画像データを試験対象物データインターフェース110を介してマシンビジョンシステム10に送るように構成されている。1つの構成において、ビデオカメラ90は、試験対象物20のビデオ画像をビューイング画面100に投影する代わりに、またはそれに加えて、試験対象物20のビデオ画像をディスプレイパネル70に投影することを理解されたい。好ましくは、ビデオカメラ90は比較的大きな視野(FOV)を有する。視野が大きいため、試験部品20の境界を抽出(extract)するための所要時間を減らすことができる。ビデオカメラ90はまた、好ましくは、比較的大きな被写界深度(DOF)を有する。これにより、試験部品20の境界全体(基準面に近くない試験部品20のフィーチャを含む)で良好に焦点が合う。ある実施形態における光学的構成では、視野は100mm、使用可能な被写界深度は75mmである。

【0033】

ある構成では、試験対象物20はバックライト(プロファイル)照明器50によって背後から照らされる。バックライト照明器50は照明ビームを出力する光源である。この光源は、発光ダイオード(LED)、白熱電球、アーク灯、および照明ビームを作る光学部品等であってよい。ある構成では、ステージ40は検出領域(図示せず)を有する。照明光はこの検出領域を通り、試験対象物を背後から照らす。例えば、検出領域は1以上の開口部、及び/又は透明なガラス製の円形の領域を含んでいてよい。

【0034】

試験対象物20はいかなるワークピースであってもよく、特に、ユーザが測定を所望するフィーチャを有するワークピースであってよい。測定を必要とする試験対象物20のあるフィーチャの位置情報を生成するための情報は、好ましくは、試験対象物20のデザイン仕様を含む、デジタルマシンで読み取り可能な1以上のファイル120によりもたらさ

10

20

30

40

50

れる。デジタルマシンで読み取り可能なファイルは、コンピュータ支援設計（CAD）システムによって生成された試験対象物の3Dモデルであってよい。本明細書において、「3D」は三次元を意味し、「2D」は二次元を意味する。ユーザは予め存在する試験対象物20のデジタルマシンで読み取り可能なファイルを取得し、それを測定ソフトウェアのモデルウィンドウにロードする。

【0035】

ある構成において、デジタルファイル120は3DのCADモデルを含んでいてよい。それは様々な方法で表現することができ、試験対象物20の製造をガイドするためのトポロジーおよびフィーチャの描写を有するワイヤフレームモデル、サーフェスモデル、またはソリッドモデルを含む。好ましくは、3Dモデルの各サーフェスのワイヤフレームポリラインまたは3D境界ポリライン、例えば、STEPファイルが用いられる。しかし、ワイヤフレームは要件ではないことを当業者は理解されたい。メッシュのみのモデル、例えばSTLファイルを用いてもよい。デジタルファイル120が読み込まれると、試験対象物の3Dモデル（ここでは時にCADモデルと呼ぶ）が、ユーザによって基準面（datum plane; データム面）とアライメントされ、これにより、以下に詳述するように、上から見た時の測定対象のフィーチャが示される。基準面は、ビデオカメラの光軸と垂直であり、ステージ40の表面と平行である。従って、測定対象フィーチャの軸を光軸とほぼ平行にアライメントする必要がある。例えば、ユーザが、試験対象物20の表面に垂直に穿設された穴の直径および深さを測定したい場合には、ユーザは、測定対象の穴の軸が基準面とほぼ垂直になり、光軸とほぼ平行になるように、3Dモデルをアライメントする。同様に、試験対象物20を概ね同じ向き（orientation）にアライメントする。すなわち、試験対象物の穴の軸が光軸とほぼ平行で、ステージ40と基準面が光軸に垂直になるようにする。

【0036】

制御ユニット130は、コントローラであり、マシンビジョンシステム10のディスプレイパネルと可動ステージ40と光学撮像システム30を制御し、試験対象物20のビデオ画像を分析する。ユーザ入力/出力装置80も制御ユニット130に接続されている。

【0037】

ここで図1と図2を参照する。図2は、ある実施形態において、3DのCADモデルを試験対象物のビデオ画像に自動的にアライメントし、それによって試験対象物20そのものにアライメントするプロセスを示している。このプロセス200は、ステップ202にしたがい、ユーザが最初に、マシンビジョンシステム10の測定ソフトウェアのモデルウィンドウに、3Dモデルをロードする工程から開始してよい。次に、このプロセスは、ステップ204にしたがい上述したように3DのCADモデルを方向づけする工程を含む。試験対象物20の測定対象となるフィーチャに対応するCADモデルのフィーチャが露出される（exposed; さらされる）。例えば、ユーザは、測定対象フィーチャの軸が基準面とほぼ垂直になり、光軸とほぼ平行になるように、3Dモデルをアライメントしてよい。測定対象の試験部品のフィーチャに関する数字情報を、ユーザは一切知る必要がないことを理解されたい。次にユーザはステップ206にしたがい、試験対象物20をマシンビジョンシステム10の移動ステージ40に、3DのCADモデルの向きとほぼ一致する向きに載せる。移動ステージ40は、試験部品20の角度方向を3DのCADモデルの向きとマッチングするようアライメントするために、いかなる平面で移動させてもよい。

【0038】

あるいは、最初のステップとして、ユーザが試験対象物20をマシンビジョンシステム10の移動ステージ40に載置し、次にユーザがモデルウィンドウ内で3DのCADモデルを試験対象物の向きにほぼマッチングするように方向づけても良いことを、当業者は理解すべきである。ここで「マッチング（適合；一致）」とは、3DのCADモデルと試験対象物20が、x軸、y軸およびz軸に対してほぼ同じ位置に位置し、同一の対象フィーチャが視軸（viewing axis）に露出していることを意味する。しかし、3DのCADモデルと試験対象物20は厳密に方向付ける必要はないことを理解されたい。

【 0 0 3 9 】

ビデオ画像を撮る前に、ステージ 4 0 上に載置された試験対象物 2 0 にビデオカメラ 9 0 を向ける。このビデオカメラ 9 0 の向き (orientation) はマシンビジョンシステム 1 0 によって捉えられ、自動的に輪郭生成アルゴリズムに入力される。以下に述べる自動輪郭測定は前面照明では困難であり、背面照明の方が困難でない。そのため、ステージの下にあるバックライト 5 0 が用いられる。理想的には、ビデオカメラ 9 0 は試験対象物 2 0 の上方で垂直に向けられる。試験対象物 2 0 はその中央をビデオカメラ 9 0 の下方に位置合わせする必要がないことを、当業者は理解されたい。

【 0 0 4 0 】

ステップ 2 0 8 では、ビデオカメラ 9 0 の視軸に垂直な基準面において移動ステージ 4 0 に置かれた試験対象物 2 0 のビデオ画像を、ビデオカメラ 9 0 で撮影する。ある構成では、このビデオ画像は静止画像データを含む。別の構成では、ビデオ画像はビデオストリームからのフレームの画像データである。ユーザのコマンドにより、ステップ 2 1 0 では、周辺境界抽出手段 1 4 0 により試験対象物 2 0 の周辺境界を抽出する。すなわち、ある構成では、システム 1 0 はビデオ画像を用いて、二次元における試験対象物 2 0 の境界を測定する。試験対象物 2 0 の輪郭は、当該技術分野に公知のソフトウェアを用いて測定される。生成された試験対象物 2 0 の輪郭は、ユーザによる試験対象物 2 0 のおおよそのアライメントとカメラ 9 0 の現在の向きに基づく。

【 0 0 4 1 】

プロセス 2 0 0 はまた、以下に詳述するとおり、ステップ 2 1 2 にしたがって、シルエット境界抽出手段 1 5 0 により、対応する基準面における 3 D の C A D モデルのシルエット境界を抽出する。ある構成では、シルエット境界を測定する前に基準面において 3 D の C A D モデルを 2 D に圧縮する。3 D モデルのシルエット境界は、平面図としてユーザに呈示されてよい。マッチングモジュール 1 7 0 は、フィッティングアルゴリズム 1 6 0 を用いて、3 D の C A D モデルのシルエット境界を、対応する基準面における試験対象物 2 0 の周辺境界にマッチングさせる。ある構成では、ステップ 2 1 4 において、公知の最小二乗アルゴリズムが用いられる。試験対象物 2 0 、3 D の C A D モデル、および x 軸、y 軸、z 軸のマシン座標がリンクされ、座標割り当て手段 1 8 0 によって同じ共通の 2 D (二次元) の参照フレームにおける座標が割り当てられる。3 D の C A D モデルからの 2 D 基準面は、測定機の Z 基準点 (Z = 0) と同じ位置を割り当てられる。こうして、ステップ 2 1 6 では、3 D の C A D モデルの点の座標を、対応する基準面で視軸に沿って参照される試験対象物 2 0 の座標と同一視する (equate; 結び付ける)。試験対象物 2 0 の測定された座標は 3 D の C A D モデルの公称座標と完全にはマッチングしないことがあることを理解されたい。すなわち、最小二乗フィットは完全なアライメント (alignment; 位置合わせ) を提供しないことがある。試験対象物 2 0 の測定された座標は、公称座標におおむねマッチングしている。ユーザは、ディスプレイパネル 7 0 のモデルから測定する点を選択することができる。ビデオカメラ 9 0 は、異なる z 座標を有するフィーチャを測定するために、速やかに再フォーカスすることができる。おおよその z 座標が 3 D モデルで分かっているからである。ある構成では、ユーザはまた、試験部品 2 0 の測定対象フィーチャのために照明を変える必要がない。この方向付け (orientation) の過程により、ディスプレイパネル 7 0 のモデルウィンドウで 3 D の C A D モデルからフィーチャを選択するだけで、マシンビジョンシステム 1 0 を自動的に動かして、試験部品 2 0 の 3 D フィーチャを測定することが可能になる。

【 0 0 4 2 】

3 D の C A D モデルの仮想輪郭エッジ (ここでは、シルエットエッジとも称する) の生成は、三角形エッジに関する三角形隣接情報に基づく。より具体的には、3 D モデルにおける各サーフェスの 3 D 境界ポリラインを集める。ここで、各ポリラインは、頂点とこれら頂点間の線分の集合である。すなわち、ワイヤフレームポリラインからの全ての線分を集める。次に、3 D メッシュのシルエットエッジの全ての線分を集める。ある構成では、C A D モデルのメッシュは、例えば図 4 に示す C A D モデルボウルのような、C A D モデ

10

20

30

40

50

ルの表面を表わす三角形メッシュ 4 0 0 であり、各三角形は 3 つの点とその間の 3 つの線分の集まりである。各三角形エッジに関する三角形隣接情報を用いて、可能性のあるシルエットエッジを認識する。2 つの隣接する三角形について以下が真であれば、三角形エッジは可能性のあるシルエットエッジ 4 1 0 である。(i) 隣接する三角形の 1 つ (符号 4 0 2 で示す三角形 A) の法線ベクトルがカメラ視線方向 (camera view direction) 4 0 4 からやや離れた方向を向いている。(i i) 隣接する三角形の他方 (例えば符号 4 0 6 で示す三角形 B) の法線ベクトルがカメラ視線方向 4 0 4 とやや同じ方向を向いている。候補となる輪郭線分は、3 D 境界のポリラインの線分であり、カメラ視線方向 4 0 4 を用いて 2 D に投影された (平らになされた) シルエット線分の可能性がある。候補となる輪郭線分の全てが輪郭の一部を成す訳ではない。集められた候補の 2 D 輪郭線分が真の輪郭線分であるか否かを判定するために、その線分上に所定の点生成密度で 2 D の点を生成し、所定のカメラの方向と位置を用いて、3 D メッシュ三角形を 2 D に投影し、いずれかの 2 D 三角形によって覆われた 2 D 点は除去する。線分上に生成された 2 D 点間の距離は 3 D の CAD モデルの最小のフィーチャよりも小さいことを理解されたい。2 D 点は、2 D 三角形領域内にあれば、輪郭だけを残して、2 D 三角形によって「覆われている」と見なされる。すなわち、3 D の CAD モデルの境界の内側にある点 は、除去される。

【 0 0 4 3 】

より具体的には、図 5 ~ 図 7 に示すように、線分 5 0 2 に沿って候補の 2 D 輪郭点 5 0 0 の集合を生成する。この時点では、どの点が三角形エッジ上に生成され、どの点が 2 D 三角形領域内に生成されたものであるかを判定するのは困難である。そのため、各点 5 0 0 について、図 6 に示すシフト試験を行なうことができる。一例では、候補点 5 0 0 から試験点 5 1 2、5 1 4、5 1 6、5 1 8、5 2 0、5 2 2、5 2 4、5 2 6 を生成する。試験点 5 1 2、5 1 4、5 1 6、5 1 8、5 2 0、5 2 2、5 2 4、5 2 6 をシフトして、試験点 5 1 2、5 1 4、5 1 6、5 1 8、5 2 0、5 2 2、5 2 4、5 2 6 が候補点 5 0 0 の位置からシフトされたときに隣接面によって覆われるか否かを判定する。例えば、「A 面」のエッジにある点 5 1 2、5 1 4 をそれぞれ位置 5 1 3、5 1 5 にシフトさせた時、点 5 1 2、5 1 4 はいずれの隣接面によっても覆われることはない。同様に、「B 面」のエッジにある点 5 1 8、5 2 0 をそれぞれ位置 5 1 9、5 2 1 にシフトさせた時、点 5 1 8、5 2 0 はいずれの隣接面によっても覆われることはない。したがって、2 D 点 5 1 8、5 2 0 は「真の」輪郭点であると判定される。「A」面と「B」面の境界にある点 5 2 2、5 2 4、5 2 6 をそれぞれ位置 5 2 8、5 3 0、5 3 2、または位置 5 3 4、5 3 6、5 3 8 にシフトさせた時、それぞれ「B」面および「A」面によって覆われる。これらの 2 D 点 5 2 2、5 2 4、5 2 6 は隣接面によって覆われるため、2 D 点 5 2 2、5 2 4 および 5 2 6 は「真の」輪郭点であるとは見なされない。図 7 に示すとおり、いかなる隣接面によっても覆われることのないシフトされた点は「真の」輪郭点 5 0 6 として示される (図 7 において若干大きく示す)。「A」面および「B」面と境界を成す点 5 1 6 が位置 5 1 7 にシフトされた時、点 5 1 6 は隣接面によって覆われることはない。したがって、この 2 D 点 5 1 6 は「真の」輪郭点であると判定される。

【 0 0 4 4 】

残った 2 D 点に基づいて最小全域木 (minimum spanning tree) を生成する。この最小全域木は、エッジウェイトの合計が可能な限り最小となる全域木 (spanning tree) である。この最小全域木は、残った 2 D 点に基づいて、公知の最小全域木アルゴリズム (例えば、Prims、Kruskall、Boruvka) のいずれかを用いて構築される。点生成密度よりも長いグラフエッジを全域木から捨てる。残りのグラフエッジは、3 D の CAD モデルの真の輪郭線の線分であり、それは、フィッティングアルゴリズム 1 6 0 を用いて、試験対象物 2 0 の周辺境界に適合 (フィッティング) させることができる。

【 0 0 4 5 】

図 3 は、本発明の別の態様であって、3 D の CAD モデルへの参照を有するマシンビジョンシステム 1 0 を用いて、試験対象物 2 0 の異なるフィーチャを測定するためのプロセスを示す。このプロセス 3 0 0 は、ステップ 3 0 2 に従って、ユーザがビデオカメラ 9 0

10

20

30

40

50

で試験対象物 20 のビデオ画像を撮影するステップから始めることができる。このプロセス 300 は、さらに、ステップ 304 に従って、ビデオカメラ 90 の視軸に垂直な基準面における撮像された試験対象物 20 の周辺境界を、周辺境界抽出手段 140 により抽出する工程を含む。上述のように、シルエット境界抽出手段 150 によって、3D の CAD モデルのシルエット境界を取得する。ステップ 306 に従って、マッチングモジュール 170 により、3D の CAD モデルのシルエット境界を、対応する基準面における試験対象物の周辺境界とマッチングするように相対的に位置付ける。ステップ 308 に記述するように、座標割り当て手段 180 により、3D の CAD モデルの点の座標を、対応する基準面内で視軸に沿って参照される試験対象物の対応する点の座標とマッチングさせる。これにより、ユーザは、ステップ 310 に従って、ディスプレイパネル 70 のモデルウィンドウ内で CAD モデルのフィーチャを選択し、測定すべきフィーチャの 1 以上の点の座標を同定することができる。ステップ 312 に記述するように、次に、モデルウィンドウ内で選択された CAD モデルのフィーチャに対応する試験対象物 20 のフィーチャを選択し、システム 10 は、試験対象物 20 の選択されたフィーチャの測定に移行する。典型的には、比較的大きな視野 (FOV) および比較的大きな被写界深度 (DOF) が用いられ、これにより、基準面に近くない試験部品 20 のフィーチャを含んで、部品の境界に焦点が合わされるようになされている。例えば、Quality Vision International, Inc. 社で販売しているフュージョン (Fusion) 大視野のマルチセンサ測定システムの低倍率光路は、FOV 100 mm、利用可能 DOF 75 mm に設定することができる。低倍率光路を用いて試験部品 20 の境界を取得してから、ユーザはフュージョン大視野マルチセンサ測定システムの高倍率 $f/5$ の光路を用いて、試験部品のフィーチャの測定を行うことができる。実施形態においては、FOV と DOF は自動的に設定される。

【0046】

しかし、必要であれば、視軸に沿って参照される CAD モデルの選択されたフィーチャの 1 以上の点の座標に基づいて、試験対象物 20 に対するビデオカメラ 90 の焦点を変えてもよい。試験対象物の照明条件も、測定すべき CAD モデルのフィーチャの点の座標に基づいて、変えてよい。例えば、前面照明器 190 またはバックライト照明器 50 を選択してよい。しかし、測定対象の試験対象物 20 を照らすために、照明器の他の位置を用いかつ選択してもよいことを理解されたい。

【0047】

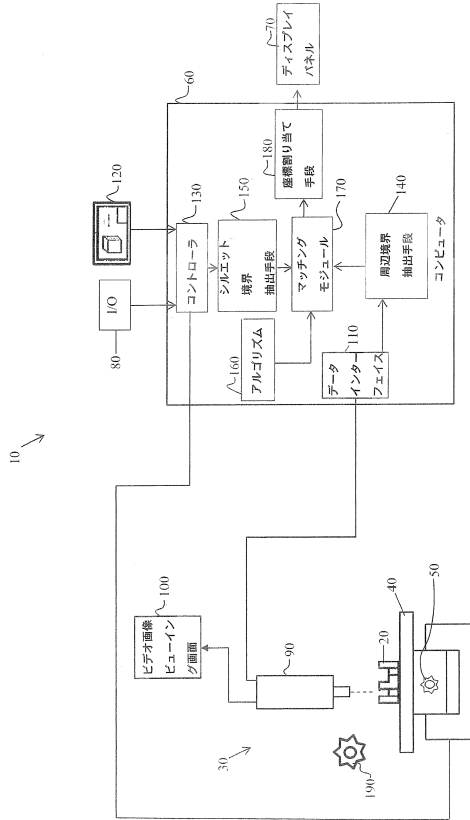
本発明は、数々の変更および改変がなされることが想定されている。したがって、システムの現在好ましい形態を示し、および描写し、いくつかの改変例および代替例について述べてきたが、本発明の範囲を逸脱することなく、さらに様々な変更および改変がなされてもよいことが、当業者には容易に理解されよう。本発明の範囲は、以下の特許請求の範囲によって定義され識別される。

10

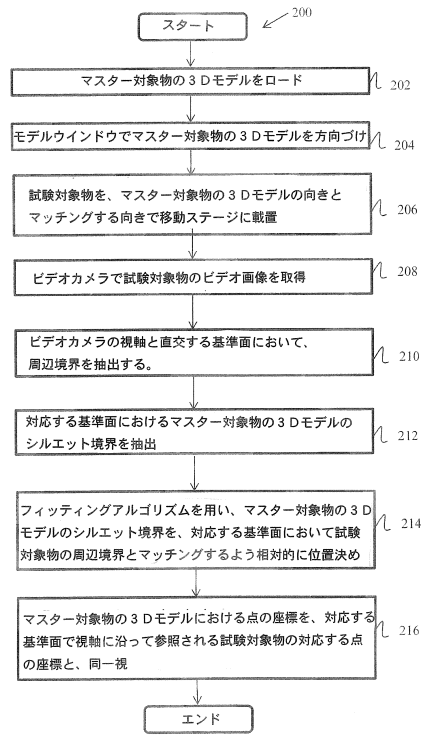
20

30

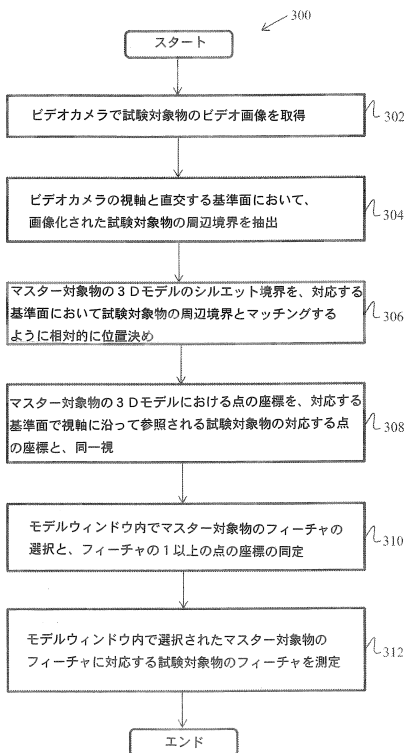
【図 1】



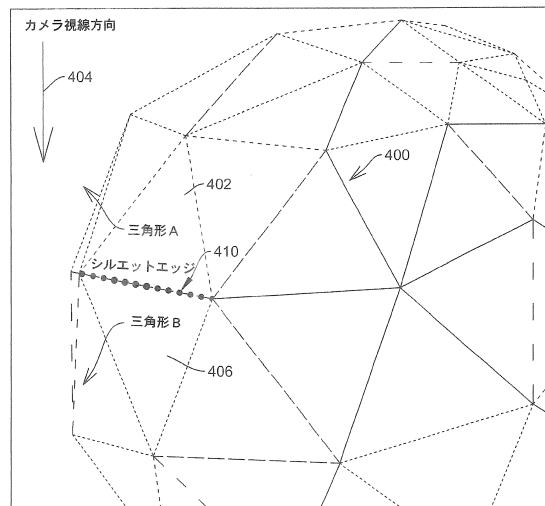
【図 2】



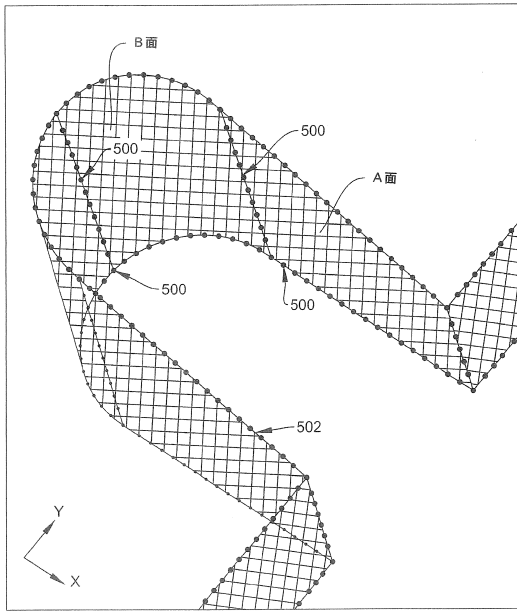
【図 3】



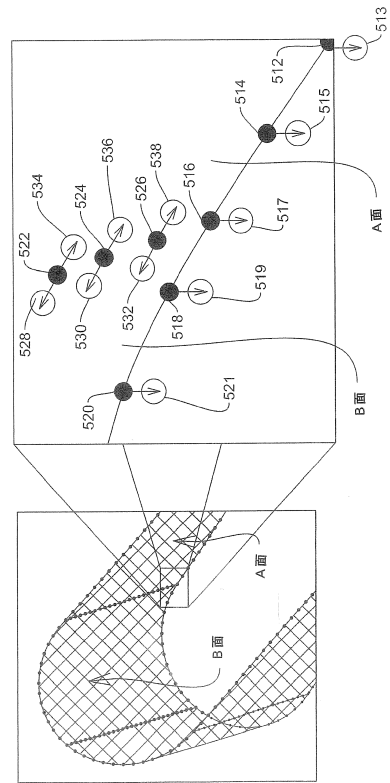
【図 4】



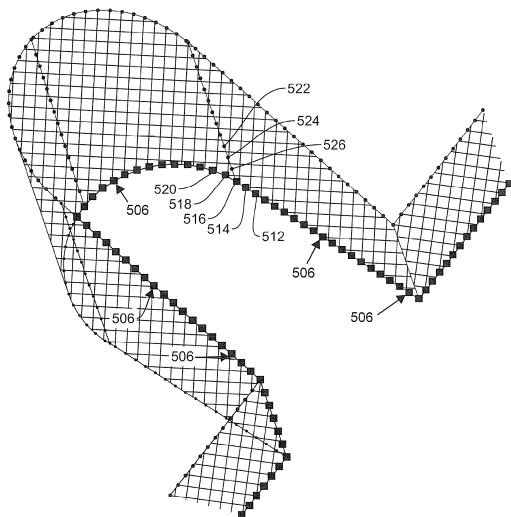
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

- (72)発明者 ポリドール, エドワード, ティー.
アメリカ合衆国 14580 ニューヨーク州, ウェブスター, アドミラルティー ウェイ
792
- (72)発明者 プロカイ, アッティラ
ハンガリー H-2040 ブダエルシュ, リリオム通り 3

審査官 續山 浩二

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2006/0140473(US, A1)
特開2016-109669(JP, A)
特開2017-004533(JP, A)
特開2012-032344(JP, A)
特開2016-061687(JP, A)
独国特許出願公開第102015011914(DE, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01B 11/24
G06T 7/33