

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5680196号  
(P5680196)

(45) 発行日 平成27年3月4日(2015.3.4)

(24) 登録日 平成27年1月16日(2015.1.16)

(51) Int. Cl. F I  
**GO 1 B 11/00 (2006.01)** GO 1 B 11/00 H  
**GO 1 B 11/25 (2006.01)** GO 1 B 11/25 H

請求項の数 14 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2013-515812 (P2013-515812)	(73) 特許権者	513076464
(86) (22) 出願日	平成23年6月9日(2011.6.9)		ライカ ジオシステムズ アクチエンゲゼルシャフト
(65) 公表番号	特表2013-531237 (P2013-531237A)		Leica Geosystems AG
(43) 公表日	平成25年8月1日(2013.8.1)		スイス国 ヘーアブルック ハイニンリヒェー
(86) 国際出願番号	PCT/EP2011/059641		ヴィルトーシュトラッセ 201
(87) 国際公開番号	W02011/160962		Heinrich-Wild-Strasse 201, CH-9435 Heerbrugg, Switzerland
(87) 国際公開日	平成23年12月29日(2011.12.29)	(74) 代理人	100114890
審査請求日	平成25年3月8日(2013.3.8)		弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラインハルト
(31) 優先権主張番号	10166672.5	(74) 代理人	100099483
(32) 優先日	平成22年6月21日(2010.6.21)		弁理士 久野 琢也
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 測定対象物表面上の三次元座標を求めるための光学式測定方法および測定システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

測定対象物表面(1s)の多数の測定点の三次元座標を求める光学式測定方法であって、

・前記測定対象物表面(1s)に、複数の異なるパターン(2a, 2b)から成るパターンシーケンスを、投影器(3)によって照射するステップと、

・前記パターンシーケンスが照射された前記測定対象物表面(1s)の複数の個別画像から成る画像シーケンスを、カメラシステム(4)によって撮影するステップと、

・前記画像シーケンスを評価することによって前記測定点の三次元座標を求めるステップとを有しており、当該ステップにおいて、前記画像シーケンスの各画像内の前記測定対象物表面(1s)の同一の測定点に対して輝度値シーケンスを求める、方法において、

・前記画像シーケンスの撮影時に、少なくとも、前記画像シーケンスの個別画像の露光時間中に、

前記投影器(3)、

前記カメラシステム(4)および/または

前記測定対象物(1)の

並進加速度および/または回転加速度を、前記画像シーケンスの各個別画像の露光時間中に、それぞれ複数の値、殊に多数の値が前記並進加速度および/または回転加速度に対して検出される、少なくとも1つの測定レートで測定し、

・画像シーケンスの各個別画像の露光時間中に生じる、画像シーケンスの各個別画像内で

10

20

ぶれおよび/またはモーションブラーを引き起こす、前記投影器(3)、前記カメラシステム(4)および/または前記測定対象物(1)の運動を、測定された前記並進加速度および/または回転加速度に基づいてアルゴリズムを用いて、前記三次元座標の特定時に考慮し、

・1つの画像シーケンスまたは複数の画像シーケンスの撮影の過程全体の間、前記並進加速度および/または回転加速度を測定し、前記測定点の三次元座標に関する前記個別画像の評価によって得られた情報を、計算によって、測定された前記並進加速度および/または回転加速度を用いて合成する、

ことを特徴とする、三次元座標を求める光学式測定方法。

#### 【請求項2】

前記投影器(3)、前記カメラシステム(4)および/または前記測定対象物(1)の前記並進加速度および/または回転加速度を全ての6つの自由度で測定し、当該並進加速度および/または回転加速度の測定を継続的に特定の測定レートで、殊に約50~2000Hzの間の測定レートで行い、特別な場合には、前記過程全体の間、行う、請求項1記載の光学式測定方法。

#### 【請求項3】

測定された前記並進加速度および/または回転加速度に依存して、前記画像シーケンスの各個別画像内のぶれおよび/またはモーションブラーを補償および/または修正し、

当該ぶれおよび/またはモーションブラーは、前記投影器(3)、前記カメラシステム(4)および/または前記測定対象物(1)の、前記画像シーケンスの各個別画像の露光時間中に生じる運動によるものであり、

特に前記運動は、

・前記投影器(3)、前記カメラシステム(4)および/または前記測定対象物(1)を手を持っている使用者によって、殊に手の震えによって、意図的ではなく引き起こされる、

または

・前記投影器(3)、前記カメラシステム(4)および/または前記測定対象物(1)の保持部内の振動または揺れによって引き起こされる、請求項1または2記載の光学式測定方法。

#### 【請求項4】

前記過程全体の間、

・前記測定対象物表面(1s)上の測定領域を拡大するため、  
・前記測定対象物表面(1s)上の測定領域を圧縮するため、ひいては測定点密度を高めるため、および/または

・実質的にコヒーレントな光ビームを照射する際に不所望に生じる、前記パターンシーケンスの各パターン(2a, 2b)内のスペックル場を変えるため、ひいては、当該スペックル場によって引き起こされる局所的な測定不正確さまたは測定点間隙を低減するために、

前記測定対象物(1)、前記カメラシステム(4)および/または前記投影器(3)を動かし、

特に、

・前記測定対象物(1)ないしは前記カメラシステム(4)を手を持っている使用者によって、および/または、

・このために設計されており、事前にプログラミングされて自動制御または手動制御される、前記投影器(3)、前記カメラシステム(4)および/または前記測定対象物(1)用の保持部、殊にロボットアームによって

上記目的のための運動が引き起こされる、請求項1から3までのいずれか1項記載の光学式測定方法。

#### 【請求項5】

前記計算を用いた合成のために、開始条件として、測定された前記並進加速度および/

10

20

30

40

50

または回転加速度から導出された、前記測定対象物(1)に対する撮影位置および撮影方向に関する、個別に撮影された画像間の空間的な関係を用い、

これによって、前記計算を用いた合成自体が要する計算コストが、当該開始条件を用いずに行われる方法に比べて、低減される、請求項4記載の光学式測定方法。

【請求項6】

前記測定点の三次元座標を、写真測量法を用いて、三角測量原理に従って、前記画像シーケンスから、かつ前記画像シーケンスの各画像内で検出された、前記パターンシーケンスの既知のパターンを用いて求め、殊に前方交合法を用いて求める、請求項1から5までのいずれか1項記載の光学式測定方法。

【請求項7】

相対的に既知の位置から、および相対的に既知の配向で前記照射および前記撮影を行い、殊にここで、前記撮影を、前記カメラシステム(4)の一部である複数のカメラ(4a, 4b, 4c)によって、種々の位置から行う、請求項1から6までのいずれか1項記載の光学式測定方法。

【請求項8】

前記測定対象物表面(1s)に、順次連続して、

- ・細さの異なるストリップパターン、
- ・疑似コードおよび/または
- ・ランダムパターンを

前記パターンシーケンスの異なるパターンとして照射し、

殊に、前記複数の異なるパターン(2a, 2b)の照射を、実質的に時間的に直接的に連続して、約100~300ms、特に約200msの投影持続時間で行い、前記画像シーケンスの撮影を一画像あたりそれぞれ約100~300ms、特に約200msの露光持続時間で行う、請求項1から7までのいずれか1項記載の光学式測定方法。

【請求項9】

測定対象物表面(1s)の多数の測定点の三次元座標を求めるための光学式測定システム(7)であって、

- ・前記測定対象物表面(1s)に、異なる光パターン(2a, 2b)から成るパターンシーケンスを照射する投影器(3)と、
- ・前記パターンシーケンスが照射された前記測定対象物表面(1s)の複数の個別画像から成る画像シーケンスを撮影するカメラシステム(4)と、
- ・前記画像シーケンスの各画像内の前記測定対象物表面(1s)の同一の測定点に対して輝度値シーケンスを求めながら、前記画像シーケンスから測定点の三次元座標を求める評価ユニットとを有している、光学式測定システムであって、

- ・前記投影器(3)、
- ・前記カメラシステム(4)および/または
- ・前記測定対象物(1)に

慣性センサ(5a, 5b)が配置されており、当該慣性センサは、前記投影器(3)、前記カメラシステム(4)および/または前記測定対象物(1)の並進加速度および回転加速度を少なくとも、前記画像シーケンスの各個別画像の前記露光時間中に、それぞれ複数の値、殊に多数の値が前記並進加速度および回転加速度に対して検出される測定レートで測定し、

前記評価ユニット(6)は、

- ・前記画像シーケンスの撮影時に、前記画像シーケンスの個別画像の少なくとも前記露光時間中にそれぞれ、前記並進加速度および回転加速度に対する複数の値が検出されるように前記慣性センサ(5a, 5b)と前記カメラシステム(4)を同期制御するように、

および

- ・前記ぶれおよび/またはモーションブラーを前記画像シーケンスの前記各個別画像内で引き起こす、前記投影器(3)、前記カメラシステム(4)および/または前記測定対象物(1)の運動を、前記慣性センサ(5a, 5b)によって測定された前記並進加速度お

10

20

30

40

50

よび回転加速度に基づいて、前記三次元座標の特定のために、アルゴリズムを用いて考慮するように、構成されており、

・前記画像シーケンスの撮影の過程全体の間、前記並進加速度および回転加速度は前記慣性センサによって測定され、前記測定点の三次元座標に関する前記個別画像の評価によって得られた情報は、計算によって、測定された前記並進加速度および回転加速度を用いて合成される、

こと特徴とする、光学式測定システム。

【請求項 10】

前記複数の慣性センサ(5a, 5b)は、殊にMEMSベースの部品に基づいている1つの慣性計測ユニット内に、前記慣性計測ユニットが全6つの自由度で、殊に約50~2000Hzの測定レートで前記並進加速度および回転加速度を測定するように、組み合わせられて、組み込まれている、請求項9記載の光学式測定システム(7)。

10

【請求項 11】

前記投影器(3)、前記カメラシステム(4)および/または前記測定対象物(1)の、前記画像シーケンスの各個別画像の露光時間中に生じる運動によって生じる、前記画像シーケンスの前記各個別画像内のぶれおよび/またはモーションブラーを、測定された前記並進加速度および回転加速度に依存して補償および/または修正するように、前記評価ユニット(6)は構成されている、請求項9または10記載の光学式測定システム(7)。

【請求項 12】

前記投影器(3)および前記カメラシステム(4)は、固定かつ既知の相互の位置付けおよび配向で、物質的に、前記測定システムの共通の測定ヘッド(8)内に収容されており、当該測定ヘッド内には前記慣性センサ(5a, 5b)も配置されており、殊に前記測定ヘッド(8)は手持ち可能である、および/またはロボットアームに取り付けられるように構成されている、請求項9から11までのいずれか1項記載の光学式測定システム(7)。

20

【請求項 13】

前記カメラシステム(4)は少なくとも1つのカメラ(4a, 4b, 4c)を有しており、殊に、前記カメラシステム(4)は2つ、3つまたは4つのカメラ(4a, 4b, 4c)を含んでおり、当該カメラは、固定かつ既知の相互の位置付けおよび配向で配置されており、かつ実質的に同時に、個別画像の撮影を行うように構成されている、請求項9から12までのいずれか1項記載の光学式測定システム(7)。

30

【請求項 14】

請求項1から8までのいずれか1項記載の光学式測定方法を実施するように設計および構成されている、請求項9から13までのいずれか1項記載の光学式測定システム(7)。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、請求項1の上位概念に記載されている、測定対象物表面の多数の測定点の三次元座標を求めるための光学式測定方法並びに同じ目的で構成された、請求項9の上位概念に記載された測定システムに関する。

40

【0002】

このような装置および方法は、殊に、機械産業、自動車産業、窯業、製靴業、宝飾業、歯科技術および人類医学(整形外科)および幅広い分野において使用されており、例えば、クオリティコントロール、リバースエンジニアリング、ラピッドプロトタイピング、ラピッドミリングまたはデジタルモックアップのための測定および記録のために使用される。

【0003】

連続的な製造プロセスにおけるほぼ完全なクオリティコントロールおよびプロトタイプ

50

の空間形状のデジタル化に対する要求が高まっていることによって、いっそう頻繁に、表面トポグラフィの検出が測定課題とされるようになってきた。ここでこの課題は、測定されるべき対象物表面の個々の点の座標を短時間で求めることである。

【 0 0 0 4 】

従来技術から公知の、例えば携帯可能な、手持ち式および/または固定設置システムとして構成され得る測定対象物の三次元座標を求める、画像シーケンスを使用している測定システムは、一般的に、測定対象物にパターンを照射するパターン投影器を有しており、部分的に、パターン投影式3Dスキャナー、または光パターン3Dスキャナーとも称される。測定対象物の表面上に投影されたパターンは、測定システムの別の構成部分であるカメラシステムによって撮影される。

10

【 0 0 0 5 】

すなわち測定の枠内で、投影器は、測定対象物に時間的に連続して、種々異なるパターンを照射する(例えば、平行する、異なる幅の明るいストリップと暗いストリップであり、殊に、例えば90°のストリップパターンの回転も行われる。)。カメラは、既知の、投影のための視角で投影されたストリップパターンを記録する。各投影パターン毎に、各カメラによって画像が撮影される。全てのカメラの各画像点に対して、種々異なる輝度値の時間的なシーケンスが生じる。

【 0 0 0 6 】

しかしストリップの他に、相応する別のパターン、例えばランダムパターン、疑似コード等も投影可能である。これに適しているパターンは、従来技術から、当業者に以前から公知である。疑似コードによって、例えば、対象物点を容易に絶対的に割り当てることができる。これによって、投影時には、極めて繊細なストリップがますます困難になる。すなわちこのために、迅速なシーケンスにおいて、まずは1つまたは複数の疑似コードが投影され、次に細かいストリップパターンまたは順次連続する撮影において、異なる、連続して細かくなっていくストリップパターンが投影される。これは、測定対象物表面上の測定点の解像度において所望の精度が得られるまで行われる。

20

【 0 0 0 7 】

次に測定対象物表面の三次元座標が、撮影された画像シーケンスから、画像処理を用いて、当該分野の当業者に公知の方法に従って、写真測量法および/またはストリップ投影から計算される。例えば、このような測定方法および測定システムは、WO 2 0 0 8 / 0 4 6 6 6 3、DE 1 0 1 2 7 3 0 4 A 1、DE 1 9 6 3 3 6 8 6 A 1号またはDE 1 0 2 0 0 8 0 3 6 7 1 0 A 1号に記載されている。

30

【 0 0 0 8 】

その他の点においては、カメラシステムは、1つまたは複数のデジタルカメラから成る。これらは、測定の間、既知の空間的位置に相互に位置している。カメラ相互の安定した位置を保証するために、これらは多くの場合には、固定して既知の空間的な位置付けおよび配向で、共通のケーシング内に一緒に取り付けられる。殊にここではカメラは次のように配向される。すなわち、個々のカメラの視野の大部分が交差するように配向される。ここではしばしば2つまたは3つのカメラが使用される。投影器は、ここで固定的に、カメラシステムと接続される(別個のカメラを使用する場合には、カメラシステムの既存のカメラの一部のみと接続されてもよい)または完全に、カメラシステムと別個に位置付けされる。

40

【 0 0 0 9 】

検出される、表面の三次元座標は一般的な場合、すなわち、カメラシステムに対して投影器が相対的に位置付けおよび配向されており、事前に知られていない場合には、2つのステップで計算される。第1のステップでは、投影器の座標が、以下のように特定される。所定の対象点に対して、カメラ画像内の画像座標が既知である。投影器はカメラの逆に相当する。画像シーケンスから各カメラ画像点に対して測定された輝度値シーケンスから、ストリップの数が計算される。簡単な場合には、二値コード(例えばグレーコード)を介して、ストリップの数が、投影器内の離散した座標として示される。高い精度が、いわ

50

ゆる位相シフト方法によって実現される。なぜなら、離散していない座標が求められるからである。これはグレーコードに対して付加的に、または絶対的な測定ヘテロサイン方法として使用される。

#### 【 0 0 1 0 】

投影器のこのように求められた位置に従って、またはカメラシステムに対して相対的に既に以前から知られている位置付けの場合には、例えば、前方交会法によって、以下のように、測定対象物の表面上の測定点の三次元座標が求められる。投影器内のストリップの数は、カメラ内の画像座標に相応する。ストリップの数は空間において光面を特定し、画像座標は光ビームを特定する。カメラおよび投影器の位置が既知の場合には、面と線の交点が計算される。これは、センサの座標システム内の対象点の、求められるべき三次元座標である。全ての画像ビームの幾何学的な位置は、正確に知られているべきである。ビームの正確な計算は、写真測量法から公知の前方交会法によって計算される。

10

#### 【 0 0 1 1 】

三次元座標を計算するこの測定方法においてより高い精度を得るために、画像の歪みとなる実際のレンズシステムの理想的でない特性が、歪み修正器によって整合される、および/または結像特性の正確な較正が行われる。投影器およびカメラの全ての結像特性はここで、当業者に公知の較正プロセス（例えば一連の較正撮影）の枠内で測定され、ここから結像特性をあらわすための数学的なモデルが生成される（例えば、写真測量方法、殊にビーム補償計算を伴う一連の較正撮影から、結像特性をあらわすパラメータが求められる）。

20

#### 【 0 0 1 2 】

すなわち要約すると、パターン投影方法ないしはライトパターン3Dスキャナーでは、三角測量（前方交会法）を用いた、測定領域内の測定点の明確な深さ特定を実現するために、対象物に一連のライトパターンを照射することが必要である。すなわち多くの場合、測定対象物に相応の異なるパターンを投影しながら（すなわち、相応するパターンシーケンスで）、複数回の撮影（すなわち一連の画像）を行うことが、測定結果に関する十分に高い精度を保証するために必要である。例えば、WO 2 0 0 8 / 0 4 6 6 6 3 に記載されている測定装置のように、従来技術から公知の手持式システムの場合には、照射シーケンスはここで次のように迅速に行われなければならない。すなわち、一連の画像を撮影している間の操作者による運動によって、測定エラーが生じないように、迅速に行われなければならない。各投影の、カメラによって撮影された画素は、十分に良好に、重なり合って配置される。これによって、画像シーケンスは、操作者に起因するパターンずれないしは画像ずれよりも迅速でなければならない。投影器の、発光可能な光エネルギーは、使用される光源およびビーム保護規定によって制限されるので、これによって、カメラシステムにおける検出可能なエネルギーが制限され、ひいては、弱く反射する測定対象物表面上の測定が制限される。さらに、投影器は投影速度（画像レート）において制限される。この種の投影器の通常の最大画像レートは、例えば60 Hzである。

30

#### 【 0 0 1 3 】

一連のパターンの投影と、カメラシステムによる、各パターンの画像シーケンスの撮影とを伴う測定過程に対して、従来の測定装置の場合には、例えば、約200 msの測定持続時間が必要である（例として：画像毎に20 ms ~ 40 msの露光時間で、8 ~ 10個の画像のシーケンスを撮影する場合には、例えば総撮影時間ないしは測定持続時間は、測定箇所毎に、160 ms ~ 400 msになる）。

40

#### 【 0 0 1 4 】

従って、充分でない静止の場合、ないしは（測定箇所における）測定過程中的カメラ装置、投影器（ないし場合によっては、カメラ装置と投影器とが組み込まれている測定ヘッド）および測定対象物相互の位置付け保持性および配向保持性が不十分な場合、種々の不所望で、且つ評価を難しくする、または複雑にする、または全く不可能にする作用、または、少なくとも、得られる精度に悪影響を与える作用が生じてしまう。

#### 【 0 0 1 5 】

50

カメラ装置、投影器（ないし場合によっては、カメラ装置と投影器とが組み込まれている測定ヘッド）または測定対象物の不十分な不静止に対してここでは種々の原因が考えられる。

【0016】

一方では、測定環境（例えば測定が、製造ライン内に組み込まれている製造局で実施される場合）における振動が測定対象物の保持部に、または測定ヘッドを保持しているロボットアームにも伝達され、ひいては、ノイズとなる揺れが生じてしまうことがある。従って、これまで、コストのかかる措置が、揺れ減衰のために必要であった、または特別な測定空間に切り替えることが必要であった。しかしこれは、製造プロセスを格段に手間のかかるものにする（なぜなら、測定対象物を製造ラインから取り出すこと、およびこれを、相応にこのために設計されている測定空間内に搬送することが必要だからである）。

10

【0017】

手持ち式システムの場合には、不十分な不静止に対する主要原因は、殊に、操作員の手の自然な震えである。

【0018】

カメラ装置、投影器および測定対象物相互の位置保持性および配向保持性が不足していることによって生じ得る悪影響としては、一方では、画像シーケンスの個々に撮影された画像におけるモーションブラーおよび/またはぶれが挙げられる。

【0019】

しかし他方では、画像シーケンスの個別画像相互の、測定対象物に対して相対的な各撮影位置および撮影方向に関する不整合（すなわち、画像シーケンス内の個別画像における撮影位置および撮影方向における変動）も生じる。従って、個別画像における画像点を、測定対象物表面上の一致した測定点へそれぞれ割り当てることは完全に不可能である、または、極めて高い計算コストおよび測定対象物表面の同じ領域の多数の画像からの情報を含めてのみ可能である（すなわち、極めてコストのかかる、後からの、計算コストのかかる、個別画像の空間的な位置付けが必要である。従って、これまでは部分的に、この作用に対して予防的に、画像シーケンス毎に余剰画像が撮影されてきた。この余剰画像は主に、個別画像相互の撮影位置および撮影方向の空間的な関係の再計算のためのみに用いられる）。

20

【0020】

測定対象物上の測定領域を拡張するために（例えば、対象物全体の測定のために）、しばしば、複数の測定（種々の測定箇所からの撮影および測定対象物に相対するカメラの種々の視角での撮影）を連続して行うことが必要である。ここで、種々の測定のこの結果は順次、相互に接続される。これは例えば、次のことによって行われる。すなわち、各測定過程時に、検出領域がそれぞれ重畳して選択され、複数の測定過程時に得られる三次元座標の相応する合成（すなわち散布図）のために各重畳が使用されることによって行われる（すなわち、個々の測定過程において特定された散布図における等しいまたは類似した分布が識別され、これと相応に散布図が合成される）。

30

【0021】

しかしこの合成過程は一般的に、極めて計算コストがかかり、むしろ、高いプロセッサ能力が使用可能な場合には、悔りがたい、かつ障害となる高い時間的なコストおよびエネルギーコストを要求する。例えば、測定ヘッドの保持および案内のためにロボットアームを使用する場合には、例えばこれによって、合成過程に必要な計算コストを低減することができる。これは、撮影位置および撮影方向を、個々の撮影時に、各ロボットアーム状態に基づいて検出し、これを、事前情報として（例えば周辺条件として）合成のために使用することによって行われる。

40

【0022】

ここでの欠点は、ロボットアーム状態に基づいて測定箇所を特定する精度が比較的低いこと、および、それにもかかわらず、このようなロボットアームの存在が必要であること、である。従って、複数の測定過程の測定結果をまとめるのに必要な計算能力は、手持ち

50

式測定システムの場合には低減されない。

【0023】

実質的にコヒーレントな光ビームがパターン照射のために使用される、従来技術のシステムのさらなる欠点は、パターンシーケンスの各パターン内の不所望に生じるスペckル場によって生じる、局所的な測定の不正確さまたは測定点の間隙である。

【0024】

従って、本発明の基となる技術的な課題は、測定対象物表面上の三次元座標を求めるための、改善された、画像シーケンスを使用する光学式測定方法および測定システムを提供することである。殊にここでは、上述した欠点の1つまたは複数が低減される、または除去される。

10

【0025】

本発明の特別な課題は、従来技術から公知の測定システムでは不十分な、測定中の(すなわちパターンシーケンス投影中および画像撮影中の)投影器、カメラシステムおよび/または測定対象物の位置保持性(これは例えば不所望な揺れ、振動または不静止による)の場合にも、三次元座標を正確に求めることを可能にする、ということである。ここで特に、一方では、画像シーケンスの個別画像におけるぶれおよび/またはモーションブラーに起因する、三次元座標特定時のエラーまたは不正確さが低減される。他方では、不静止時に生じる、画像シーケンスの画像における撮影位置変動および撮影方向変動に起因するエラーも低減されるまたは除去される。

【0026】

20

パターンを投影するためにコヒーレント源を使用する場合のさらなる特別な課題は、測定対象物表面上のパターン内に生じているスペckルによって生起される局所的な測定間隙または局所的な測定不正確さを低減させることである。

【0027】

さらなる特別な課題は、特に手持式測定システムに対して、複数の測定過程の測定結果(例えばここから形成される散布図)の合成を容易にすること、および/または、このような合成に必要な計算能力の低減を実現することである。

【0028】

上述の課題は、独立請求項の特徴部分に記載されている構成を実現することによって解決される。本発明が択一的または有利な様式で発展させる特徴は、従属請求項に記載されている。

30

【0029】

本発明はパターンを投影し、かつ画像シーケンスを使用する測定方法に関する。これは、測定対象物表面上の三次元座標を求める。さらに本発明は、同様の目的のために構成された測定システムに関する。

【0030】

本発明では、測定過程の間、すなわち画像シーケンスの撮影時に、慣性センサに基づいて、パターン投影器、カメラシステム(ないしは場合によってはカメラ装置と投影器とを含んでいる測定ヘッド)および/または測定対象物の並進加速度および/または回転加速度が測定され、この測定された加速度が、三次元座標の特定時に考慮される。

40

【0031】

詳細には、本発明では、画像シーケンスの撮影時、少なくとも画像シーケンスの個別画像の露光時間の間、並進加速度および/または回転加速度が、少なくとも1つの次のような測定レートによって測定される。すなわち、画像シーケンスの個別画像の露光時間中にそれぞれ複数の値、殊に多数の値が、加速度に対して検出されるような測定レートによって測定される。これに基づいて、本発明では、画像シーケンスの各個別画像の露光時間間に生じ、画像シーケンスの各個別画像内のぶれおよび/またはモーションブラーが誘起する、投影器、カメラシステムおよび/または測定対象物の運動が、この測定された加速度に基づいて、アルゴリズムを用いて三次元座標の特定時に考慮される。

【0032】

50

殊に、測定された加速度に依存して、画像シーケンスの各個別画像の露光時間中に生じる、投影器、カメラシステムおよび/または測定対象物の運動によって生じるぶれおよび/またはモーションブラーの補償および/または修正が行われる。これは、それぞれ画像シーケンスの個別画像において行われる。

【0033】

このために、カメラシステム、投影器および/または測定対象物に慣性センサが配置される。ここでこの慣性センサは殊に、一緒に、組み込まれた慣性ユニットとして構成される。

【0034】

カメラシステムおよび投影器の実施形態に応じて、慣性センサは相応に、カメラシステムおよび/または投影器の部品を含んでいるケーシング内に組み込まれる。カメラシステム(カメラ装置とも称される)は、例えば、従来技術から既に知られているように、1つ、2つ、3つ、4つまたはそれよりも多くのカメラから形成される。これらのカメラは、固定されている、かつ既知の位置付けおよび相互の配向によって共通のケーシング内に配置され、実質的に同時に行われる、個別画像の撮影のために構成される。択一的に、カメラ装置の個々のカメラが、物質的に相互に別個に、それぞれ独自のケーシングを用いて構成されてもよい。しかしこれは一般的に、画像シーケンスの評価を困難にする。なぜならこの場合には、カメラ相互の相対的な空間的な関係が事前に規定されないからである(これによって、通常、画像シーケンスの評価時の計算コストが高くなる)。さらに、物質的に別個に構成されているカメラの場合には、手持ち式システムの場合に、使用阻害性が生じ、複数の別個の道具類を担い、かつ保持しなければならない。この両方の理由から、殊に、手持ち可能なシステムまたはロボットアームに取り付けられるように構成されているシステムにおいて、カメラシステムは投影器とともに、固定されたかつ既知の位置付けおよび相互配向で、物質的に、測定システムの共通の測定ヘッド内に収容される。この場合には、この測定ヘッド内に、本発明に従って、慣性センサないしは慣性計測ユニットも配置される。

【0035】

同様に、択一的または付加的に、慣性センサグループも、測定対象物に取り付けられるように構成される。これは、測定された加速度(またはここから導出された運動または位置および配向)を、測定システムの評価ユニットに、三次元座標特定時の考慮のために伝える。

【0036】

特別に、この場合には、複数の慣性センサは、MEMSベースの部品に基づいている慣性計測ユニット(ここでMEMSはMicro-Electro-Mechanical-Systemを表している)内に次のように組み合わせられて組み込まれる。すなわち、慣性計測ユニットが全ての6つの自由度における加速度を殊に、約50~2000Hzの間の測定レートで測定するように構成されるように組み合わせられて組み込まれる。当業者に公知であるように、ここでは、複数の慣性センサを相応に組み合わせ、慣性計測ユニット(英語: Inertial Measurement Unit(IMU))を形成することによって、6つの自由度の加速度は通常、以降のセンサ様式に基づいて測定される:

直交して配置された3つの加速度センサ(並進センサとも称される)は、x軸ないしはy軸ないしはz軸における線形の加速度を検出する。ここから、並進運動(並びに相対的な位置)が計算される。直交して配置された3つの回転レートセンサ(ジャイロスコープセンサとも称される)は、x軸ないしはy軸ないしはz軸を中心とした角加速度を測定する。ここから、回転運動(並びに相対的な配向)が計算される。

【0037】

MEMSベースの部品に基づく、小型化された機器または構造群として構成されている、このような慣性計測ユニットは、従来技術から、既に以前から公知であり、以前から、大量生産されている。

【0038】

10

20

30

40

50

1つの測定過程の間、または付加的に複数の測定過程の間に検出された、カメラシステム、投影器および/または測定対象物の加速度は、本発明では、評価の枠内で（例えば画像シーケンスからの測定点の三次元座標の特定の範囲内で、または、実行された複数の測定過程から、すなわち複数の画像シーケンスから得られた測定結果の合成の枠内で）種々の目的のために、および種々のアスペクトを改善するために使用される。

【0039】

本発明で設定されているように、画像シーケンスの個別画像の露光時間の間、加速度が十分に高いレート（すなわち、少なくとも幾つかの、例えば5～50個の加速度値が個別画像の露光時間毎に供給されるレート）でされる場合には、画像シーケンスの個別画像の露光時間中に、画像内に誘起された、投影器、カメラシステムおよび/または測定対象物の運動のぶれおよび/またはモーションブラーが、これらの測定された加速度値に基づいて、アルゴリズムを用いて考慮される。有利には、測定された加速度値は、例えば、写真技術から十分に公知の方法に即して、画像シーケンス内の個別画像におけるぶれおよび/またはモーションブラーを補償または修正するために、使用される。

10

【0040】

画像露光時間中の測定システムおよび測定対象物相互の、不足している位置付け保持性および配向保持性は、ここで、例えば投影器、カメラシステムおよび/または測定対象物を手に持っている使用者によって生じられ、殊に手の振動によって、かつ無意識に、または投影器、カメラシステムおよび/または測定対象物の保持部における振動または揺れによって生じる。

20

【0041】

すなわち、本発明に相応して検出された、空間内の運動は、例えば、デジタルカメラないしは三角測量法スキャナーの個々の撮影における不鮮明さを修正するために使用される。さらに、手持ち式測定システムの場合には、使用者の手の震えによって生じる基本的な制限が取り除かれる、または、少なくとも低減される。

【0042】

これによって、測定システムが定常的に取り付けられている場合にしばしば生じる、測定中のノイズとなる揺れ/振動も、本発明と相応に、上述のように、三次元座標の評価時および特定時に考慮される。これによって、例えばしばしば、構造的に極めて手間のかかる、揺れ緩衝のための予防対策を省くことができ（または少なくとも格段に手間のかからない予防対策が講じられる）、これと同時に三次元座標特定時の改善された精度が得られるはずである、または少なくともこの際に精度が損なわれることがなくなるはずである。従って本発明の測定システムは、より良好に、直接的に製造ライン内で使用されるのに適している。特別な測定空間における「オフライン」での、全体的に見て極めてコストのかかる測定システムの動作（製造ラインから測定対象物を取り出すことおよびこれを、そのために相応に設計された測定空間内に搬送することを伴う）が、本発明によって、一般的に省かれる。

30

【0043】

発展形態では、測定システムコンポーネント（すなわちカメラ装置/投影器）および/または測定対象物の検出された加速度が、本発明と相応に、画像シーケンスの各画像にそれぞれ1つの、測定対象物に対して相対的な、各撮影時点で最新の画像撮影位置および画像撮影方向を割り当てるためにも使用される。このために、全体的な測定過程（すなわち1つまたは複数の画像シーケンスの撮影の全体過程）の間に、加速度が測定される。殊に、このために、加速度が、個別画像の各撮影時点での十分に正確な割り当てを可能にするレートで測定される。加速度が、画像がシーケンシャルに撮影されるレートよりも格段に高いレートで検出される場合には、各画像に、各画像撮影位置および画像撮影方向も割り当てられる。これらは、個別画像の露光時間の間を検出された加速度の平均化から得られる。

40

【0044】

画像シーケンスの個別画像に割り当てられた各撮影時点および撮影方向は、例えば振動

50

によって、揺れが、画像シーケンス内の個別画像の撮影時点および撮影方向において生じている場合にも、個別画像内の画像点を、測定対象物表面上の一致した測定点に容易に結び付けるためのものである。

【0045】

すなわちこれによって画像シーケンスの評価のための計算コスト（これは殊に、前方交会法に必要である）が、本発明に相応して格段に低減される。なぜなら、撮影位置および撮影方向から、画像シーケンスの各画像内のどの画像点によって、表面の一致した測定点がそれぞれ結像されるのかが、事前に求められるからである。

【0046】

従来技術のシステムでは、これまでは部分的に、元来の評価の前に画像を相対的に画像処理によって相互に空間的に関係付けるために、画像シーケンス毎に余剰画像が撮影されなければならなかったので、本発明では、画像シーケンスから三次元座標を相応に正確に求めるための、計算コストおよび/または画像シーケンスあたり撮影されるべき画像の必要な数が低減される。

【0047】

しかし別の側面では、本発明によって、長い測定時間にわたって、画像シーケンスの画像を撮影することも可能になる。なぜなら一連の画像を撮影する間の測定部品の不静止による影響は、本発明では十分に良好に補償可能または修正可能であり、測定エラーが生じないからである。

【0048】

例えば、カメラ装置および投影器の可視領域およびパターン投影領域を超える、測定対象物表面のより大きい領域を測定するために、従来技術では、複数の測定過程を実施し、続いて、結果（例えば散布図）を、重畳して測定された部分領域に基づいて合成することが必要である（スティッチング）。

【0049】

本発明では例えば、比較的長い測定過程を行うことも可能である（これは継続したシーケンシャルな画像撮影を伴い、例えば、1～5秒以上にわたる）。ここで意図的に、投影器とカメラシステムは、最終的に、所望されている全ての測定領域（例えば全ての側からの測定対象物全体）がカバーされるように、動かされる。ここで、移動速度および投影される一連のパターン並びに画像撮影頻度は次のように整合および設計される。すなわち、全ての部分領域に、評価のために、充分に変化するパターンが照射され、ここから充分の多くの数の画像が撮影されるように整合および設計される。

【0050】

すなわち、その測定結果が計算コストをかけて結合される、各個別測定の間のカメラ装置および投影器のできるだけ静止した位置付け保持および配向保持を伴う、複数の個別測定の代わりに、本発明では、1つの継続した測定過程を「スムーズに」行うことができ、その間に本発明に相応して測定された加速度に基づいて、個別画像が、自身のそれぞれの撮影位置および撮影方向に関して、画像シーケンスの評価のために、相互に空間的な関係に位置付けされる。

【0051】

しかし本発明の別の実施形態では、個別測定過程も実施可能である。これらの個別測定過程の測定結果（例えば散布図）は本発明では、測定された加速度を用いて、低減された計算コストで合成される（スティッチング）。ここでは、測定結果の相応の合成を完全にはじめて可能にするために、ある程度の部分領域を重畳して測定することは必ずしも必要ではない。しかし重畳した測定を、個々の測定結果のスティッチングの確実性および精度をさらに上げるために、本発明でも行うことができる。各個別測定過程における加速度に基づいて導出可能な測定位置および測定方向も例えば使用可能であり、例えば、これが、同一の点（経過点）または同一のパターン/幾何学的な形状に関する場合には（重畳領域において）、散布図の計算による結合に対する改善された始動値を供給するために使用可能である。

10

20

30

40

50

## 【0052】

本発明の別のアスペクトでは、測定された加速度から導出された、各画像に割り当てられた撮影位置および撮影方向が、測定領域の圧縮のためにも使用される（従って、ある程度の測定領域内では、多数の測定点に対して三次元座標が求められる）。このために例えば、投影器、カメラ装置および/または測定対象物の僅かな意図的な動きの下で（例えばこれは使用者の手の自然の振動によって生じる）、一連のパターンが表面領域上に投影され、ここから、一連の画像が撮影され（または同じ撮影領域の複数のシリーズも相互に結合される）、加速度を用いて、画像が高い精度で相互に空間的に関係付けされる。従ってこれによって測定領域内で、高い測定点密度で三次元座標が求められる。殊に、これによって、例えば、個別画像のサブピクセル領域においても、測定対象物表面上の測定点の三次元座標が特定される。

10

## 【0053】

同様に、パターン照射のために、実質的にコヒーレントな光ビームを使用するシステムの場合には、本発明では、不所望に生じているスペckル場によって、パターンシーケンスの各パターン内に生起される、測定結果への悪影響（例えば局所的な測定不精度または測定点間隙）を低減させることもできる。すなわち測定過程時に、投影器、カメラ装置および/または測定対象物が僅かに意図的に動かされる場合（例えば、使用者の手の自然な振動によって生じる）、スペckル場も、測定対象物表面上に投影されたパターン内で変化する。すなわちこの結果、スペckル場は各画像において、常に、測定対象物表面上の同じ箇所に生じなくなる。すなわち、このように撮影された画像シーケンスの枠内で、画像シーケンスの少なくとも幾つかの画像において、実質的にスペckルのないパターンが照射結像されない箇所が生じない、または僅かに生じる。すなわち画像シーケンスの画像を概観することによって（ここでは画像が同様に本発明に従って、ここで測定された加速度を用いて相対的に空間的な関係にされる）、コヒーレントな光ビームによるパターン投影時に、スペckルによって生じる悪影響が回避される。

20

## 【0054】

すなわち要約すると、本発明では、測定過程の間（パターンシーケンス投影および画像シーケンス撮影）、種々の目的で、測定対象物、カメラシステムおよび/または投影器が意図的に動かされる（または元来の不所望の運動によって生じる悪影響が回避される、または除去される）。このために、投影器、カメラ装置および/または測定対象物の加速度が、慣性センサに基づいて測定され、画像シーケンスの個別画像の評価時に考慮される。

30

## 【0055】

殊に、本発明では、測定された加速度に基づいて、各画像に対して別個に、個別画像の露光時間の間の運動によって生じる、画像内の影響（ぶれ/モーションブラー）の補償または修正が行われる。

## 【0056】

しかし付加的または択一的に、各画像に、加速度から（場合によっては平均化されて）導出された、測定対象物に対して相対的にそれぞれ目下の撮影位置および撮影方向（並びに、場合によっては、各目下のパターン投影位置およびパターン投影方向）が割り当てられ、これによって、画像シーケンスから行われる三次元座標の特定のための画像が事前に、相互に空間的に位置付けられる。例えば、この場合には、測定対象物、カメラシステムおよび/または投影器を、

40

- ・測定対象物表面上の測定領域を拡大するために
- ・測定領域を圧縮し、ひいては測定対象物表面上の測定点密度を高めるために、および/または
- ・実質的にコヒーレントな光ビームの照射時に、不所望に生じる、パターンシーケンスの各パターン内のスペckル場を変えるため、ひいては、このようなスペckル場によって生じる局所的な測定不正確さまたは測定点間隙を低減させるために、意図的に動かすことができる。

## 【0057】

50

ここで特別な場合には、この目的のために行われる運動が、測定対象物ないしはカメラシステムを手を持っている使用者によって、および/またはこのために設計され、事前にプログラミングされた自動または手動制御の保持部、殊にロボットアームによって生じられる。これは投影器、カメラシステムおよび/または測定対象物に対するものである。

【0058】

しかし同様に付加的または択一的に、複数の個々の測定過程を順次実行する場合に、各測定過程に1つの(場合によっては平均化された)(カメラ装置、投影器および測定対象物相互の)測定位置および測定配向を割り当て、これによって、複数の個別測定過程からの結果の合成を容易にする、またはこの合成をまったく完全にはじめて実現することができる。

10

【0059】

本発明の方法および本発明の装置を以下で、図面に概略的に示された具体的な実施例に基づいて、単に例として、詳細に説明する。ここで、本発明のさらなる利点についても述べる。

【図面の簡単な説明】

【0060】

【図1】本発明と相応に、慣性計測ユニット(IMU)が手持ち式測定ヘッド内に組み込まれている、三次元座標を求めるための光学式測定システム

【図2】測定対象物である自動車ドアに、三次元座標特定時にパターンが照射される形式の、手持ち式でありかつIMU、投影器並びに3つのカメラを有している測定ヘッドを備えた、本発明の光学式測定システム

20

【図3】測定対象物である自動車ドアに順次連続して、細かさの異なるパターンが照射される形式の、手持ち式でありかつIMU、投影器並びにカメラを有している測定ヘッドを備えた、本発明の光学式測定システム

【図4】測定対象物である自動車ドアに順次連続して、細かさの異なるパターンが照射される形式の、手持ち式でありかつIMU、投影器並びにカメラを有している測定ヘッドを備えた、本発明の光学式測定システム

【図5】測定対象物である自動車ドアに順次連続して、細かさの異なる線パターンが照射される、ロボットアームに保持されている測定ヘッドを備えた、本発明の光学式測定システム

30

【図6】測定対象物である自動車ドアに順次連続して、細かさの異なる線パターンが照射される、ロボットアームに保持されている測定ヘッドを備えた、本発明の光学式測定システム

【図7】測定中の手の震えによる不静止が表されている、手持ち式測定ヘッドを備えた、本発明の光学式測定システム

【図8】測定対象物が、測定領域を拡大するために、種々の位置に動かされ、これらの種々の位置で撮影された画像が、測定された加速度に基づいて結合される、測定対象物に配置されているIMUを備えた、本発明の光学式測定システム

【図9】測定ヘッドが、測定領域を拡大するために、種々の位置に動かされ、これらの種々の位置で撮影された画像が、測定された加速度に基づいて結合される、手持ち式かつIMUを有している測定ヘッドを備えた、本発明の光学式測定システム

40

【図10】隣接する製造ステーションから伝えられる、本発明の測定システムによる測定に作用する振動が、測定された加速度に基づいて補償される、製造ラインで使用される、本発明の光学式測定システム

【実施例】

【0061】

図1に示されている光学式測定システム7は、測定対象物表面1sの多数の測定点の三次元座標を特定するために、本発明による投影器3、カメラシステム4、評価ユニット6並びに慣性計測ユニット(IMU)内に組み込まれている慣性センサ5aを有している。

【0062】

50

投影器 3 はここで、測定対象物表面 1 s に、種々異なるライトパターン 2 a から成るパターンシーケンスを照射するように構成されている。例えば、パターン投影器 3 は、スライド映写機の原理と類似して構成される。しかし、ライトパターン 2 a を形成するために、別の投影技術も使用可能である。これは例えばプログラミング可能な LCD 投影器、投影器内の種々の格子構造を備えたシフト可能なガラス担体、電氣的に接続可能な格子と機械的なシフト装置との組み合わせまたはガラス担体に基づいた個別格子の投影である。

【 0 0 6 3 】

カメラシステム 4 は、パターンシーケンスが照射される測定対象物表面 1 s の画像シーケンスを撮影するように構成されており、ここでは少なくとも 1 つのカメラを有している。しかし、殊に 2 つ、3 つまたは 4 つのカメラ 4 a、4 b、4 c を有している。これらのカメラは例えば、固定されたかつ既知の位置付けおよび配向で相対的に配置され、特別な場合には、個別画像の実質的に同時に行われる撮影を行うように構成される。

10

【 0 0 6 4 】

当業者に知られているように、画像撮影のために、例えば、電子的な画像センサ、例えば CCD センサまたは CMOS センサを備えたカメラ 4 a、4 b、4 c が使用される。これらは、画像情報を、幅広い処理のための画像マトリクスの形態で提供する。ここではモノクロカメラも、カラーカメラも使用可能である。

【 0 0 6 5 】

評価ユニット 6 は、画像シーケンスから、殊に撮影された画像シーケンスの各画像における測定対象物表面 1 s の同じ測定点に対して輝度値シーケンスを求めながら、測定点の三次元座標を求めるように構成されている。

20

【 0 0 6 6 】

投影器 3 およびカメラシステム 4 は、実施例では、固定されておりかつ既知である位置付けおよび配向で相互に、物質的に、測定システム 7 の共通の測定ヘッド 8 内に収容されており、ここで殊に測定ヘッド 8 は手持ち式および/またはロボットアームに取り付けられるように構成されている。

【 0 0 6 7 】

本発明では、測定ヘッド 8 内に、慣性センサ 5 a を有している IMU も組み込まれる。ここでこの慣性センサ 5 a は、画像シーケンスの撮影時に測定ヘッド 8 (すなわち投影器 3 およびカメラシステム 4) の並進加速度および回転加速度を測定するように構成されている。慣性センサ 5 a はここで、少なくとも次のような測定レートで加速度を測定するように構成されている。すなわち、画像シーケンスの各個別画像の露光時間の間に、それぞれ複数の値、殊に多数の値が加速度に対して検出されるような測定レートである。

30

【 0 0 6 8 】

評価ユニット 6 はここで次のように構成されている。すなわち、これによって、慣性センサ 5 a およびカメラシステム 4 の同期した制御が行われて、画像シーケンスの撮影時に、少なくとも画像シーケンスの個別画像の露光時間の間に、それぞれ複数の値が、加速度に対して検出されるように構成されている。

【 0 0 6 9 】

これによって最終的に本発明では、評価ユニット 6 によって、投影器 3、カメラシステム 4 および/または測定対象物 1 の運動のアルゴリズムを用いた考慮が、慣性センサ 5 a によって測定された、三次元座標の特定のための加速度に基づいて行われる。ここでこの運動は、画像シーケンスの各個別画像内のぶれおよび/またはモーションブラーを生起させる。

40

【 0 0 7 0 】

殊に、ここでは、各画像に対する測定された加速に基づいて、別個に、個別画像の露光時間中の運動によって生じる画像内の作用(ぶれ/モーションブラー)の補償または修正が行われる。

【 0 0 7 1 】

このために評価ユニット 6 は、次のように構成される。すなわち、測定された加速度に

50

依存して、画像シーケンスの各個別画像の露光時間中に生じる投影器 3、カメラシステム 4 および / または測定対象物 1 の運動によって生じる、ぶれおよび / またはモーションブラーの補償および / または修正が、それぞれ、画像シーケンスの個別画像内で行われるように構成される。

【 0 0 7 2 】

すなわち、要約すると、画像シーケンスの個別画像の露光時間中、加速度は十分に高いレートで（すなわち、少なくとも幾つか、例えば 5 ~ 5 0 個の加速度値が、個別画像の露光持続時間あたり供給されるレートで）検出され、これに基づいて、画像内のぶれおよび / またはモーションブラーを誘発する、画像シーケンスの個別画像の露光時間中の投影器、カメラシステムおよび / または測定対象物の運動が、測定されたこの加速度値に基づいて、アルゴリズムを用いて考慮される。有利には、測定された加速度値は、例えば、写真技術から、以前から既知の方法に従って、画像シーケンスの個別画像内のぶれおよび / またはモーションブラーを補償または修正するために使用される。

10

【 0 0 7 3 】

慣性計測ユニットの慣性センサ 5 a は、ここで殊に、MEMS ベースの部品に基づいており、次のように組み合わせられ、IMU 内に組み込まれる。すなわち、全ての 6 つの慣性度において加速度を測定するように構成されており、殊に、約 5 0 ~ 2 0 0 0 H z の測定レートで測定するように構成されている。

【 0 0 7 4 】

従って、図示された光学式測定システム 7 は、殊に自動的および評価ユニット 6 によって事前に制御されて、本発明の光学式測定方法を実施するように、上述のように構成および設計される。

20

【 0 0 7 5 】

本発明による光学式測定システム 7 の、図 2 に示された実施例は、手持ち式であり、かつ、IMU（慣性センサ 5 a を含んでいる）と投影器 3 と 3 つのカメラ 4 a、4 b、4 c とを含んでいる測定ヘッド 8（例えばグリップを備えた手持ち式ケーシング内に組み込まれており、ライトパターンニング 3 D ハンディスキャナーとして構成されている）を有している。ここでは測定対象物 1 である自動車ドアに、三次元座標特定において、投影器 3 に基づいてパターン 2 a（パターンシーケンスの一部である）が照射される。

【 0 0 7 6 】

ここでは例えば固定され、かつ公知の位置付けおよび相互配向で配置されている、カメラシステム 4 の 3 つのカメラ 4 a、4 b、4 c は、パターンシーケンスが照射される自動車ドアの画像シーケンスを撮影するように構成されている。カメラ 4 a、4 b、4 c は、ここで実質的に、個別画像の同時に行われる撮影のために構成される。

30

【 0 0 7 7 】

さらに、同様に、慣性計測ユニット（慣性センサ 5 a を含んでいる）が、測定ヘッド 8 内に組み込まれている。これによって、例えば手の震えによって生じる不静止によって生じる、画像シーケンスの評価および三次元座標の導出における、測定エラーが、本発明に相応して補償される。殊に、評価ユニットによって自動的および事前にプログラミングされたように制御されて、図示の測定システム 7 は、本発明による光学式測定方法を実施するために、上述したように、構成および設計される。

40

【 0 0 7 8 】

図 3 および 4 は、本発明による光学式測定システム 7 を示している。これは、手持ち式であり、かつ、IMU（慣性センサ 5 a を有している）と投影器 3 とカメラ 4 a を有している測定ヘッド 8（例えばグリップを有する手持ち式のケーシング内に組み込まれており、ライトパターン 3 D ハンディスキャナーとして構成されている）を備えている。ここで測定対象物 1 である自動車扉に、順次連続して、異なる細かさを有するパターン 2 a、2 b が、パターンシーケンスの一部として照射される。図 3 は粗いパターン 2 a であり、図 4 は微細にパターンニングされたパターン 2 b である。

【 0 0 7 9 】

50

すなわち、従来技術から明らかであるように、対象物（例えば自動車ドア）に、異なるパターンニング細度を有するライトパターン 2 a、2 b のシーケンスが照射され、これによって、三角測量（前方交会法）を用いて、測定領域における測定点の明確な深度特定が実現される。ここで複数の画像撮影（すなわち、一連の画像）も、測定対象物 1 に対応する異なるパターン 2 a、2 b を照射して、行われる（すなわち、一連のパターン）。

【0080】

本発明ではここで、同様に、慣性計測ユニット（慣性センサ 5 a を有している）が、図 3 および 4 に示されている 3 D スキャナーの測定ヘッド 8 内に組み込まれている。これによって、例えば手の振るえが起因する不静止によって生じる、画像シーケンスの評価および三次元座標の導出時の測定エラーが本発明によって補償される。殊に自動的および評価ユニットによって事前にプログラミングされて制御されて、図示の光学測定システム 7 は、本発明による光学測定方法の、個々のまたは複数の実施形態（例えば請求項 1 から 8 までのいずれか 1 項）を実施するように構成および設計される。

10

【0081】

図 5 および 6 において、本願発明の光学測定システム 7 は、測定ヘッド 8 がここではロボットアームに保持されている測定ヘッド 8 として構成されており、投影器 3 が順次連続して行われる、異なる細さを有しているストリップパターン 2 a、2 b をパターンシーケンスとして、投影するように構成されていることを除いて、図 3 および 4 と類似して示されている。

【0082】

20

本発明では、図 3 および 4 に示されている測定ヘッド 8 も、慣性計測ユニット I M U（慣性センサ 5 a を備えている）を有している。これによって、測定領域周辺からロボットアームに伝達される振動によって生じる測定エラーの本発明による補償が、画像シーケンスの評価および三次元座標の導出の枠内で行われる。択一的または付加的に、測定された加速度は、種々のロボットアーム位置から導出された個々の個別画像（1 つまたは複数の画像シーケンスの部分として）を空間的に合成するためにも使用される。従ってこれによって、当業者が必要に応じて整合させることができる種々の撮影位置の選択に応じて、測定領域が拡大されるおよび/または圧縮される。または、パターンシーケンスの各パターン 2 a、2 b における、実質的にコヒーレントな光学ビームの照射時に不所望に生じるスペckル場の変化、ひいては、このようなスペckル場によって生じる局所的な測定の不正確さまたは測定点の間隙の低減が生じる。

30

【0083】

図 7 および 9 は、図 1 と類似した測定システム 7 を示しており、ここでは、測定中の（意図せずに手の振るえによって生じる、または、例えば測定領域の圧縮または拡大のための意図的な）測定ヘッド 8 の不静止/運動を示している。I M U（慣性センサ 5 a を備えている）に基づいて測定された加速度はこの場合には、異なる手持ち位置から個々に検出された個別画像（1 つまたは複数の画像シーケンスの一部として）を空間的に合成する（スティッチする）ために、使用される。

【0084】

しかしこれに加えてここで、測定対象物 1 上の個々のパターン投影 2 a、2 b（1 つのパターンシーケンス）のぶれ、および、個別画像撮影（1 つの画像シーケンス）のぶれも生起される。ここでこのぶれによって生じる、画像内のエラーは同様に、本発明によって、測定ヘッド 8 内に組み込まれている I M U によって測定された加速度に基づいて修正される、または、三次元座標の特定の枠内で、補償されないしは考慮される。

40

【0085】

図 8 は、測定対象物 1 に配置されている I M U（慣性センサ 5 b を備えている）の本発明による光学的な測定システム 7 を示している。ここでこの測定対象物 1 は例えば、測定領域の拡大のために種々の位置に動かされ、本発明と対応に、（画像シーケンスの）個別画像内で検出された測定対象物 1 の種々の位置が、I M U 測定された加速度に基づいて結合され、相互に空間的に関係付けされる。

50

【0086】

測定対象物1でのIMU(慣性センサ5bを備えている)に対して付加的に、同様に、測定ヘッド8自体内にも、IMU(慣性センサ5aを備えている)を組み込むことができる。これによって、上述のようにさらに、測定中に生じる測定ヘッド8の運動も、本発明と相応に、深度情報および三次元座標を求める際に考慮される。

【0087】

図10は、製造ラインにおいて使用されている、本発明による光学式測定システム7を示している。ここでは、隣接する製造ステーションから伝達される、本発明による測定システム7を用いた測定に作用する振動が、測定された加速度に基づいて補償される。

【0088】

このために、本発明では、例えば図8に関連して上述したように、測定対象物1にも、測定ヘッド8(これはここでは単に例として2つのカメラを有している)内にも、それぞれ1つのIMU(慣性センサ5aないしは5bを備えている)が配置される。これによって、例えば測定領域周辺からロボットアームに伝達された振動および測定ヘッド8の不静止によって生じる、測定エラーが本発明に従って補償される。これは、画像シーケンスの評価および三次元座標の導出の枠内で行われる。

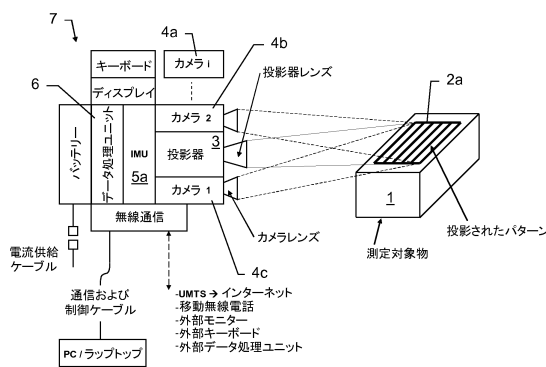
【0089】

これらの示された図は、単に、可能な実施例を概略的に示しているだけであることを理解されたい。種々のアプローチは同様に相互に組み合わせ可能であり、同様に、従来技術の方法と組み合わせ可能である。

10

20

【図1】



【図3】

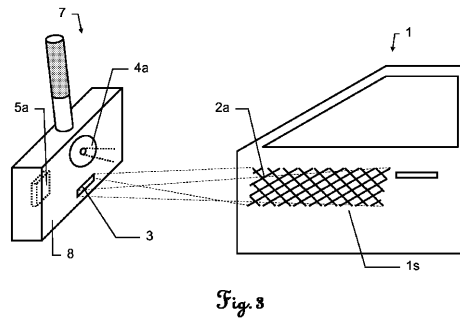


Fig. 3

【図2】

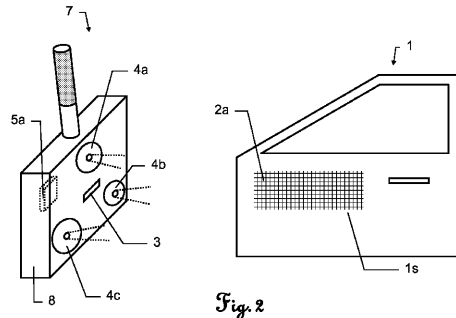


Fig. 2

【図4】

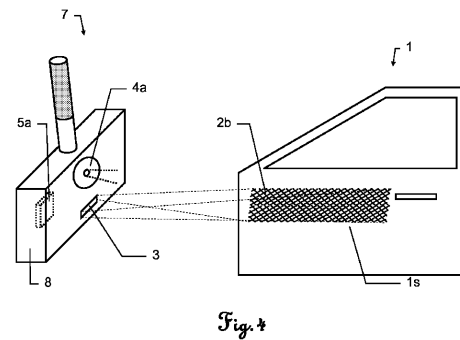


Fig. 4

【 図 5 】

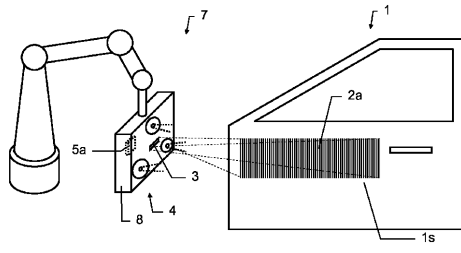


Fig. 5

【 図 6 】

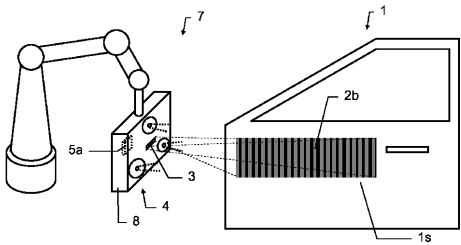


Fig. 6

【 図 7 】

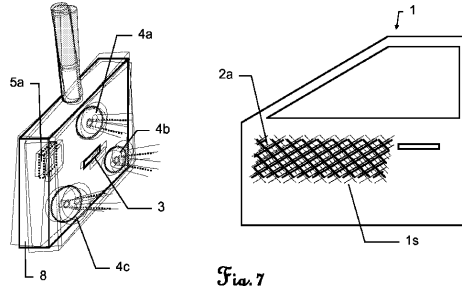


Fig. 7

【 図 8 】

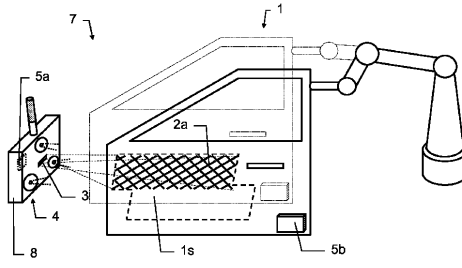


Fig. 8

【 図 9 】

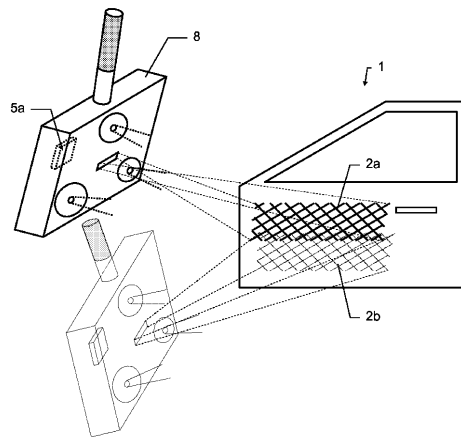


Fig. 9

【 図 10 】

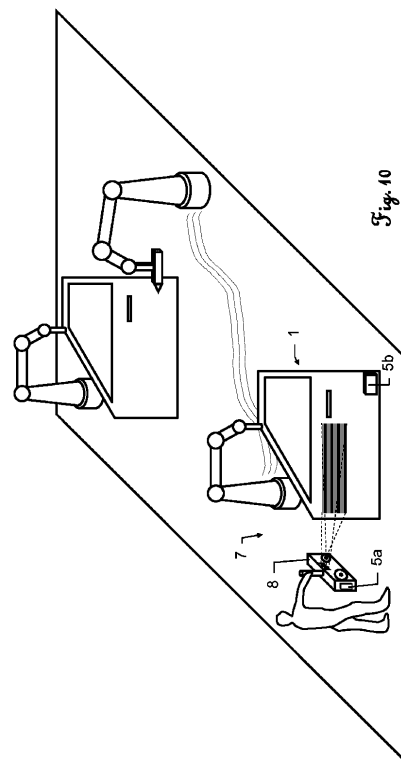


Fig. 10

---

フロントページの続き

(74)代理人 100165940

弁理士 大谷 令子

(72)発明者 クヌート ズィアクス

スイス国 メアシュヴィル アウガーテンシュトラーセ 29

審査官 櫻井 仁

(56)参考文献 特開2002-054912(JP,A)

特表2006-525066(JP,A)

特開2010-069301(JP,A)

特表2010-507079(JP,A)

特開2008-089314(JP,A)

特開2009-078133(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00~11/30

G01B 21/00~21/32

A61B 1/00~ 1/32

A61C 1/00~ 5/06

5/14~ 7/00

19/00から19/10