

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-518123

(P2004-518123A)

(43) 公表日 平成16年6月17日(2004.6.17)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
GO 1 B 11/00	GO 1 B 11/00	Z 2 F 0 6 5
B 6 2 D 65/00	B 6 2 D 65/00	Z 3 D 1 1 4

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 39 頁)

(21) 出願番号	特願2002-557747 (P2002-557747)	(71) 出願人	500340819 パーセプトロン インコーポレイテッド PERCEPTRON, INCORPORATED アメリカ合衆国 ミシガン州 48170-2461 プリマウス ハリヤード ドライブ 47827
(86) (22) 出願日	平成14年1月15日 (2002.1.15)	(74) 代理人	100058479 弁理士 鈴江 武彦
(85) 翻訳文提出日	平成15年7月15日 (2003.7.15)	(74) 代理人	100091351 弁理士 河野 哲
(86) 国際出願番号	PCT/US2002/001402	(74) 代理人	100088683 弁理士 中村 誠
(87) 国際公開番号	W02002/057712	(74) 代理人	100108855 弁理士 蔵田 昌俊
(87) 国際公開日	平成14年7月25日 (2002.7.25)		
(31) 優先権主張番号	09/761, 128		
(32) 優先日	平成13年1月16日 (2001.1.16)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

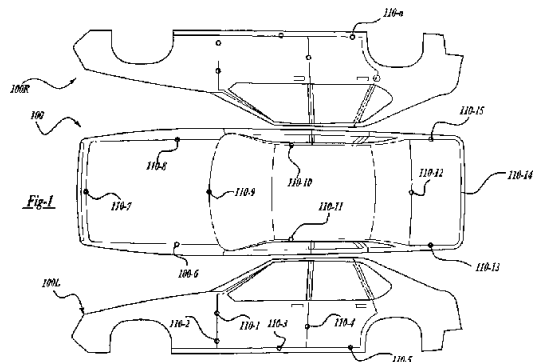
(54) 【発明の名称】 外部座標系に対して非接触形状測定センサーを較正する方法並びに装置

(57) 【要約】

【課題】

【解決手段】この校正システムは、製造測量ステーション(200)と関連した外部基準フレームに対してセンサーを校正するために設けられている。ターゲット校正装置(600)が、外部基準フレームと関連したその基準フレームを検出して校正するように視点に配置されている。少なくとも3つの非共面の反射面を有する基準ターゲット(406)が、センサーから射出された構造光により照射される。このようにして、校正システムは、センサーに関連した基準ターゲットの空間位置と向きとを決定することができる。また、校正システムは、ターゲット校正装置と形状測定センサー(240)とからの測定データを座標化するための座標変換システムを有し、この結果、形状測定センサー(240)は、外部基準フレームに対して校正される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

センサー基準フレームと関連した感知領域を有する非接触センサーを外部基準フレームに対して校正するためのセンサー校正システムであって、

校正装置の基準フレームに関連した校正観察フィールドを有するターゲット校正装置と、このターゲット校正装置の観察視野内と形状測定センサーの前記感知領域内とに位置し、少なくとも3つの非共面の反射面を有する基準ターゲットとを具備するシステム。

【請求項 2】

前記基準ターゲットの各反射面は、結像アレイを支持するようになされている請求項 1 の校正システム。

10

【請求項 3】

前記形状測定センサーは、構造光を射出する能動光学センサーであり、また、各結像アレイは、形状測定センサーからの構造光を検出するように動作可能であり、かくして、形状測定センサーに関連した基準ターゲットの位置を決定する請求項 2 の校正システム。

【請求項 4】

各反射面部材は、反射面上に沿って並べられた一連の可視ドットを有する請求項 1 の校正システム。

【請求項 5】

前記校正システムは、この校正システムが、各反射面上の可視ドットの少なくとも1つの位置を決定するように動作可能なように、構造光を射出して、その反射光を検出し、かくして、形状測定センサーに関連した基準ターゲットの位置を決定する請求項 4 の校正システム。

20

【請求項 6】

基準指標が校正フィールド内にある視点に前記ターゲット校正装置が位置され得るように、前記外部基準フレームに対して所定の関係で位置された基準指標と、前記基準指標からのデータを集めて、校正装置の基準フレームと外部基準フレームとの間の第1の関係を確立するように、前記ターゲット校正装置に組み合わされる座標変換システムとを更に具備し、

この座標変換システムは、基準ターゲットからのデータを集めて、校正装置の基準フレームと形状測定センサーの基準フレームとの間の第2の関係を確立するように、前記ターゲット校正装置と形状測定センサーとに組み合わされるようになっており、また、前記座標変換システムは、外部基準フレームと形状測定センサーの基準フレームとの間の第3の関係を決定し、かくして、前記形状測定センサーは、外部基準フレームに対して校正されている、請求項 1 の校正システム。

30

【請求項 7】

前記ターゲット校正装置は、更に、レーザ追跡装置として構成されている請求項 6 の校正システム。

【請求項 8】

前記基準ターゲットは、基準ターゲットに固定された逆反射体を更に有する請求項 7 の校正システム。

40

【請求項 9】

前記レーザ追跡装置は、少なくとも3つの非共線位置での前記逆反射体の中心位置を追跡して、前記校正装置の基準フレームと形状測定センサーの基準フレームとの間の第2の関係を確立する請求項 8 の校正システム。

【請求項 10】

前記ターゲット校正装置は、前記基準指標が校正フィールド内にあるように、少なくとも2つの視点に配置可能な少なくとも2つの写真測量カメラにより更に構成されている請求項 6 の校正システム。

【請求項 11】

前記ターゲットは、複数の写真測量ターゲットを更に有する請求項 10 の校正システム。

50

【請求項 1 2】

前記写真測量カメラは、少なくとも 2 つの非共線位置の、前記基準ターゲットの位置を測定して、前記校正装置の基準フレームと形状測定センサーの基準フレームとの間の前記第 2 の関係を確立する請求項 1 1 の校正システム。

【請求項 1 3】

前記ターゲット校正装置は、前記基準指標が校正フィールド内にあるように、少なくとも 2 つの視点に配置可能な少なくとも 2 つのセオドライト装置により更に構成されている請求項 6 の校正システム。

【請求項 1 4】

前記基準ターゲットは、更に、複数のセオドライトターゲットを有する請求項 1 3 の校正システム。 10

【請求項 1 5】

前記セオドライト装置は、少なくとも 3 つの位置で、前記基準ターゲットの位置を測定して、前記校正装置の基準フレームと形状測定センサーの基準フレームとの間の前記第 2 の関係を確立する請求項 1 4 の校正システム。

【請求項 1 6】

ワークピースを測定するための測量ステーションを更に具備し、前記形状測定センサーは、ワークピース上の位置を決定するように、測量ステーションに接続されている請求項 1 の校正システム。

【請求項 1 7】

前記ワークピースは、自動車である請求項 1 4 の校正システム。 20

【請求項 1 8】

前記校正システムは、自動車製造システム内で動作する請求項 1 の校正システム。

【請求項 1 9】

第 1 の関係に従って外部基準フレームに対する固定位置を有するターゲット校正装置を使用して外部基準フレームに対して形状測定センサーを校正するための方法であって、前記ターゲット校正装置の観察視野内と形状測定センサーの前記感知領域内とに、ベースに接続された少なくとも 3 つの非共線起立反射部材を有する基準ターゲットを位置させる工程と、

前記ターゲット校正装置と基準ターゲットとを使用して、外部基準フレームに対する基準ターゲットの位置を規定する、基準ターゲットと外部基準フレームとの間の第 2 の位置を決定する工程と、 30

前記形状測定センサーと基準ターゲットとを使用して、基準ターゲットの位置に対する形状測定センサーの位置を規定する、基準ターゲットと形状測定センサーとの間の第 3 の位置を決定する工程と、

前記第 1、第 2、並びに第 3 の関係に基づいて前記外部基準フレームに対して形状測定センサーを校正する工程とを具備するセンサー校正方法。

【請求項 2 0】

前記第 2 の関係は、前記外部基準フレームに対する基準ターゲットの位置と向きとを決定する請求項 1 9 のセンサー校正方法。 40

【請求項 2 1】

前記第 3 の関係は、前記形状測定センサーの位置と向きとに対する前記基準ターゲットの位置と向きとを決定する請求項 1 9 のセンサー校正方法。

【請求項 2 2】

前記第 3 の関係を決定する工程は、

前記形状測定センサーの視野内に、前記基準ターゲットを位置させることと、

前記形状測定センサーから、前記基準ターゲットに構造光を投光することと、

前記基準ターゲットから形状測定センサーに反射された構造光に基づいて、前記形状測定センサーに対する基準ターゲットの位置を決定することを含む請求項 1 9 のセンサー校正方法。 50

【請求項 23】

前記ターゲット校正装置は、更に、レーザ追跡装置として構成されている請求項 19 のセンサー校正方法。

【請求項 24】

前記基準ターゲットは、基準ターゲットに固定された逆反射体を更に有する請求項 23 のセンサー校正方法。

【請求項 25】

前記レーザ追跡装置は、少なくとも 3 つの非共線位置での前記逆反射体の中心位置を追跡して、前記校正装置の基準フレームと形状測定センサーの基準フレームとの間の第 2 の関係を確立する請求項 24 のセンサー校正方法。

10

【請求項 26】

前記ターゲット校正装置は、前記基準指標が校正フィールド内にあるように、少なくとも 2 つの視点に配置可能な少なくとも 2 つの写真測量カメラにより更に構成されている請求項 19 のセンサー校正方法。

【請求項 27】

前記ターゲットは、複数の写真測量ターゲットを更に有する請求項 26 のセンサー校正方法。

【請求項 28】

前記写真測量カメラは、少なくとも 3 つの非共線位置の、前記基準ターゲットの位置を測定して、前記校正装置の基準フレームと形状測定センサーの基準フレームとの間の前記第 2 の関係を確立する請求項 27 のセンサー校正方法。

20

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

本出願は、1998年5月5日に特許になった米国特許No. 5,748,505の継続出願である、1998年5月4日出願された米国特許出願No. 09/073,205の一部継続出願である、1998年2月25日出願された米国特許出願No. 09/030,439の一部継続出願である、"Method and Apparatus for Calibrating a Non-Contact Gauging Sensor with Respect to an External Coordinate System"の名称で1999年8月17日出願された米国特許出願No. 09/378,451の一部継続出願である。これら出願は、同じ譲受人による。

30

【0002】

本発明は、非接触形状測定システムに一般的に関する。特に、本発明は、非接触形状測定システムを校正するための装置システム並びに方法に関する。

【0003】**【従来技術】**

自動車のような大量生産物品の製造者は、高品質への要求に対応するために、組立ラインでの製造は、最初に考えたときには、知られていない自動製造技術を使用しなければならない。現在、ロボット技術が、以前に可能であった製品を組立、溶接、仕上げ、計測、並びにテストするために使用されている。コンピュータ支援製造技術により、デザイナーは、コンピュータのワークステーションにおいて新製品をグラフィック的に概念化して設計することが可能であり、また、自動製造プロセスは、デザインが仕様に従って精度良く忠実になされることを確実にしている。マシン視覚が、現在の製造環境ではキポイントとなっている。マシン視覚システムは、ロボットと共に使用され、また、高品質を果たすコンピュータ支援デザインシステムが、最低の実質コストで果たされる。

40

【0004】

高品質でパーツを製造することは、高精度で校正されたマシン視覚センサーを必要としている。センサーは、対象とする製造される形態を認識するように適当な解像度を有していなければならないだけでなく、センサーは、対象とする形態がワークピース上の他の形

50

態に関連され得るように、基準の既知のフレームに正確に校正されなければならない。正確な校正がなくて、最も感度が良い場合には、高解像度のセンサーは、高品質の結果を得ることはできないであろう。

【0005】

代表的な製造環境内には、ワークピースの製造、形状測定もしくはテストのステーション内の種々の所定の場所に配置された、光学センサーのような複数の異なる非接触センサーが設けられ得る。ワークピースは、このようなステーション内の所定の固定された位置に置かれて、ワークピースの種々の所定形態がセンサーで形状測定されることを可能にしている。好ましくは、センサーの全ては、適当に配置されて、ワークピースもしくはワークステーションの共通基準フレームのようなある種の共通固定フレームに対して注意深く校正されなければならない。

10

【0006】

適当に配置並びに校正されたセンサーを維持するためには、幾つかの問題がある。代表的な製造環境において、センサー並びにこれらに関連した装着構造体は、当てられて、センサーをアラインメントから外してしまう。また、センサーは、時々交換される必要があり、この場合にはほとんど再配向並びに再校正が要求される。全く単純なセンサーの位置付け、アラインメント並びに校正は、代表的な製造プラントにおいて、注意深くすることが必要である。

【0007】

適切なセンサーの位置付け、アラインメント並びに校正は、かなりの時間と労力とを必要とする。即ち、所定の部品もしくは組立品に対して、全体の製造組立ラインをシャットダウンしてワークステーションを始めに戻してから、センサーは、位置付け、アラインメント並びに校正される。ある場合には、このことは、部品もしくは組立品を高精度で非常に高価なフルスケールモデルでワークステーションに位置させることが必要となる。このような独立して測定された部品は、度々、マスター部品と称されている。このマスター部品は、ワークステーションの外部座標系を用いた注意深い表示で配置され、また、各センサーは、割り当てられた形態（例えば、孔しくはエッジ）上を移動される。そして、位置付けられると、センサーは、その位置なロックされて校正され、また、マスター部品は除去される。この後に、組立ラインは、オンラインに戻される。

20

【0008】

前記マスタ部品を使用する異なる方法として、ターゲットをセンサーに装着し、センサーにより発生される構造光の面を使用してターゲットを照明することにより形状測定センサーを校正することが可能である。セオドライトのような1対の光学的視覚装置が、ワークスペース内の異なる視点に配置される。これらセオドライトは、ターゲットの位置の独立した読み取りを果たすように、照明されたターゲットを三角法で測定する。これらセオドライトは、外部の基準フレームに対して注意深く定められた場所に配置される。構造光をターゲット上に投影する形状測定センサーを使用して、セオドライトは、照明されたターゲットに手動で照準されて、読み取りがなされる。これらセオドライトと形状測定センサーとの夫々の読み取りは、外部の基準フレームに対してセンサーを校正するように、座標にプロットされると共に送られる。それは、トライアル並びにエラープロセスである。センサーが、再配向されることが必要であると（度々あるように）、セオドライトは、各センサーの位置調節の後に、ターゲット上に手動で保持されなければならない。校正技術での多くの情報に対しては、Dewar et al に対しての 米国特許 No. 4, 841, 460 により判る。

30

40

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

上記両校正技術をする場合に、より効率良くかつ容易に果たし、かつ高価なマスタ部品に頼ることを減じる校正技術で対象物を考えられ得る。このために、本発明は、時間に代わって分のレベルで使用され得、高精度で製造されるマスター部品の必要性をなくした校正システムを提供する。本発明の主な効果の1つは、ラインをシャットダウンして期間を延

50

長する必要がない、ライン間でのチェックもしくは再配置されるようにセンサーを校正することが可能であることである。

【0010】

【課題を解決するための手段】

校正システムは、製造もしくは組立て領域、もしくは測量ステーションの外部基準フレームと固定の関係で配置された基準指標を使用している。ターゲット校正装置が、視点、代表的には測量ステーションの上方に配置されており、この結果、前記基準指標は、ターゲット校正装置の視野内にある。このターゲット校正装置は、測量ステーション内の携帯可能な基準ターゲットの空間位置と向きとを決定するように動作する。一例のターゲット校正装置は、これに限定されることはないが、写真測量システム、セオドライトシステム、もしくはレーザ追跡システムを含み得る。

10

【0011】

校正システムは、更に、ターゲット校正装置の観察視野内と、また、形状測定センサーの感知領域内とに配置された携帯可能な基準ターゲットを使用している。現在の好ましい携帯可能な基準ターゲットは、形状測定センサーから射出される構造光により照射され得る少なくとも3つの非共面の反射構造体（例えば、真直ぐなエッジ）を与える三次元のフレームワークである。本発明の一部として、形状測定センサーは、これに限定されることはないが、構造光の三角法形状測定センサーを含む。前記非共面の反射構造体は、携帯可能な基準ターゲットの位置と向きとを測定するための空間データを形状測定センサーに与えるけれども、本発明は、可視ドットパターンもしくは光感知結像アレイ装置（例えば、C

20

【0012】

校正システムは、更に、ターゲット校正装置と形状測定センサーとから測定データを座標化するための座標変換システムを有する。更に、この校正システムは、ターゲット校正装置と形状測定センサーとからデータを集めるようになっていて、前記変換システムは、ターゲット校正装置と外部基準フレームとの間の第1の関係を確立する。また、この変換システムは、ターゲット校正装置の基準フレームと形状測定センサーの基準フレームとの間の第2の関係を確立する。最後に、この変換システムは、形状測定センサーの基準フレームと外部基準フレームとの間の第3の関係を決定し、かくして、形状測定センサーは、外部基準フレームに対して校正される。

30

【0013】

本発明のシステムと技術とは、形状測定センサーの簡単な校正を可能とする。ターゲット校正装置は、基準指標によって外部基準フレームに最初に校正される。次に、携帯可能な基準ターゲットは、ターゲット校正装置と形状測定センサーとの視野内に配置される。そして、この携帯可能な基準ターゲットは、ターゲット校正装置の基準フレームに対して校正される。かくして、形状測定センサーは、形状測定センサーから携帯可能な基準ターゲットへ構造光を投影することにより校正される。この構造光は、ターゲットと交差し、形状測定センサーに読み取られるターゲットのエッジでの反射光パターンを発生させる。前記座標変換システムは、どこで構造光がターゲットと関連した光感知結像アレイ装置もしくはドットパターンに当たるかに関する測定データを同じに受ける。かくして、この座標変換システムは、外部基準フレームに戻す形状測定センサーのデータをマップ付けする適当な座標変換を果たす。全校正シーケンスは、非常に迅速になされ得る。

40

【0014】

本発明と、この目的と、効果との完全な理解のために、添付図面を参照した以下の説明がなされる。

【0015】

【発明の実施の形態】

図1には、他の自動車構成部品と組合わされる前で、所定のキーポイントの測量が必要で

50

ある代表的な自動車の車体の一部が示されている。図1のワークピース100上の対象物の種々のポイントがポイント110-1ないし110-nとして示されている。車体の左側面100Lと車体の右側面100Rとは、図1では便宜のために折り曲げられていない“unfolded”で示されている。これらポイントの代表的な使用もしくはこれらポイントが選択される方法は、例えば、ワークピース100に対して組立プロセスを確実に果たさせることにより導かれる。例えば、自動車の前側のボンネットキャビティの上方には、まだボンネットが組立てられていないことを仮定している。かくして、ポイント110-6, 110-7, 110-8, 110-9でのようなポイントの周辺の測定については、車体へのボンネットの組立を果たすことが、組立てられる部品間の許容され得る状態ではなされ得るか否かを決定するようになされる得る。

10

【0016】

本発明の譲受人に与えられたDewar et alへの米国特許No. 4,645,348に開示されている光学的配置を含む多くのセンサーの配置が知られているが、如何なる所望の基準フレームに対する大型のワークピースの周り目標の全ての所望のポイントでのセンサー読取りを校正するにはかなりの時間を必要としている。本発明は、比較的早い校正に対する必要性に向けられている。

【0017】

図1に示されるような自動車の部品のための代表的な測量ステーションは、図2に示す形態を取り得る。測量ステーション200で測定されるワークピースが、搬送パレット220上に乗っている。これら搬送パレットは、これらのガイドチャンネル231を通るパレットガイド230により、組立ラインに沿って移動される。測量ステーション200で、センサー装着フレーム210（これの半分のみが図2で斜視図で示されている）が、測定されるワークピース100を囲んでおり、例えば、各々が米国特許No. 4,645,348の説明に従ってデザインされた一連の光学形状測定センサー、即ち、非接触形状測定センサー240-1ないし240-nに対する複数の装着場所を与えている。明確にするために、図2には特に示されていない伝送ケーブルが、センサー240をマシン視覚コンピュータ250に接続している。このコンピュータは、CRT、即ち、陰極線管ディスプレイ251を備えている。代表的なマシン視覚コンピュータは、オプションとしてプリンター260を有する。本発明の装置並びに方法は、例えば、測定されるワークピース100と関連した所定の外部座標系、即ち、基準フレームに対してか、測量ステーション自身

20

30

【0018】

図3で、前記測量ステーション200は、本発明の校正システムと関連して示されている。図示を簡単にするために、1つの形状測定センサー240のみが示されている。本発明の一部として、この形状測定センサー240は、構造光の三角法センサーを含むが、これには限定されることはない。この形状測定センサー240は、符号270の所で測量ステーションのフレームに調節可能に装着されている。かくして、形状測定センサー240は、位置が調節され得、かくして、対象のワークピース形態が位置付けされるスペース(x, y, z)内のポイントで適当に照準されると共に正確な姿勢（ピッチ、横揺れ角、ロール）で適当に配向されると、その位置に締めつけもしくはロックされる。この非接触形状測定センサー240は、感知領域と、これに関連したセンサー基準フレーム並びに座標系を有する。

40

【0019】

本発明の校正システムは、また、携帯可能な基準ターゲット400を有する。この携帯可能な基準ターゲット400は、これが校正動作のために形状測定センサー240の前に位置されることを可能にする適当な固定物に装着され得る。この場合、携帯可能な基準ターゲット400は、カンチレーバーム404を備えた簡単な三脚スタンド402に装着されて示されている。他の支持構造体が、本発明の範囲内で使用され得ることが想定される。さらに、携帯可能な基準ターゲット400は、形状測定センサー240から出る構造光

50

により照明され得る少なくとも3つの非共面の反射部材406を与える三次元フレームワークとして規定されている。これら非共面の反射部材406は、形状測定センサー240に、携帯可能な基準ターゲット400の位置と向きとを測定するための空間データを与えるけれども、測定データの精度は、光感知結像アレイ装置もしくは受動反射ドットを支持するように携帯可能な基準ターゲット400を適合させることにより改善される。

【0020】

図4に示されるように、一形式の携帯可能な基準ターゲット400は、平坦なベース408に結合された少なくとも3つの起立コーナ部材406により構成されている。各部材406の外側コーナエッジ405は、形状測定センサー240からの構造光面のための反射面として機能する。光感知電荷結合装置(CCD)もしくは他の光感知結像アレイ装置が、各部材406の外側コーナエッジ405に沿ってアラインメントされている。このようにして、CCDは、非接触センサー240からの構造光が携帯可能な基準ターゲット400のコーナ部材406の各々のどこに入射しているかに関する位置データを与える。このCCDは、1×N(リニア)装置であることが想定される。ここで、Nは、適当な解像度(例えば、4096ピクセル)を与えるように選定される。この分野の者は、少なくとも3つの非共面の反射面を与える他の幾何学的形態が携帯可能な基準ターゲットのために使用され得ることが容易に認識するであろう。

【0021】

図3に示すように、較正システムは、さらに、ターゲット較正装置600を有する。この装置は、測量ステーション200でワークピースが占めているスペースの上方のような適切な視点ポイントに配置され得る。代わって、ターゲット較正装置600は、これを測量ステーションフレームから吊り下げるか、これを移動可能なスタンドに装着するなど、所定の場所に一時的に位置され得る。この結果、ターゲット較正装置600は、製造施設内の位置間で移動可能となる。

【0022】

本発明の一態様に係れば、写真測量システム600が、ターゲット較正装置として機能する。この写真測量システムは、写真測量ターゲットとして光のドットもしくはポイントの良く知られた原理で動作する。一般的に、対として較正される少なくとも2つのカメラ604, 605が、三次元座標フレームで写真測量ターゲットを測定するために使用され得る。この写真測量システム600は、携帯可能な基準ターゲットに添えられる既知の座標で、少なくとも3つの非共面のポイントのXYZ座標を測定することができる。かくして、形状測定センサー240と写真測量システム600との間に6自由度(full six-degree-of-freedom)のリンクが形成される。幾つかの商業的に入手可能な写真測量システムが、センサーのリアルタイム位置フィードバックを与えるように速い十分な応答時間を与えることができる。一例の写真測量システムは、スエーデンのサバダレンにあるQualisysにより販売されているProRefles Motion Capture System、もしくはノールウェイのネスブルにあるMetronor ASAにより販売されているMetronor Systemである。

【0023】

前記2つの写真測量カメラ604, 605は、測量ステーション200でワークピースが占めているスペースの上方並びに/もしくは隣のような適切な視点ポイントに配置されている。複数の非共面写真測量ターゲット(特別には図示せず)が、また、携帯可能な基準ターゲット400のベース中に組み込まれている。この好ましい実施の形態において、発光ダイオード(LED)が、写真測量ターゲットとして機能する。単一のスイッチングLEDが、実施するのに容易であり、このために、現在では好ましいが、他の形式の能動もしくは受動写真測量ターゲット(例えば、ドット、孔、もしくは逆反射体)が、本発明に使用され得る。携帯可能な基準ターゲットの前記起立部材にアラインメントされた一連のドット(後述するように)が、また、写真測量ターゲットとして機能し得ることが想定される。携帯可能な基準ターゲット400が、写真測量カメラ604, 605の視野内にある限りは、これら写真測量カメラは、携帯可能な基準ターゲット400の位置の正確な決

10

20

30

40

50

定を与える。特に、3つ以上の非共線の写真測量(non-collinear photogrammetric)ターゲット測定は、携帯可能な基準ターゲット400の6自由度位置と向きとを得るであろう。

【0024】

本発明の原理を説明するために、形状測定センサー240が、固定測量ステーション200と関連した基準の外部フレームに対して較正されるようになっていくことが想定されるであろう。このことについて、外部基準フレーム R_E が、図3に図式的に示されている。複数の非同線の基準指標280a, 280b, 280cが、測量ステーション200の構造に組み込まれている。

【0025】

図5に示すように、携帯可能な基準ターゲット401のための第2の異なる好ましい実施の形態は、各光感知結像アレイ装置の代わりに一連のドット414を使用している。この携帯可能な基準ターゲット401は、一般的に、少なくとも3つの非共面の反射面を与える三次元フレームワークである。特に、このフレームワークは、平坦なベース412に結合された少なくとも3つの起立部材410により構成されている。一連の視覚ドット414が、各起立部材410の表面に沿って垂直に並べられている。これら視覚ドット414は、能動(例えば、発光ダイオード)でも受動(ドット、孔、もしくは逆反射体)でも良いことが想定される。

【0026】

携帯可能な基準ターゲット403の第3の他の実施の形態が、図6に示されている。再び、この携帯可能な基準ターゲット403は、各光感知結像アレイ装置の代わりに一連のドット414を使用している。この携帯可能な基準ターゲット403は、また、少なくとも3つの非共面の反射面を与える三次元フレームワークである。この場合、このフレームワークは、固体T字形基台411に形成された少なくとも3つの起立面410により構成されている。そして、この基台411は、平坦なベース412に装着されている。一連の視覚ドット414が、各起立面410に沿って垂直に並べられている。これら視覚ドット414は、好ましくは、白い背景に対しての受動黒ドットである。しかし、これら視覚ドット414は、孔もしくは逆反射体を含む他の形式の受動形体でも良いし、また、発光ダイオードのような能動装置でも良い。ターゲット較正装置が、レーザ追跡装置であれば、逆反射体802が、前記T字形基台の上面に装着され得る。しかし、この逆反射体802は、携帯可能な基準ターゲット401の他の場所にも装着され得る。

【0027】

動作において、携帯可能な基準ターゲット401, 403は、非接触形状測定センサー240から射出された構造光により照射される。受動視覚ドットもしくは孔の場合には、補助光が、レーザ線の上方もしくは下方の視覚ドット414もしくは孔を照明するために使用され得る。形状測定センサー240を動作させる較正システムは、携帯可能な基準ターゲット401, 403の視覚ドット414の空間位置に基づいて形状測定センサー240を較正することができる。センサーからの射出構造光は、起立部材410の2つのドット414間の領域に入射する。1つの形式の非接触形状測定センサー240は、構造光面内の測定のみを果たすようにデザインされている。このため、この場合には、矯正が必要である。ドット414は、センサー240の測定面内にはないけれども、図7に示されるように、面内に見える。この場合、単一の幾何学的投影が、視覚ドット414の物理的位置を、かくして、形状測定センサー240に対する携帯可能な基準ターゲット401, 403の位置を決定するように、三次元空間でなされる。

【0028】

以下に、図8を参照して、本発明の較正技術が説明される。第1に、ターゲット較正装置600が、外部基準フレームに対して、この正確な位置が外部基準フレーム内で知られるように、較正される。そして、この位置は、メモリーにストアされる。ターゲット較正装置に接続された座標変換系が、この工程のために使用され得る。好ましくは、この座標変換系は、図2のマシン視覚コンピュータ250のプロセッサ形成部である。工程701

10

20

30

40

50

で、携帯可能な基準ターゲット400が、ターゲット較正装置の較正フィールド内に位置される。かくして、ターゲット較正装置600は、ターゲット較正装置600の基準フレームと携帯可能な基準ターゲット401との間の関係を確認する。

【0029】

次に、工程702で、形状測定センサー240は、携帯可能な基準ターゲット400上に構造光を投影し、また、この携帯可能な基準ターゲット400から反射された光データを集める。前に説明されたように、起立面の位置が、確かめられ、そして、非接触形状測定センサー240の基準フレーム内の携帯可能な基準ターゲット400の空間位置を記述するために使用される。この携帯可能な基準ターゲット400の向きを決定するために、本発明の較正システムは、非接触センサー240からのデータと、ターゲット較正装置600からのデータとを同時に集める。基準ターゲットの第1の実施の形態の場合には、較正システムは、また、基準ターゲットの撮像アレイ装置からのデータも集める。工程703で、これら測定データは、外部基準フレームに対して非接触センサー240を位置させかつ較正させるために、組み合わせられる。これらデータが集められると、形状測定センサー240は、固定基準フレームR_Eに対して部分的に較正される。この測定は、外部基準フレーム並びに座標系に対して非接触センサー240の完全な位置と向きとを決定するように、センサーの視野内で好ましくは4つの異なる場所で繰り返すことが必要であろう。非接触センサー240の完全な位置と向きとを決定するための上記工程は、座標変換系をつくるプロセッサにより実行され得る。

10

【0030】

上記実施の形態では、ターゲット較正装置600が、最初に較正され、次に、携帯可能な基準ターゲット401の位置が較正され、そして、次に、非接触センサー240が校正されている。しかし、これら操作は、別のシーケンスでもなされ得、かくして、同じ最終結果となることは、自明である。

20

【0031】

写真測量システムに加えて、他のターゲット較正装置が、本発明の較正システムに関連して使用され得る。別の実施の形態において、サーボ従動レーザ追跡装置が、ターゲット較正装置として機能する。図9には、サーボ従動レーザ追跡装置800が、ワークピースが占めているスペースの上方のような測量ステーション内の適切な視点ポイントに配置され得る。代わって、レーザ追跡装置は、これを測量ステーションフレームから吊り下げるか、これを移動可能なスタンドに装着するなど、所定の場所に一時的に位置され得る。

30

【0032】

前記サーボ従動レーザ追跡装置800は、射出レーザビームを放射し、かつ入射レーザビームを検出する。このレーザ追跡装置800は、逆反射体802により反射されるような入射ビームの方向にレーザ追跡装置を向ける閉ループコントローラを有するサーボ駆動機構を有する。このレーザ追跡装置が、逆反射体の45ないし60°の視野内にある限りは、レーザ追跡装置800は、逆反射体802の位置を正確に追跡し、たどる。本発明においては、逆反射体は、基準ターゲット403の上面に、好ましくは固定されている。かくして、このレーザ追跡システムは、逆反射体が測量ステーション内で移動するのに従って、常時逆反射体の中心を精度良く追跡することができる。

40

【0033】

操作において、レーザ追跡装置のサーボシステム並びに閉ループコントローラは、逆反射体の中心を通る視線の信号表示を与え、適当な干渉計測定が、逆反射体の中心とレーザ追跡装置との間の距離を正確に確立するために使用され得る。しかし、レーザ追跡装置は、外部基準フレームとの部分的なリンクのみを与える。これは、逆反射体のX, Y, Z位置を発生させるであろう。6自由度(ピッチ、横揺れ角、ロールと同様にX, Y, Z)の全てを得るために、基準ターゲットは、データを得ている間、3もしくはこれ以上の位置に移動され得る。好ましくは、4もしくはこれ以上の非共線の位置ポイントが、使用される。これがなされると、データが、基準ターゲットのために6自由度の位置と向きに対して三角測量法が使用され得る。この較正技術を用いてレーザ追跡システムを使用するための更

50

なる情報は、“Method and Apparatus for Calibrating a Non-Contact Gauging Sensor with Respect to an External Coordinate System”の名称で1998年2月25日付けで出願された米国出願No. 09/030,439に見られる、これは、参照として組入れられる。

【0034】

他の好ましい実施の形態において、セオドライトシステム900が、ターゲット較正装置として機能する。このセオドライトシステム900は、原理的に遷移と同様に、水平角度と垂直角度とを測定するための、商業的に入手可能な測量装置(survey instrument)システムである。セオドライトの同作の基本的な数学上の原理は、セオドライトが、選択されたターゲットに対して水平角度と垂直角度とを測定することが可能なように、三角測量法に基づいている。この発明で使用するための一例のセオドライトシステムは、PC running Axyz ソフトウェアにより支援された、LeicaからのT105 Theodolite headを含む。

10

【0035】

図10に示されるように、少なくとも2つのセオドライト装置902,904が、測量ステーション200でワークピースが占めているスペース内の適切な視点ポイントに配置されている。特に示されていないけれど、複数の非共線のセオドライトで観察可能なターゲットが、形態可能な基準ターゲット401のベースの中に組み込まれている。これらセオドライトで観察可能なターゲットは、記述マーク(scribe mark)、ステッキドット(stick-on dot)、マシンで形成された孔、もしくは他の既知の形式のセオドライトで観察可能なターゲットを含み得る。再び、基準ターゲット401が、セオドライト装置902,904の視野内にある限りは、基準ターゲット401の位置の正確な決定が、セオドライトシステム900により与えられる。2つのセオドライト装置902,904を使用して、少なくとも3つ非共線のセオドライト観察可能ターゲット測定が、形態可能な基準ターゲット401の6自由度の位置と向きとを決定するために、各セオドライト装置によりなされなければならない。本発明の較正システムは、他の方法では、3つの異なるターゲット較正装置の何れかのための前述された実施の形態に従って動作する。

20

【0036】

上記ターゲット較正装置は、現在では好ましいけれども、これは、本発明の広い範囲に対する制限としては意図されていない。反対に、商業的に利用可能で形態可能な測定アームが、また、ターゲット較正装置として使用され得る。この場合、基準ターゲットは、アームのエンドエフェクターに組み合わされる。このアームは、自由度が6の測定具なので、較正システムは、測定アームにより位置付けられるように、センサーの正確な位置を導き出すことができる。一例としての測定アームは、CaliforniaのCarlsbadのRomeroで製造されている。

30

【0037】

本発明は、現在の好ましい形態で説明されたけれども、本発明は、請求項に記された本発明の精神から逸脱しないで変形可能である。

40

【図面の簡単な説明】

【図1】測量ステーションでの複数の非接触形状測定センサーの視野内に位置されるであろう対象物の代表的なポイントを示す、自動車の車体の一部の上面かつ側面図である。

【図2】本発明の原理に従って較正される複数の非接触形状測定センサーを備えた自動車組立ラインでの代表的な測量ステーションの斜視図である。

【図3】本発明の教示に従った較正システムの側面図である。

【図4】結像アレイCCD装置を使用した本発明の一実施の形態に係わる携帯可能な基準ターゲット本体の斜視図である。

【図5】本発明に係わる携帯可能な基準ターゲット本体の第2の異なる実施の形態の斜視図である。

50

【図6】本発明に係わる携帯可能な基準ターゲット本体の第3の実施の形態の斜視図である。

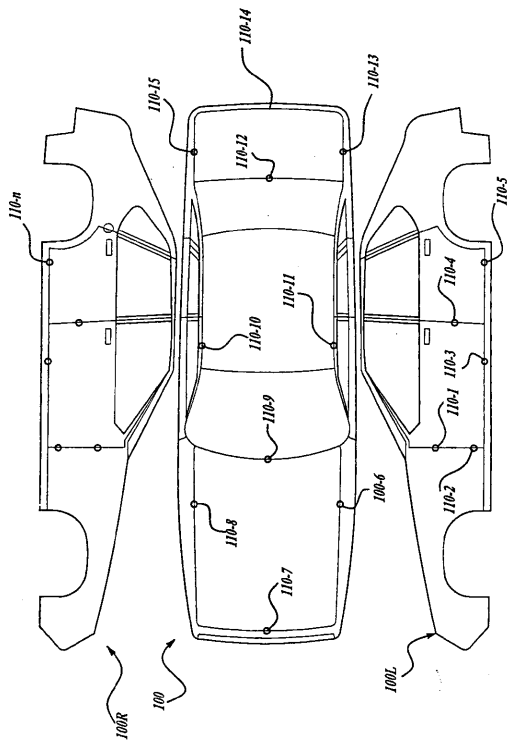
【図7】本発明に係わる形状測定センサーにより決定され得る基準ターゲット上にどのように見ることが可能なドットが配置されているかを示す図である。

【図8】本発明の校正方法を説明するためのフローチャートである。

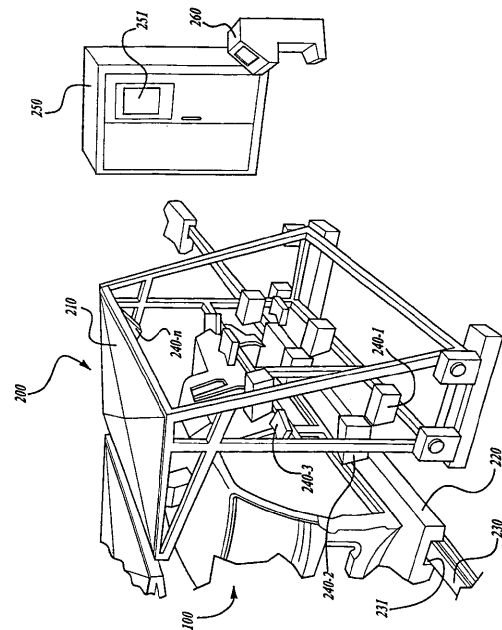
【図9】ターゲット校正装置としてレーザ追跡システムを使用した本発明の好ましい実施の形態の斜視図である。

【図10】ターゲット校正装置としてセオドライトを使用した本発明の好ましい他の実施の形態の斜視図である。

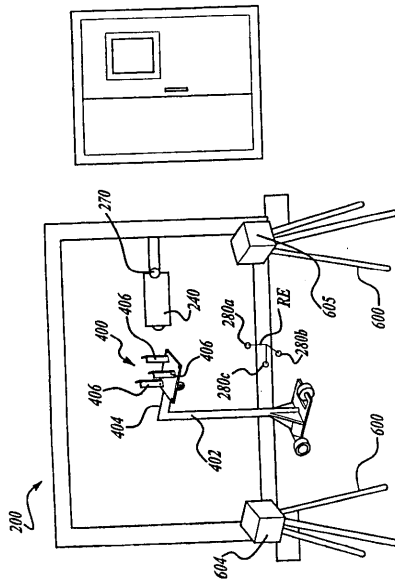
【図1】



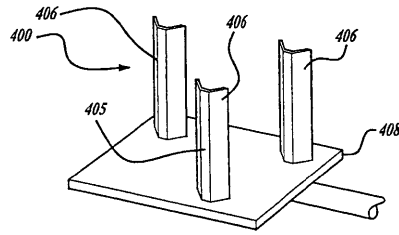
【図2】



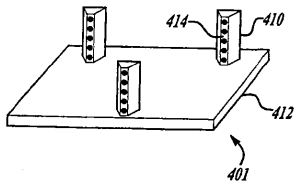
【 図 3 】



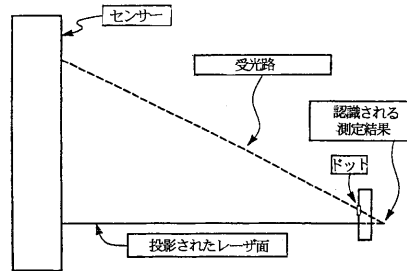
【 図 4 】



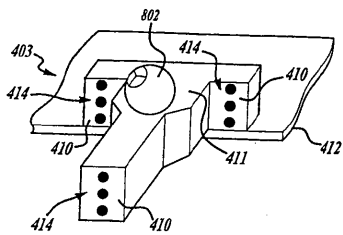
【 図 5 】



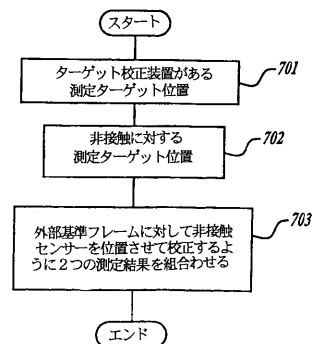
【 図 7 】



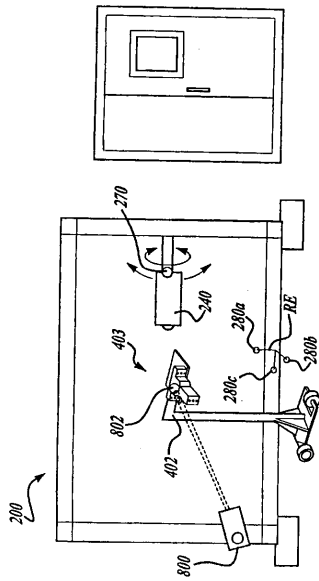
【 図 6 】



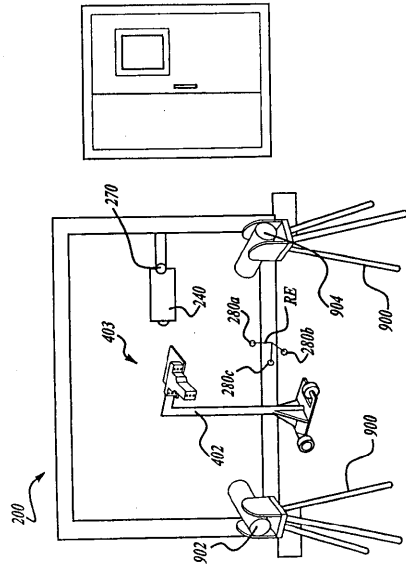
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau



(43) International Publication Date
25 July 2002 (25.07.2002)

PCT

(10) International Publication Number
WO 02/057712 A1

(51) International Patent Classification: G01B 11/03

(21) International Application Number: PCT/US02/01402

(22) International Filing Date: 15 January 2002 (15.01.2002)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
09/761,128 16 January 2001 (16.01.2001) US

(71) Applicant: PERCEPTRON, INC. (US/US); 47827 Hal-
yard Drive, Plymouth, MI 48107 (US).

(72) Inventors: GREER, Dale, R.; 22421 Sunrise, Novi, MI
48375-5061 (US); DALE, Gregory, A.; 41516 Fawn Trail,
Novi, MI 48375 (US).

(74) Agents: BROCK, Christopher, M. et al.; Harness,
Dickey & Piezco, P.L.C., P.O. Box 828, Bloomfield Hills,
MI 48303 (US).

(81) Designated States (national): AE, AG, AI, AM, AT, AU,
AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU,

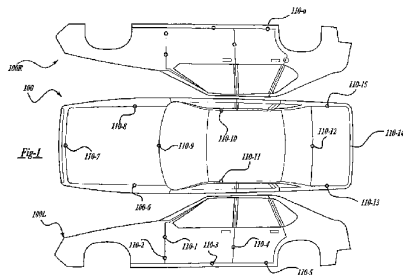
CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH,
GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KI, KG, KP, KR, KZ, LC,
LK, LR, LS, LZ, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,
MX, MY, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG,
SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN,
YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM,
KI, LS, MW, MY, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),
Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),
European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR,
GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent
(BI, BJ, CI, CG, CO, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,
NI, SN, TD, TG).

Declaration under Rule 4.17:

as to applicant's entitlement to apply for and be granted
a patent (Rule 4.17(ii)) for the following designations: AE,
AG, AI, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA,
CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KF,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG,
MK, MN, MW, MY, NZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU,
SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW. ARIPO patent (GH, GM, KE, LS,
[Continued on next page]

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR CALIBRATING A NON-CONTACT GAUGING SENSOR WITH RESPECT TO AN EXTERNAL COORDINATE SYSTEM



(57) Abstract: A calibration system is provided for calibrating a sensor with respect to an external reference frame associated with manufacturing gauging station (200). A target calibration device (600) is positioned at a vantage point to detect and calibrate its reference frame in relation to the external reference frame. A reference target having at least three non-coplanar reflective surfaces (406) is illuminated by the structured light emanating from the sensor. In this way, the calibration system is able to determine the spatial location and orientation of the reference target in relation to the sensor. The calibration system further includes a coordinate transformation system for coordinating the measurement data from the target calibration device and from the feature sensor (240), whereby the feature sensor (240) is calibrated with respect to the external reference frame.



WO 02/057712 A1

WO 02/057712 A1 

MW, AZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)

before the expiration of the time limit for amending the claims and to be republished in the event of receipt of amendments

Published:
with international search report

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

**METHOD AND APPARATUS FOR CALIBRATING
A NON-CONTACT GAUGING SENSOR
WITH RESPECT TO AN EXTERNAL COORDINATE SYSTEM**

CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATION

[0001] This is a continuation-in-part of U.S. Patent Application Serial Number 09/378,451 filed August 17, 1999 entitled "Method and Apparatus for Calibrating a Non-Contact Gauging Sensor with Respect to an External Coordinate System", which is a continuation-in-part of U.S. Patent Application Serial Number 09/030,439 filed February 25, 1998, which is a continuation-in-part of U.S. Patent Application Serial Number 09/073,205 filed May 4, 1998, which is a continuation of U.S. Patent No. 5,748,505 issued May 5, 1998, each of which are assigned to the assignee of the present invention.

10 **BACKGROUND AND SUMMARY OF THE INVENTION**

[0002] The present invention relates generally to non-contact gauging systems. More particularly, the invention relates to an apparatus system and method for calibrating non-contact gauging systems.

[0003] Demand for higher quality has pressed manufacturers of mass produced articles, such as automotive vehicles, to employ automated manufacturing techniques that were unheard of when assembly line manufacturing was first conceived. Today, robotic equipment is used to assemble, weld, finish, gauge and test manufactured articles with a much higher degree of quality and precision than has been heretofore possible. Computer-aided manufacturing techniques allow designers to graphically conceptualize and design a new product on a computer workstation and the automated manufacturing process ensures that the design is faithfully carried out precisely according to specification. Machine vision is a key part of today's manufacturing environment. Machine vision systems are used with robotics and computer-aided design systems to ensure high quality is achieved at the lowest practical cost.

[0004] Achieving high quality manufactured parts requires highly accurate, tightly calibrated machine vision sensors. Not only must a sensor have a suitable resolution to discern a manufactured feature of interest, the sensor must be accurately calibrated to a known frame of reference so that the feature of interest may be related to other features on the workpiece. Without accurate calibration, even the most sensitive, high resolution sensor will fail to produce high quality results.

5 **[0005]** In a typical manufacturing environment, there may be a plurality of different non-contact sensors, such as optical sensors, positioned at various predetermined locations within the workpiece manufacturing, gauging or testing station. The workpiece is placed at a predetermined, fixed location within the station, allowing various predetermined features of the workpiece to be examined by the sensors. Preferably, all of the sensors are properly positioned and should be carefully calibrated with respect to some common fixed frame of reference, such as a common reference frame on the workpiece or at the workstation.

10 **[0006]** Maintaining sensors which are properly positioned and calibrated presents several challenges. In a typical manufacturing environment sensors and their associated mounting structures may get bumped or jarred, throwing the sensor out of alignment. Also, from time to time, a sensor needs to be replaced, almost certainly requiring reorienting and recalibrating. Quite simply, sensor positioning, alignment and calibration requires careful attention in the typical manufacturing plant.

15 **[0007]** Proper sensor positioning, alignment and calibration can present significant time and labor requirements. For a given part or assembly, the entire manufacturing assembly line may need to be shut down and the workstation cleared, so that the sensor may be positioned, aligned and recalibrated. In some instances this entails placing a highly accurate, and very expensive full-scale model of the part or assembly into the workstation. This independently measured part is sometimes called a master part. The master part is placed in careful registration with the external coordinate system of the workstation and then each sensor is trained on its assigned feature (such as a hole or edge). Once positioned, the sensors are locked into place and calibrated and the master part is removed. Only then can the assembly line be brought back online.

25 **[0008]** As an alternative to using a master part, it is possible to calibrate the gauging sensor by attaching a target to the sensor and illuminating the target using a plane of structured light produced by the sensor. A pair of optical sighting devices, such as theodolites, are placed at different vantage points within the workspace. The theodolites triangulate on the illuminated target to provide an independent reading of the position of the target. The theodolites are placed at carefully prescribed locations relative to an external reference frame. With the gauging sensor projecting structured light onto the target, the theodolites are manually aimed at the illuminated targets and readings are taken. The respective readings of the theodolites and the gauging sensor are coordinated and translated to calibrate the sensor relative to the external reference

frame. It is a trial and error process. If the sensor needs to be reoriented (as is often the case), the theodolites must be manually retrained on the target after each sensor position adjustment. For more information on this calibration technique, see U.S. Patent No. 4,841,460 to Dewar et al.

5 **[0009]** Whereas both of the aforementioned calibration techniques do work, there is considerable interest in a calibration technique that is more efficient and easier to accomplish, and which eliminates the need to rely on expensive master parts. To this end, the present invention provides a calibration system that can be used in a matter of minutes, instead of hours, and without the need for precisely manufactured
10 master parts. One of the major advantages of the invention is that it allows the calibration of the sensors to be checked or realigned between line shifts, without requiring the line to be shut down for an extended period.

[0010] The calibration system employs reference indicia that are disposed in fixed relation to the external reference frame of the manufacturing or assembly zone or gauging station. A target calibration device is positioned at a vantage point, typically
15 above the gauging station, so that the reference indicia are within the field of view of the target calibration device. The target calibration device is operative to determine the spatial location and orientation of a portable reference target within the gauging station. Exemplary target calibration devices may include, but are not limited to a
20 photogrammetry system, a theodolite system, or a laser tracker system.

[0011] The calibration system further employs a portable reference target that is placed within the observation field of the target calibration device and also within the sensing zone of the feature sensor. The presently preferred portable reference
25 target is a three-dimensional framework that provides at least three non-coplanar reflective structures (e.g., straight edges) that can be illuminated by structured light emanating from the feature sensor. As part of the present invention the feature sensor includes, but is not limited to, a structured light triangulation sensor. Although the non-coplanar reflective structures provide the feature sensor with spatial data for measuring
30 the position and orientation of the portable reference target, the present invention improves the accuracy of the measurement data by adapting the target to support a visible dot pattern or a light sensitive imaging array device (e.g., CCD). In this way, the portable reference target provides unambiguous spatial data for measuring its spatial position and orientation.

[0012] The calibration system further includes a coordinate transformation
35 system for coordinating the measurement data from the target calibration device and

- from the feature sensor. More specifically, the calibration system is adapted to collect data from the target calibration device and the feature sensor. The transformation system establishes a first relationship between the reference frame of the target calibration device and the external reference frame. The transformation system also
- 5 establishes a second relationship between the reference frame of the target calibration device and the reference frame of the feature sensor. Finally, the transformation system determines a third relationship between the reference frame of the feature sensor and the external reference frame, whereby the feature sensor is calibrated with respect to the external reference frame.
- 10 **[0013]** The system and technique of the present invention allows for simplified calibration of a feature sensor. The target calibration device is first calibrated via the reference indicia to the external reference frame. Next, the portable reference target is placed within the field of view of the target calibration device and the feature sensor. The portable reference target is calibrated with respect to the reference frame
- 15 of the target calibration device. The feature sensor is then calibrated by projecting structured light from the feature sensor onto the portable reference target. The structured light intersects the target, producing reflected light patterns at the edges of the target that are then read by the feature sensor. The coordinate transformation system simultaneously receives measurement data as to where the structured light
- 20 strikes the dot patterns or the light sensitive imaging array devices associated with the target. The coordinate transformation system then performs the appropriate coordinate transformation to map the data of the feature sensor back to the external reference frame. The entire calibration sequence can be performed quite quickly.
- [0014]** For a more complete understanding of the invention, its objects and
- 25 advantages, reference may be had to the following specification and to the accompanying drawings.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

- [0015]** Figure 1 is a simultaneous top and side view of a portion of an automotive vehicle body, showing typical points of interest which would be placed in the field of view of a plurality of non-contact feature sensors at a gauging station;
- 30 **[0016]** Figure 2 is a perspective view of a typical gauging station on an automotive assembly line, including a plurality of non-contact feature sensors to be calibrated in accordance with the principles of the invention;
- [0017]** Figure 3 is a side elevational view of a calibration system in

accordance with the teachings of the present invention;

[0018] Figure 4 is perspective view of a portable reference target body in accordance with one embodiment of the present invention which employs imaging array CCD devices;

5 [0019] Figure 5 is a perspective view of a second alternative embodiment of the portable reference target body in accordance with the present invention;

[0020] Figure 6 is a perspective view of a third alternative embodiment of the portable reference target in accordance with the present invention;

10 [0021] Figure 7 is a diagram showing the how the location of the visible dot on the reference target may be determined by the feature sensor in accordance with the present invention;

[0022] Figure 8 is a flowchart further illustrating the calibration method of the present invention;

15 [0023] Figure 9 is a perspective view of a preferred embodiment of the present invention which employs a laser tracker system as the target calibration device; and

[0024] Figure 10 is a perspective view of an alternative preferred embodiment of the present invention which employs a theodolite system as the target calibration device.

20 **DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENT**

[0025] With reference to Figure 1, there is shown a typical automotive vehicle body portion which, prior to its assembly with other of the vehicle components, would require gauging of certain key points. Such miscellaneous points of interest on workpiece 100 of Figure 1 are shown as points 110-1 through 110-n. The left side 100L of the vehicle body and the right side 100R of the vehicle body are shown in an "unfolded" view for convenience in Figure 1. Typical usage of the points or the manner in which they are selected would be dictated, for example, by the ensuing assembly process to take place with respect to the workpiece 100. For example, assume that the hood has not yet been assembled over the hood cavity at the front of the vehicle. Then measurements about the periphery of the hood cavity, such as at points 110-6, 110-7, 110-8 and 110-9 could be made to determine whether the ensuing assembly of the hood lid to the vehicle body can be performed with an acceptable fit between the parts to be assembled.

30 [0026] While there are many sensor arrangements known, including the

optical arrangement disclosed in U.S. Patent 4,645,348 to Dewar et al., assigned to the assignee of the present invention, it has been time consuming to calibrate the sensor readings at all the desired points of interest about a large workpiece with respect to any desired external reference frame. The present invention addresses the need for faster calibration.

5
10
15
20
[0027] A typical gauging station for an automotive vehicle part as shown in Figure 1 could take the form shown in Figure 2. Workpieces to be gauged at gauging station 200 rest on transporting pallets 220, which are moved along an assembly line via pallet guides 230 that pass through guide channels 231 in the pallet. At the gauging station 200, a sensor mounting frame 210 (only one half of which is shown in perspective in Figure 2) surrounds the workpiece 100 to be gauged and provides a plurality of mounting positions for a series of optical gauging sensors or non-contact feature sensors 240-1 through 240-n, each designed in accordance with the disclosure of U.S. Patent No. 4,645,348, for example. Communication cables which are not specifically shown in Figure 2 for clarity, couple the sensors 240 to a machine vision computer 250 which includes a CRT or cathode ray tube display 251. Optionally provided with a typical machine vision computer is a printer 260. The apparatus and method of this invention may be used to effect calibration of each of the non-contact sensors 240 with respect to a predetermined external coordinate system or reference frame, associated, for example, with the workpiece 100 to be measured or with respect to an external reference frame associated with the gauging station itself.

25
30
[0028] Referring to Figure 3, gauging station 200 is shown in conjunction with the calibration system of the present invention. To simplify the illustration, only one feature sensor 240 has been illustrated. As part of the present invention the feature sensor 240 includes, but is not limited to, a structured light triangulation sensor. The feature sensor 240 is adjustably secured to the gauging station frame at 270, thereby allowing the feature sensor 240 to be positionally adjusted and then tightened or locked into place once it is properly aimed at the point in space (x, y, z) where the workpiece feature of interest will be located and is properly oriented at the correct attitude (pitch, yaw and roll). The non-contact feature sensor 240 includes a sensing zone and an associated sensor reference frame and coordinate system.

35
[0029] The calibration system of the present invention also includes a portable reference target 400. The portable reference target 400 can be mounted on any suitable fixture, allowing it to be positioned in front of the feature sensor 240 for the calibration operation. In this case, the portable reference target 400 is shown attached

- to a simple tripod stand 402 with cantilevered arm 404. It is envisioned that other support structures may be used within the scope of the present invention. The portable reference target 400 is further defined as a three-dimensional framework that provides at least three non-coplanar reflective members 406 that may be illuminated by the structured light emanating from the feature sensor 240. Although the non-coplanar reflective members 406 provide the feature sensor 240 with spatial data for measuring the position and orientation of the portable reference target 400, the accuracy of the measurement data is improved by adapting the portable reference target 400 to support light sensitive imaging array devices or passive reflective dots.
- 10 [0030] Referring to Figure 4, one type of portable reference target 400 is comprised of at least three upright corner members 406 coupled to a planar base 408. An outer corner edge 405 of each member 406 serves as a reflective surface for the structured light plane from the feature sensor 240. A light-sensitive charge coupled device (CCD) or other light sensitive imaging array device is aligned along the outer corner edge 405 of each member 406. In this way, the CCDs provide location data as to where the structured light from the non-contact sensor 240 strikes each of the corner members 406 on the portable reference target 400. It is envisioned that the CCD is a 1 x N (linear) device, where N is selected to provide suitable resolution (e.g., 4096 pixels). One skilled in the art will readily recognize from such discussions that other geometric configurations providing at least three non-coplanar reflective surfaces may be used for the portable reference target.
- 15 [0031] Referring back to Figure 3, the calibration system further includes a target calibration device 600 which may be positioned at a convenient vantage point, such as above the space that is occupied by the workpiece in the gauging station 200. Alternatively, the target calibration device 600 can be temporarily positioned in a fixed location, such as by hanging it from the gauging station frame or mounting it on a movable stand, allowing the target calibration device 600 to be moved from location to location throughout the manufacturing facility.
- 20 [0032] According to one aspect of the present invention, a photogrammetry system 600 serves as the target calibration device. Photogrammetry systems work on well known principles of using dots or points of light as photogrammetry targets. In general, at least two cameras 604, 605 that are calibrated as a pair can be used to measure the photogrammetry targets in a three-dimensional coordinate frame. The photogrammetry system 600 can measure the XYZ coordinates of at least three non-collinear points with known coordinates affixed to the portable reference target 400, thus
- 25
30
35

creating a full six-degree-of-freedom link between the feature sensor **240** and the photogrammetry system **600**. It should be noted that some commercially available photogrammetry systems can provide fast enough response times to provide real-time position feedback of the sensor. An exemplary photogrammetric camera is the

5 ProReflex Motion Capture System manufactured by Qualisys AB of Savedalen, Sweden or the Metronor System manufactured by Metronor ASA of Nesbru, Norway.

[0033] The two photogrammetric cameras **604**, **605** are positioned at a convenient vantage point, such as above and/or adjacent to the space that is occupied by the workpiece in the gauging station **200**. A plurality of non-collinear photogrammetry targets (not specifically shown) are also incorporated into the base of the portable reference target **400**. In the presently preferred embodiment, light-emitting diodes (LEDs) serve as the photogrammetry targets. Although simple switched LED devices are easy to implement and therefore presently preferred, other types of active or passive (e.g. dots, holes or retro-reflectors) photogrammetry targets may be used in the present invention. It is further envisioned that a series of dots aligned on the upright members of the portable reference target (as described below) may also serve as the photogrammetry targets. As long as the portable reference target **400** is within the field of view of the photogrammetric cameras **604**, **605**, the photogrammetric cameras will provide an accurate determination of the position of the portable reference target **400**.
10
15
20 More specifically, three or more non-collinear photogrammetry target measurements will yield a six degree-of-freedom location and orientation of the portable reference target **400**.

[0034] To illustrate the principals of the invention, it will be assumed that the feature sensor **240** is to be calibrated with respect to an external frame of reference associated with the stationary gauging station **200**. In this regard, external reference frame R_E has been diagrammatically included in Figure 3. A plurality of non-collinear reference indicia **280a**, **280b**, and **280c** are incorporated into the structure of the gauging station **200**.
25

[0035] With reference to Figure 6, a second alternative preferred embodiment for the portable reference target **401** uses a series of dots **414** in place of each light sensitive imaging array device. The portable reference target **403** is generally a three-dimensional framework that provides at least three non-coplanar reflective surfaces. In particular, the framework is comprised of at least three upright members **410** which are coupled to a planar base **412**. The series of visible dots **414** are aligned vertically along the surface of each upright member **410**. It is envisioned
30
35

that the visible dots 414 may be active (e.g., light emitting diodes) or passive (dots, holes or retro-reflectors).

[0036] A third alternative preferred embodiment of the portable reference target 403 is shown in Figure 6. Again, the portable reference target body 403 utilizes a series of visible dots 414 in place of each light sensitive imaging array device. The portable reference target 403 is also a three-dimensional framework that provides at least three non-coplanar reflective surfaces. In this case, the framework is comprised of at least three upright surfaces 410 formed on a solid T-shaped body 411. The body 411 is then secured to a planar base 412. A series of visible dots 414 are aligned vertically along each upright surface 410. The visible dots 414 are preferably passive black dots against a white background. However, the visible dots 414 may also be other types of passive shapes including holes or retroreflectors, or may be active devices such as light emitting diodes. To the extent that the target calibration device is a laser tracker, a retroreflector 802 may be mounted to the top surface of the T-shaped body. However, the retroreflector 802 may also be mounted to other locations of the portable reference target 401.

[0037] In operation, the portable reference targets 401, 403 are illuminated by the structured light emanating from the non-contact feature sensor 240. In the case of passive visible dots or holes, an auxiliary light may be used to illuminate the visible dots 414 or holes above and below the laser line. The calibration system which operates the feature sensor 240 is able to calibrate the feature sensor 240 based on the spatial location of the visible dots 414 on the portable reference target 401, 403. The emanating structured light from the sensor may strike the area between two dots 414 on an upright member 410. One type of non-contact feature sensor 240 is designed to only perform measurements within the structured light plane, so in this case a correction is needed. Even though a dot 414 does not lie in the measurement plane of the sensor 240, it appears in the plane as shown in Figure 7. In this case, a simple geometric projection is performed in three dimensional space to determine the physical location of the visible dot 414, and therefore determine the location of the portable reference target 401, 403 relative to the feature sensor 240.

[0038] Referring to Figure 8, the calibration technique of the present invention will now be described. First, the target calibration device 600 is calibrated to the external reference frame so that the exact location of the it is known within the external reference frame. This location is then stored in a memory. A coordinate transformation system connected to the target calibration device can be used for this

step. Preferably, the coordinate transformation system is a processor forming part of the machine vision computer 250 of Figure 2. At step 701, the portable reference target 400 is placed within the calibration field of the target calibration device. The target calibration device 600 then establishes a relationship between the portable reference target 401 and the reference frame of the target calibration device 600.

5 [0039] Next, at step 702, the feature sensor 240 projects structured light onto the portable reference target 400 and collects reflected light data from the portable reference target 400. As previously described, the position of the upright surfaces are ascertained and then used to describe the spatial position of the portable reference target 400 in the reference frame of the non-contact feature sensor 240. In order to determine the orientation of the portable reference target 400, the calibration system of the present invention simultaneously collects data from the non-contact feature sensor 240 and the target calibration device 600. In the case of the first embodiment of the reference target, the calibration system also collects data from the imaging array devices on the reference target. At step 703, measurement data is combined in order to locate and calibrate the non-contact sensor 240 with respect to the external reference frame. Once this data is collected, the feature sensor 240 is then partially calibrated with respect to the fixed reference frame P_E . It will be necessary to repeat this measurement at preferably four different locations within the sensor field of view to determine complete position and orientation of the non-contact feature sensor 240 with respect to the external reference frame and coordinate system. The above steps for determining complete position and orientation of the non-contact feature sensor 240 can be performed by the processor executing the coordinate transformation system.

15 [0040] In the foregoing example, the target calibration device 600 was calibrated first, the position of the portable reference target 401 was calibrated second, and the non-contact feature sensor 240 was calibrated third. It is envisioned that these operations could be performed in a different sequence and thereby achieve the same end result.

20 [0041] In addition to the photogrammetry system, other target calibration devices may be used in conjunction with the calibration system of the present invention. In an alternative embodiment, a servo driven laser tracker serves as the target calibration device. Referring to Figure 9, a servo driven laser tracker 800 may be positioned at a convenient vantage point in the gauging station, such as above the space that is occupied by the workpiece. Alternatively, the laser tracker can be temporarily positioned at a location within the gauging station, such as by hanging it

25
30
35

from the gauging station frame or mounting it on a movable stand.

[0042] The servo driven laser tracker 800 emits an outgoing laser beam and detects an incoming laser beam. The laser tracker 800 includes a servo drive mechanism with closed loop controller that points the laser tracker in the direction of the incoming beam as reflected by a retroreflector 802. As long as the laser tracker is within the 45-60° field of view of the retroreflector, the laser tracker 800 will precisely follow or track the position of the retroreflector 802. In the present invention, the retroreflector is preferably affixed to the top surface of the reference target 403. Thus, the laser tracker system can precisely track where the center of the retroreflector is at all times, even as the retroreflector is moved around within the gauging station.

[0043] In operation, the servo system and closed loop controller of the laser tracker provides a signal indicative of the line of sight through the center of the retroreflector and suitable interferometer measurements can be used to accurately ascertain the distance between the center of the retroreflector and the laser tracker. However, the laser tracker provides only a partial link to the external reference frame. It will generate the X, Y, Z position of the retroreflector. In order to acquire all six degrees-of-freedom (X, Y, Z as well as roll, pitch, yaw) the reference target may be moved to three or more locations while acquiring data. Preferably, four or more non-collinear location points are used. Once this has been done the data may be used to triangulate onto a six degree-of-freedom location and orientation for the reference target. Additional information for using a laser tracker system with this calibration technique can be found in U.S. Patent Application Serial Number 09/030,439 filed February 25, 1998 entitled "Method and Apparatus for Calibrating a Non-Contact Gauging Sensor with Respect to an External Coordinate System", which is herein incorporated by reference.

[0044] In another preferred embodiment, a theodolite system 900 serves as the target calibration device. A theodolite system 900 is a commercially available survey instrument system for measuring horizontal and vertical angles, similar in principle to the transit. The fundamental mathematical principle of operation of the theodolites is based on triangulation, such that theodolites are able to measure both horizontal and vertical angles to a selected target. An exemplary theodolite system for use with this invention may include a T105 Theodolite heads from Leica supported by a PC running Axyz software.

[0045] As shown in Figure 10, at least two theodolite devices 902 and 904 are positioned at a convenient vantage points in the space that is occupied by the

workpiece in the gauging station 200. While not specifically shown, a plurality of non-collinear theodolite observable targets are incorporated into the base of the portable reference target 401. These theodolite observable targets may include scribe marks, stick-on dots, machined holes or other well known types of theodolite observable targets. Again, as long as the reference target 401 is within the field of view of the theodolite devices 902, 904, an accurate determination of the position of the reference target 401 is provided by the theodolite system 900. Using two theodolite devices 902, 904, at least three or more non-collinear theodolite observable target measurements must be taken by each theodolite device in order to determine a six degree-of-freedom location and orientation of the portable reference target 401. The calibration system of the present invention otherwise operates in accordance with the previously described embodiments for either of these alternative target calibration devices.

[0046] Although the above target calibration devices are presently preferred, this is not intended as a limitation on the broader aspects of the invention. On the contrary, it is envisioned that a commercially available portable measurement arm may also be used as the target calibration device. In this case, the reference target is coupled to an end effector of the arm. Since the arm is a six degree-of-freedom measuring tool, the calibration system can deduce the actual position of the sensor as its positioned by the measurement arm. An exemplary measurement arm is manufactured by Romer of Carlsbad, California.

[0047] While the invention has been described in its presently preferred form, it will be understood that the invention is capable of modification without departing from the spirit of the invention as set forth in the appended claims.

CLAIMS**What Is Claimed Is:**

1. A sensor calibration system for calibrating a non-contact sensor with
5 respect to an external reference frame, the non-contact sensor of the type having a sensing zone associated with a sensor reference frame, comprising:
 - a target calibration device having a calibration field of observation associated with a calibration device reference frame; and
 - a reference target for placement within the observation field of said
10 target calibration device and within the sensing zone of said feature sensor, said reference target having at least three non-coplanar reflective surfaces.
2. The calibration system of Claim 1 wherein each reflective surface of the reference target being adapted to support an imaging array.
3. The calibration system of Claim 2 wherein the feature sensor is an
15 active optical sensor that emits structured light and each imaging array is operable to detect the structured light from the feature sensor, thereby determining the location of the reference target in relation to the feature sensor.
4. The calibration system of Claim 1 wherein each reflective surface member having a series of visible dots aligned along the reflective surface.
- 20 5. The calibration system of Claim 4 wherein the feature sensor is an active optical sensor that emits structured light and detects reflected light, such that the feature sensor is operable to determine the location of at least one of the visible dots on each reflective surface and thereby determine the location of the reference target in relation to the feature sensor.
- 25 6. The calibration system of Claim 1 further comprising:
 - a reference indicia disposed in fixed relation to said external reference frame, such that the target calibration device is positionable at vantage points where the reference indicia is within the calibration field; and
 - a coordinate transformation system being adapted for coupling to said target
30 calibration device for collecting data from said reference indicia and for establishing a first relationship between the calibration device reference frame and external reference frame;
 - said coordinate transformation system further being adapted for coupling to
said target calibration device and to said feature sensor for collecting data from the
35 reference target and for establishing a second relationship between the calibration

- device reference frame and the feature sensor reference frame; and
said coordinate transformation system determining a third relationship
between the external reference frame and the feature sensor reference frame,
whereby the feature sensor is calibrated with respect to the external reference frame.
- 5 7. The calibration system of Claim 6 wherein said target calibration
device is further defined as a laser tracker.
8. The calibration system of Claim 7 wherein said reference target further
includes a retroreflector affixed to the reference target.
- 10 9. The calibration system of Claim 8 wherein said laser tracker tracks a
center position of said retroreflector in at least three non-collinear location, thereby
establishing said second relationship between the calibration device reference frame
and the feature sensor reference frame.
- 15 10. The calibration system of Claim 6 wherein said target calibration
device is further defined as at least two photogrammetric cameras being positionable
at two or more vantage points such that said reference indicia is within the calibration
field.
11. The calibration system of Claim 10 wherein said reference target
further includes a plurality of photogrammetry targets.
- 20 12. The calibration system of Claim 11 wherein said photogrammetric
cameras measure a position of said reference target in at least two non-collinear
location, thereby establishing said second relationship between the calibration device
reference frame and the feature sensor reference frame.
- 25 13. The calibration system of Claim 6 wherein said target calibration
device is further defined as at least two theodolite devices being positionable at two
or more vantage points such that said reference indicia is within the calibration field.
14. The calibration system of Claim 13 wherein said reference target
further includes a plurality of theodolite targets.
- 30 15. The calibration system of Claim 14 wherein said theodolite devices
measure a position of said reference target in at least three locations, thereby
establishing said second relationship between the calibration device reference frame
and the feature sensor reference frame.
16. The calibration system of Claim 1 further comprising a gauging station
for gauging a workpiece, said feature sensor being securely connected to said
gauging station for determining positions upon said workpiece.
- 35 17. The calibration system of Claim 14 wherein said workpiece is a

motor vehicle.

18. The calibration system of Claim 1 wherein the calibration system operates within a motor vehicle manufacturing system.

19. A method for calibrating a feature sensor with respect to an external reference frame using a target calibration device, the target calibration device having a fixed position with respect to the external reference frame according to a first relationship, comprising the steps of:

providing a reference target a reference target for placement within the observation field of said target calibration device and within the sensing zone of said feature sensor, said reference target further includes at least three non-coplanar upright reflective members connected to a base;

determining a second relationship between a reference target and said external reference frame through use of the target calibration device and said reference target, said second relationship defining the position of said reference target with respect to the external reference frame;

determining a third relationship between said reference target and said feature sensor through use of said feature sensor and said reference target, said third relationship defining the position of said feature sensor with respect to the position of said reference target; and

calibrating said feature sensor with respect to said external reference frame based upon said first, second, and third relationships.

20. The sensor calibration method of Claim 19 wherein said second relationship defines the location and the orientation of the reference target with respect to the external reference frame.

21. The sensor calibration method of Claim 19 wherein said third relationship defines the location and the orientation of the reference target with respect to the location and orientation of the feature sensor.

22. The sensor calibration method of Claim 19 wherein the step of determining the third relationship further comprises:

placing said reference target within the field of view of said feature sensor;

projecting structured light from said feature sensor upon said reference target;

and

determining the position of said reference target with respect to said feature sensor based upon the structured light reflected to said feature sensor from said reference target.

23. The sensor calibration method of Claim 19 wherein said target calibration device is further defined as a laser tracker.

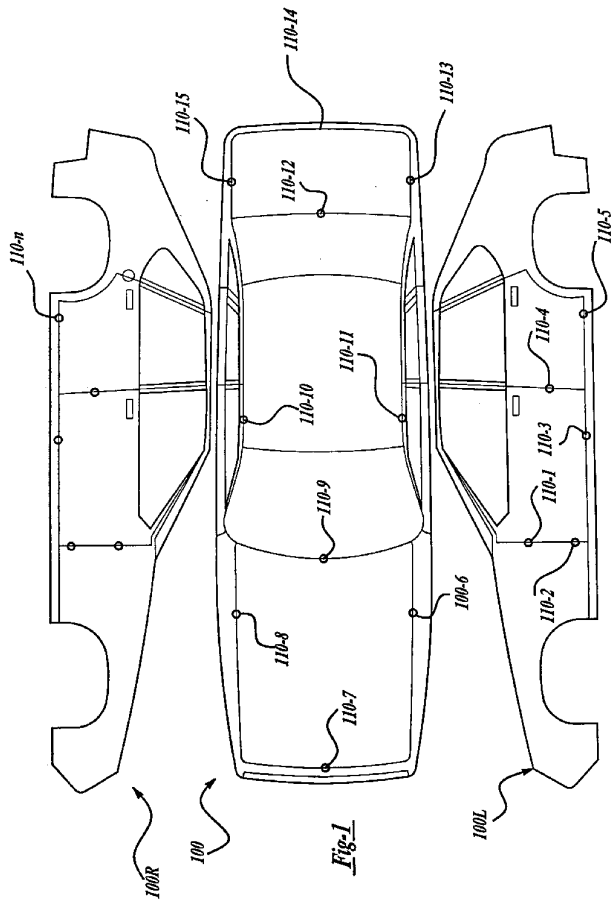
24. The sensor calibration method of Claim 23 wherein said reference target further includes a retroreflector affixed to the reference target.

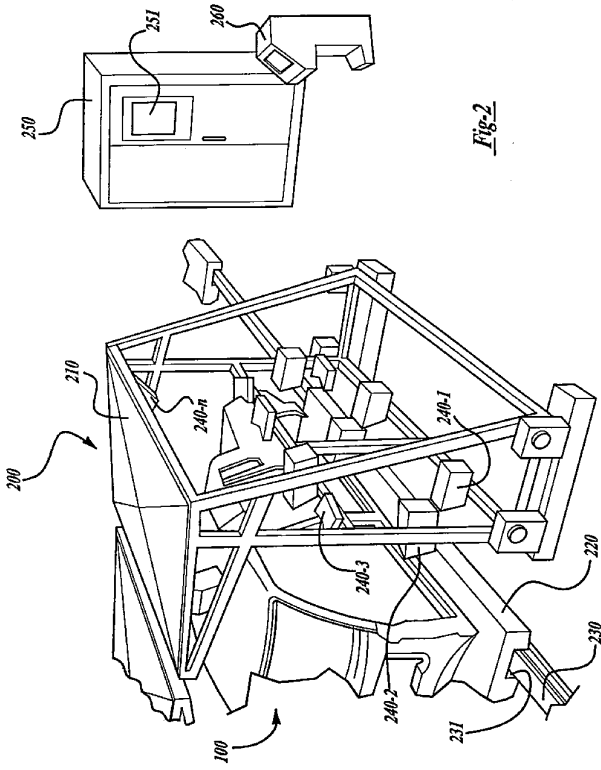
25. The sensor calibration method of Claim 24 wherein said laser tracker tracks a center position of said retroreflector in at least three non-colinear location, thereby establishing said second relationship between the calibration device reference frame and the feature sensor reference frame.

26. The sensor calibration method of Claim 19 wherein said target calibration device is further defined as at least two photogrammetric cameras being positionable at two or more vantage points such that said reference indicia is within the calibration field.

27. The sensor calibration method of Claim 26 wherein said reference target further includes a plurality of photogrammetry targets.

28. The sensor calibration method of Claim 27 wherein said photogrammetric cameras measures a position of said reference target in at least three non-colinear location, thereby establishing said second relationship between the calibration device reference frame and the feature sensor reference frame.





WO 02/057712

PCT/US02/01402

3/5

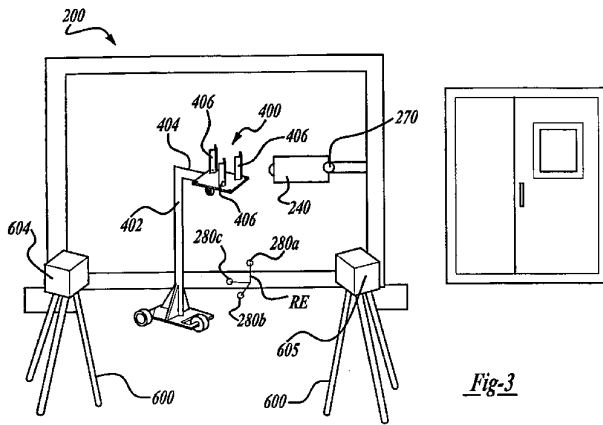


Fig-3

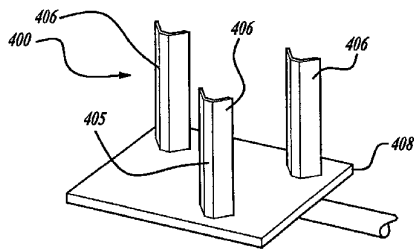
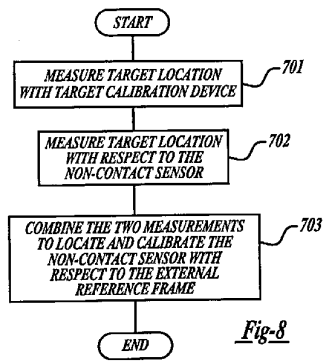
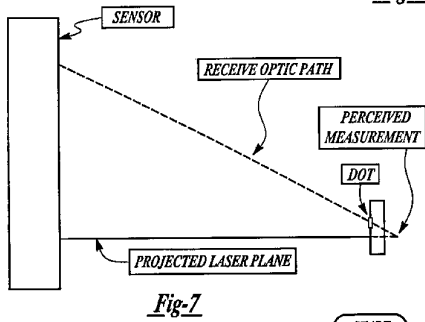
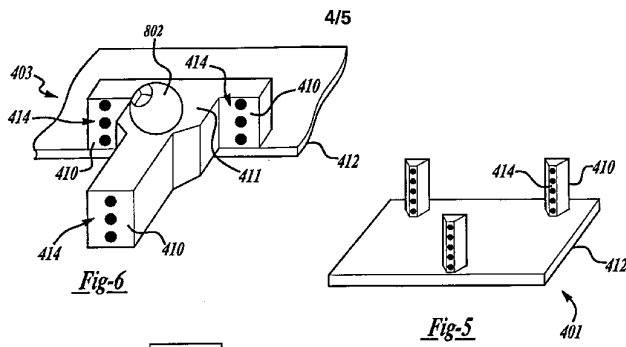


Fig-4

WO 02/057712

PCT/US02/01402



WO 02/057712

PCT/US02/01402

5/5

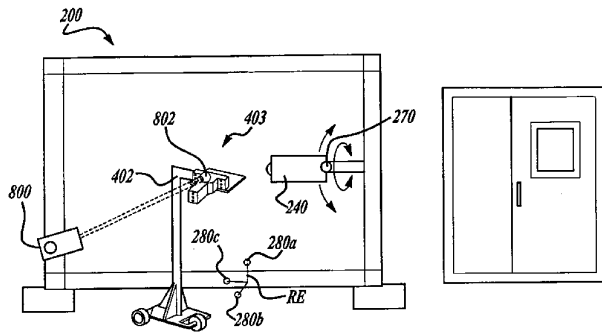


Fig-9

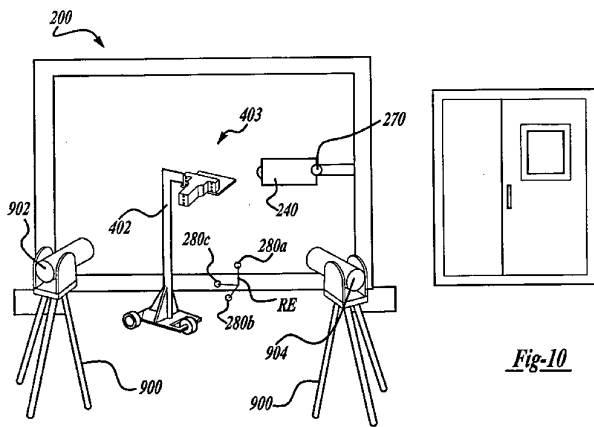


Fig-10

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US02/01402																								
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER																										
IPC(CI) : G01B 11/03 US CL : 702/94, 95, 104; 356/139.03, 375, 376; 382/104, 106 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																										
B. FIELDS SEARCHED																										
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)																										
U.S. : 702/94, 95, 104; 356/139.03, 375, 376; 382/104, 106																										
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched																										
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)																										
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT																										
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																								
A	US 5,801,834 A (DANIELSON et al) 01 September 1998 (01.09.1998) See whole document	1-28																								
A	US 6,258,959 A (Greer) 04 September 2001 (09.04.2001) See whole document	1-28																								
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.																										
<table border="0"> <tr> <td>-</td> <td>Special categories of cited documents</td> <td>**</td> <td>Inter documents published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</td> </tr> <tr> <td>*A*</td> <td>document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</td> <td>*X*</td> <td>document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</td> </tr> <tr> <td>*B*</td> <td>earlier document published on or after the international filing date</td> <td>*Y*</td> <td>document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</td> </tr> <tr> <td>*L*</td> <td>document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</td> <td>*Z*</td> <td>document member of the same patent family</td> </tr> <tr> <td>*Q*</td> <td>document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>*P*</td> <td>document published prior to the international filing date but later than the priority date (dates)</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			-	Special categories of cited documents	**	Inter documents published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention	*A*	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	*X*	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone	*B*	earlier document published on or after the international filing date	*Y*	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art	*L*	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	*Z*	document member of the same patent family	*Q*	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means			*P*	document published prior to the international filing date but later than the priority date (dates)		
-	Special categories of cited documents	**	Inter documents published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention																							
A	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	*X*	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone																							
B	earlier document published on or after the international filing date	*Y*	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art																							
L	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	*Z*	document member of the same patent family																							
Q	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means																									
P	document published prior to the international filing date but later than the priority date (dates)																									
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report																								
03 MAY 2002		30 MAY 2002																								
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703) 305-3230		Authorized officer <i>(Signature)</i> KAMINI SHAH Telephone No (703) 308-0956																								

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN, TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE, GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,OM,PH,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,UZ,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(74)代理人 100075672

弁理士 峰 隆司

(74)代理人 100109830

弁理士 福原 淑弘

(74)代理人 100084618

弁理士 村松 貞男

(74)代理人 100092196

弁理士 橋本 良郎

(72)発明者 グリール、デール・アール

アメリカ合衆国、ミシガン州 4 8 3 7 5 - 5 0 6 1、ノビ、サンライズ 2 2 4 2 1

(72)発明者 デール、グレゴリー・エー

アメリカ合衆国、ミシガン州 4 8 3 7 5、ノビ、ファウン・トライル 4 1 5 1 6

Fターム(参考) 2F065 AA04 AA37 CC11 FF09 FF61 GG04 GG07 HH01 JJ02 JJ05

JJ25 LL16

3D114 AA05 BA01 CA11 HA02