

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-202945
(P2005-202945A)

(43) 公開日 平成17年7月28日(2005.7.28)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
GO6T 1/00	GO6T 1/00 315	2FO65
GO1B 11/245	GO6F 17/50 622A	5B046
GO6F 17/50	GO6F 17/50 624A	5B050
GO6T 3/00	GO6T 3/00 200	5B057
GO6T 17/40	GO6T 17/40 A	

審査請求 有 請求項の数 16 O L 外国語出願 (全 23 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2004-365081 (P2004-365081)
 (22) 出願日 平成16年12月16日 (2004.12.16)
 (31) 優先権主張番号 10/738, 403
 (32) 優先日 平成15年12月17日 (2003.12.17)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 503440266
 ユナイテッド・テクノロジーズ・コーポレーション
 アメリカ合衆国, コネチカット 06101, ハートフォード, ユナイテッド テクノロジーズ ビルディング
 (74) 代理人 100064908
 弁理士 志賀 正武
 (74) 代理人 100089037
 弁理士 渡邊 隆
 (74) 代理人 100108453
 弁理士 村山 靖彦
 (74) 代理人 100110364
 弁理士 実広 信哉

最終頁に続く

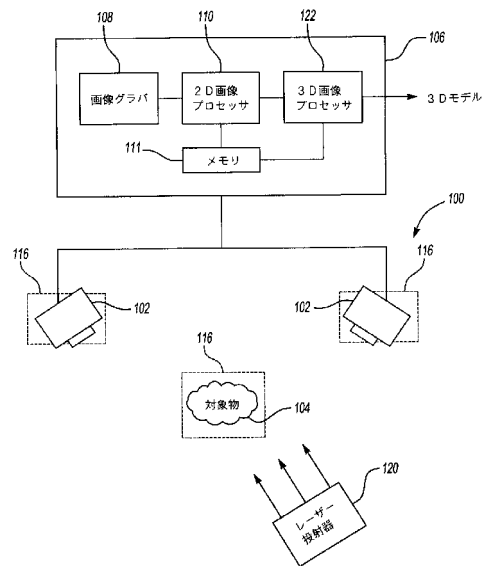
(54) 【発明の名称】 CADモデリングシステム及び方法

(57) 【要約】

【課題】 オリジナル部品の正確な複製である精密な3Dモデルを生成することができる3D CADモデリングシステムおよび方法を提供する。

【解決手段】 3D対象物モデリングシステムおよび方法は、モデル化されるべき対象物の2D表現をキャプチャして、上記2D画像をその幾何学要素に分解する。そして、3Dステレオ立体画像は、2D画像から生成される幾何学要素にフィッティングされて最終的なモデルを生成する。3Dステレオ立体画像は、対象物における歪曲を検出するために、幾何学要素と比較されてもよく、最終的なモデルにおいて歪曲が修正され、そのモデルがオリジナルの対象物を正確に表現することを保障することを可能にする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

対象物をモデル化するモデリングシステムであって、
少なくとも一つのカメラと、
前記対象物の 2 次元 (2 D) 画像をキャプチャする画像グラバと、
前記対象物を走査して該対象物の 3 次元 (3 D) 画像を生成するスキャナーと、
前記 2 D 画像を幾何学要素に分解して、前記走査された 3 D 画像と前記幾何学要素とを
マッチングさせて前記モデルを生成する少なくとも一つのプロセッサと
を具備するモデリングシステム。

【請求項 2】

前記 2 D 画像は 2 D グレイトーン画像であり、前記 3 D 画像は 3 D ステレオ立体画像である請求項 1 記載のモデリングシステム。

【請求項 3】

前記少なくとも一つのカメラは、間隔を空けた空間関係で二つのカメラを備えた請求項 1 記載のモデリングシステム。

【請求項 4】

前記少なくとも一つの画像プロセッサは、前記 2 D 画像を前記幾何学要素に分解する第 1 画像プロセッサと、前記 3 D 画像と前記幾何学要素とをマッチングさせる第 2 画像プロセッサとを具備する請求項 1 記載のモデリングシステム。

【請求項 5】

前記少なくとも一つのプロセッサによってアクセス可能なメモリを更に具備し、前記メモリは、幾何学要素特性を反映する幾何学要素標準ライブラリを格納し、前記少なくとも一つの画像プロセッサは、前記ライブラリを参照することにより前記幾何学要素を有効にする請求項 1 記載のモデリングシステム。

【請求項 6】

前記少なくとも一つの画像プロセッサは、前記 3 D 画像と前記幾何学要素との間の歪曲を反映する修正マトリックスを更に生成し、前記少なくとも一つの画像プロセッサは、前記修正マトリックスに基づき前記 3 D 画像を修正する請求項 1 記載のモデリングシステム。

【請求項 7】

前記スキャナーは、前記対象物上に複数の照射ストライプを投射するレーザー投射器である請求項 1 記載のモデリングシステム。

【請求項 8】

前記少なくとも一つのカメラと前記対象物とを支持して前記少なくとも一つのカメラと前記対象物とを互いに相対的に移動させる少なくとも一つの可動のプラットフォームを更に具備する請求項 1 記載のモデリングシステム。

【請求項 9】

対象物のモデルを生成する方法であって、
前記対象物の 2 次元 (2 D) 画像をキャプチャするステップと、
前記対象物を走査して該対象物の 3 次元 (3 D) 画像を生成するステップと、
前記 2 D 画像を幾何学要素に分解するステップと、
前記 3 D 画像と前記幾何学要素とをマッチングさせて前記モデルを生成するステップと
を具備する方法。

【請求項 10】

幾何学要素特性を反映する幾何学要素標準ライブラリを用いて前記幾何学要素を有効にするステップを更に具備し、前記有効にするステップは前記マッチングステップの前に実施される請求項 9 記載の方法。

【請求項 11】

前記 3 D 画像と前記幾何学要素との間の差を決定するステップと、
前記 3 D 画像と前記幾何学要素との間の任意の歪曲を反映させるために、前記差に基づ

10

20

30

40

50

き修正マトリックスを生成するステップと、

前記修正マトリックスに基づき前記3D画像を修正するステップとを具備する請求項9記載の方法。

【請求項12】

前記走査ステップは、前記対象物上に複数の照射ストライプを投射するステップと、前記ストライプによって照射された前記対象物の部分の少なくとも一つの画像をキャプチャするステップとを具備する請求項9記載の方法。

【請求項13】

前記投射ステップは、第1セットの位置で前記照射ストライプを投射し、前記走査ステップは、前記第1セットの位置とは異なる第2セットの位置で前記対象物上に複数の照射ストライプを投射するステップと、前記第2セットの位置で前記ストライプによって照射された前記対象物の部分の少なくとも一つの画像をキャプチャするステップとを具備する請求項12記載の方法。

10

【請求項14】

前記3D画像は、少なくとも一つの点群を具備し、前記マッチングステップは、前記少なくとも一つの点群を複数の点群セグメントに分割するステップと、複数の点群セグメントのそれぞれと前記幾何学要素のひとつをマッチングするステップとを具備し、

前記方法は、前記複数の点群セグメントをひとつにまとめて前記モデルを生成する請求項9記載の方法。

20

【請求項15】

前記分解ステップからの情報に基づき走査速度を制御するステップを更に具備する請求項9記載の方法。

【請求項16】

前記3D画像は、少なくとも一つの点群を具備し、前記マッチングステップは、異常値を除去するステップと、前記少なくとも一つの点群における点密度を低減させるステップとのうちの少なくともひとつを具備する請求項9記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、コンピュータ支援設計(computer assisted design; CAD)及び方法に関し、更に詳しくは、既存の対象物(object)のCADモデルを生成するCADシステム及び方法に関する。

30

【背景技術】

【0002】

航空機エンジン及びヘリコプター機体シートメタル部品のような交換用部品を設計するには、上記交換用部品を機械加工するための正確な工具の通り道を提供するための3次元(3D)CADモデルを必要とする。理想的には、3DCADモデルは、与えられた部品における全ての幾何学要素、それらの寸法及びそれらの間の接続関係を正確に規定する。

40

【0003】

或る公知の3DCADモデリング技法では、既存のマスター部品を計測し、前記計測した寸法から手作業でCADモデルを作成する。この手作業処理は、極めて時間を必要とするのみならず、間違いを起ししやすい。さらに、上記マスター部品がゆがめられ、及び/又は、ゆがめられた表面に穴(hole)や溝(slot)などのような追加的な特徴を備えていると、上記手作業処理は、それらの誤差をモデルに持ち込み、上記モデルから作成される交換用部品を不正確なものにし、且つ既存部品に組み付けることを困難にする。

【0004】

他の公知のモデリング技法は、2次元(2D)投影の原図面を走査することにより3DCADを作成する。これもまた時間を消費すると共に間違いを起ししやすい処理である

50

。なぜなら、その図面は、正確または完全ではないかもしれないと共に特徴間の接続関係を明らかにしないからであり、モデリング処理の自動化を困難にする。組み立ての問題を解決するためにオリジナル部品の外側が修正(modify)されたような場合には、これらの修正がマスター図面に反映されないことはよくあることであり、その図面から作成された交換用部品を、正確な組み立てに適さないものにする。

【0005】

さらにまた、他の技法は、エアーfoil型(airfoil shape)のような複雑な表面を複製するために標準的に使用される走査システムを使用する。走査システムは、特に、彫りのある、パラメトリックサーフェイス(parametric surface)に適している。しかしながら、シートメタル部品は、表面が彫られてはいないが、標準の幾何学的な表面(例えば、平面および円筒)の組み合わせであり、従ってさほど複雑ではない。エアーfoil走査に採用された走査システムは、部品における如何なる歪曲をも含んで、幾何学を忠実に複製するであろう。これは、標準の幾何学的表面ではない彫られた表面(sculpted surface)をもたらす。従って、この方法を用いて作られた工具の通り道(tool path)は、標準の幾何学的表面ではなくて彫りのある表面を機械加工するのに有用である。なぜならば、形成された工具の通り道はより複雑であるが、逆に言えば、結果として得られるモデルにおける歪曲に起因して、より多くの間違いが起こりやすい。

10

【0006】

例えば、わずかな欠陥を有する平面(例えば、傷ついたシートメタル平面)は、多面のパラメトリックサーフェイスに帰着する。なぜなら、走査される表面の軽微な欠陥でさえ、表面の一部であると考えられ、従って彫りのある点群モデル(sculpted point cloud model)によって忠実に複製されるからである。よって、走査システムは、単純な表面を複製するのにも複雑な多軸マシンを必要とする。標準の幾何学表面を複製するための一層簡単なCADモデルをこれから導き出すことは、モデリング処理を更に複雑にする。

20

【0007】

処理資源および時間を最適化しながら、オリジナル部品の正確な複製である精密な3Dモデルを生成することができる3D CADモデリングシステムおよび方法に対する要請が存在する。

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

30

【0008】

本発明は、対象物の3Dモデルを生成するためのシステム及び方法を対象とする。本システムは、カメラと、3Dスキャナーと、2Dおよび3Dの両方を処理する少なくとも一つの画像処理プロセッサとを備える。上記カメラは、最初に対象物の2D画像をキャプチャ(capture)し、その構成要素の幾何学要素に分解(break)する。それから、3Dスキャナーは、その対象物を走査し、そしてその対象物を表現する3Dステレオ立体画像(3D stereoscopic image)を生成する。スキャナーは、その対象物が多く幾何学的要素および特徴を含んでいれば走査速度を減少させ、その対象物が単純なわずかな幾何学的要素から構成されている場合には走査速度を増加させるというように、特徴の豊富度に基づきその走査処理を調整してもよい。3Dステレオ立体画像は、2D画像から生成された幾何学的要素にフィッティングされて、最終的なモデルが生成される。

40

【0009】

一実施形態において、3Dステレオ立体画像は、対象物における歪曲を検出するために2D画像における可能性のある幾何学要素(a possible geometric elements)と比較される。そして、これらの歪曲は、生成されたモデルが歪曲を再現しないがオリジナルのデザインの意図を忠実に反映することを保証するために自動的に除去されてもよい。従って、本発明は、モデルが生成されるオリジナルの物理的対象物と比較しても一層正確な複製であるところの上記モデルを生成することを可能とする。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

50

本発明は、概して、標準の特徴づけられた幾何学シートメタルアイテムの完全な3D CADモデルを自動的かつ迅速に生成する3Dモデリング方法およびシステムを対象とする。各点を読み取って彫りのある表面(sculpted surface)を形成する複雑なエアークォイル型(airfoil shape)のための走査システムとは異なって、この処理は、オリジナルの正規の幾何学の正確な複製であるところの完全なCADモデルを自動的に生成する。この処理はまた、走査された表面における歪曲を自動的に修正かつ補正し、生成されたモデルにおいて歪曲のない表面の正しい場所に任意の穴および他の局所的な特徴を配置する。

【0011】

図1は、本発明の一実施形態によるモデリングシステム100の構成要素を図解する代表的なブロック図である。一実施形態において、システム100であるところの2Dグレイトーンビジョンシステム(2D gray-tone vision system)は、3D走査システムと一体化されている。一般に、システム100は、複雑な彫りのある表面としてよりは、むしろ標準の幾何学的表面の組み合わせとして対象物の形状を解釈することによってその対象物の完全な3D CADモデルを生成することにより、現在知られているモデリングシステムにおいて必要とされる多くの処理資源を回避する。これをなすため、本システムは、まず、対象物の2次元(2D)グレイトーン幾何学マップ(two-dimensional grey-tone geometric map)を生成する。そして、3D走査システムは、その対象物を走査して、走査した3Dの点を2Dマップに記された幾何学にフィッティング(fit)させる。3D走査データを2D幾何学マップにフィッティングさせることにより、本発明のシステムおよび方法は、まさに存在する要素のためのモデルを生成することができ、そして、それは時間消費を一層少なくし、且つ、同一の時間で不正確さ(例えば、歪曲、そり等)を自動的に修正することを可能としながら、従来の方法と比較して、より正確な複製を作成する。

10

20

【0012】

モデリングシステム100自体は、モデル化される対象物104のプロファイル(profile)を捕らえるために使用される、白黒CCDカメラのような、1又は2以上のカメラ102を備えてもよい。カメラ102は白黒カメラ102であってもよく、所望の画素解像度(pixel resolution)を有している。カメラ102はコンピュータ106と通信し、このコンピュータ106は、データを処理することが可能な任意の装置であればよい。カメラ102は、画像データをコンピュータ106にある画像グラバ(image grabber)108に送信し、この画像グラバは、カメラ102から取得された画像をキャプチャ(capture)し、そしてそれを2Dグレイトーン画像として格納する。画像プロセッサ110は、画像部グラバ108からの2Dグレイトーン画像を、その要素幾何学対象物(component geometric object)に分割(break)する。一実施形態において、メモリ111は、画像プロセッサ110が2Dグレイトーン画像をマッチングさせるために幾何学要素を選択できるところの幾何学要素標準ライブラリを格納する。ここにおいて、標準画像ライブラリは、平面(例えば、部分表面のためのもの)、円筒、弧(例えば、表面混合半径のためのもの)、円筒(例えば、ボルト穴のためのもの)、線(例えば、部分エッジのためのもの)に加えて、対象物104に存在するであろう全ての可能性のある幾何学要素を反映する他の形状を含む。

30

【0013】

また、システム100は、対象物を走査すると共に3Dステレオ立体画像(例えば点群(point cloud))を生成する3D走査システムを備える。一実施形態において、3D走査システムは、複数の微細なレーザーストライプを対象物104上に投射するレーザー投射器120を備える。カメラ102は、上記投射されたストライプにより照射された対象物104の画像をキャプチャし、そして、この情報を第2画像プロセッサ122に送信し、この第2画像プロセッサは3Dステレオ立体画像を生成する。この例では、2Dグレイトーン画像を処理するための第1画像プロセッサ110と、3Dステレオ立体画像を生成するための第2画像プロセッサとを備えるが、これら二つのプロセッサ110, 122の機能は、本発明の要旨を逸脱することなく、一つの画像プロセッサで実行されてもよい。

40

【0014】

50

カメラ102または対象物104の何れかは、それらが制御された状態で移動できるように、コンピュータ106に動作可能なように接続された可動のプラットフォーム116上に取り付けられていてもよい。画像プロセッサ110は、カメラ102から2Dグレイトーン画像情報および3Dステレオ立体画像を取り出し、そして3Dステレオ立体画像における点を、2Dグレイトーン画像から得られた幾何学要素とフィッティングさせて、以下に更に詳細に述べられるであろう方法で最終的なモデルを生成する。

【0015】

図2は、本発明の一実施形態による図1に示された本システムによって実行される方法を図解するフロー図である。本方法の最初の部分では、カメラ102は、モデル化されるべき対象物の2Dグレイ画像を生成する。一般に、これ及び可能性のある表面のライブラリから、2Dシステムは、全ての標準の、存在する幾何学的特徴のある表面を決定し、そして表面間に存在する大まかな幾何学情報および関係を生成する。

10

【0016】

図2に示されるように、処理は、2D視(2D vision)及び3Dステレオ立体視(3D stereovision)のためにカメラ102を較正する較正ステップを備える(ブロック200)。一実施形態において、較正処理は、透視変換(perspective transformation)のために各カメラ102を較正するステップと、スケーリングファクタ、ラジアルレンズ歪(radial lens distortion)、および、カメラ座標系から部品座標系(part coordinate system)への変換を計算するステップと含む。カメラ較正は、例えば、正確な四角のグリッドを有するバックリットガラス板(backlit glass plate)を備えた公知の較正目標(calibration target)を用いて実施されてもよい。一実施形態において、3Dから2Dへのマッピング変換は、グリッド上の各四角の各コーナーについて、対応する測定されたカメラ座標をマッチングさせることによりグリッドコーナー座標を用いて発生される。そして、ステレオ立体視アルゴリズムは、この変換を使用して、各画像上の各画素のためのカメラ座標を組み合わせ、その画素に対応する3D座標を生成する。

20

【0017】

較正の後、カメラ102および画像グラバ108は、2D画素データをキャプチャし、対象物104の2Dグレイトーン画像表現を形成する(ブロック202)。そして、画像プロセッサ110は、2Dグレイトーン画像を、その幾何学要素に分解(break down)し(ブロック204)、そして標準の画像ライブラリにある幾何学に対して幾何学画像を有効(validate)にする(ブロック206)。幾何学要素分解および有効化ステップは、ライブラリにおける標準の幾何学に対して2Dグレイトーン画像に存在する幾何学要素をフィッティングさせ、2D幾何学モデルをもたらす。一実施形態において、エッジ検出は、対象物境界(object boundary)での光度における変化の割合に注意することと共に、与えられた位置での変化の割合が閾値を超える場合にその位置での幾何学境界(geometric boundary)を示すことにより実施される。2D画像における幾何学要素間の境界を識別するために、特別なフィルタリングアルゴリズムを使用してもよい。反射された光度が急激に低下した時に、エッジ境界をマークする；2Dグレイトーン画像が、コントラストを増加させると共に境界区分(boundary demarcation)を容易かつ自動にするためのソフトウェアフィルタを通過する。画像キャプチャ中に対象物104を一様に照明することは、これらの境界の正確な検出を保証する。

30

40

【0018】

次に、システム100は、3D走査システムと共に2D幾何学モデルを使用して最終的なモデルを生成する。一実施形態において、システム100は、2D幾何学モデルを用いて、モデルに存在する要素のタイプと複雑度に基づき3D走査スキームを作成する(ブロック208)。例えば、もし2D幾何学モデルが特徴に富んだプロファイル(profile)を反映すれば(例えば、対象物が、多くの穴を備え、幾何学的なプロファイルが急速に変化すれば)、システム100は、特徴の全てがキャプチャされることを保証するため、一層遅くなるように3D走査速度を調節してもよい。他方、対象物の表面が追加的特徴のない例えば単純な平面であれば、システム100は走査処理の速度を増加させる。

50

【0019】

一旦、走査スキームが作成されると(ブロック208)、画像プロセッサ110は、3D走査処理によって得られた点を後でフィッティングさせて幾何学をマッチングさせることができるように、2D幾何学モデルに存在する幾何学要素のリストを作成する(ブロック210)。これは、点をフィッティングする全ての可能性のある幾何学を最初から生成するよりも十分に速い。

【0020】

次に、レーザー投射器120は、複数のストライプを対象物104上に投射し、そしてカメラ102は、ストライプによって照射された部分の3Dステレオ立体画像をキャプチャする(ブロック212)。そして、第2画像プロセッサ122は、例えば、ステレオ立
10
体点マッチング技法(terescopic point matching techniques)を用いて(即ち、各カメラスクリーン上に照らされたストライプ上の点を対象物104上の対応点にマッチングさせることにより)、照射された点の3D座標を計算して、対象物104の3Dステレオ立体画像(例えば、点群)を生成する(ブロック214)。

【0021】

3Dステレオ立体画像に更なる細部を付け加えるために、カメラ102および対象物104は、選択された増分だけ互いに相対的に移動されてもよい。従って、カメラ102は、点群幾何学(point cloud geometry)における所望量の細部、及び/又はオリジナルの対象物の細部の豊富度に基づき追加の画像をキャプチャすることができる(ブロック216)。追加の画像をキャプチャするかどうかの決定、および使用される走査速度の決定は、
20
ブロック208で得られた3D走査スキームに基づく。多くの細部を有する対象物104は、例えば、単純な幾何学と少ない細部を有する対象物よりも多くの画像を保証する。特定の走査スキームとは無関係に、画像の究極の走査速度および数は、生成されたモデルが、時間および処理資源を最適化しながらも、対象物104における全ての細部を反映するように選択される。一実施形態において、カメラ102及び/又は対象物は、それらが前のストライプ位置間の中間位置で対象物104の画像をキャプチャするように移動されてもよい。そして、対象物104の合成3Dステレオ立体画像(a composite 3D stereoscopic image)は、キャプチャされた3D画像の各中間位置からの種々の画像をつなぎ合わせる
30
ことにより得られてもよく、これはオリジナル対象物の細部の豊富度に見合う点密度を有するであろう。

【0022】

一旦、所望の3Dステレオ立体画像の全てが得られると、第2の画像プロセッサ122が、3D走査処理により得られた点群のセグメントと、2D画像処理で得られた幾何学要素とをマッチングさせる(ブロック218)。この幾何学要素マッチングステップは、点群における全ての点を調整するフィッティングパラメトリックサーフェイスを必要とせず; されど、画像プロセッサ122は、単に、反転幾何学生成システム(reverse geometry creation system)により3Dステレオ立体画像を、識別された幾何学要素にフィッ
40
ティングさせ、これは一層簡単な処理である。幾何学要素は、点群を分割(segment)してそれらを要素にフィッティングさせる方法に関する手引きを提供し、3Dステレオ立体画像を、検出された幾何学形状とこの形状間の接続関係にマッチングさせる初期の3Dモデルを形成する。

【0023】

幾何学要素により提示される制約は、漂遊点ノイズ低減(stray point noise reduction)、点密度低減、対象物の3D画像における特徴マッチング(feature matching)及び特徴
50
誇張(feature sharpening)を画像プロセッサ122に自動的に実施させる。なぜなら、プロセッサ112は、通常、幾何学要素にフィッティングしない点を無視するからである。一実施形態において、3Dステレオ立体画像は、異常値(outlier)を除去するために点処理フィルタ(point processing filter)を通され、そして、冗長な点を除去するために適切な点密度に調整される。上記幾何学要素は、3Dステレオ立体画像における点が対象物における実際の特徴にのみマッチングし、3D画像における点群が示唆する形状(それは

不正確であるかもしれない)にはマッチングしないということを保証する。

【0024】

また、3Dステレオ立体画像処理システムは、2Dおよび3D画像を用いて、対象物104に内在する如何なる誤差(例えば、シートメタル部品における歪曲に起因する)をも自動的に修正する(ブロック220)。一実施形態において、画像プロセッサ122は、2D幾何学要素にフィッティングされたオリジナルの3Dステレオ立体画像点を比較し、そして与えられた表面についての幾何学的特性を用いて名目上の幾何学表面と3Dステレオ立体画像における点によって反映されるような実際の表面位置との間の差に基づき歪曲量を決定する。例えば、プロセッサ122は、平面の平坦度、円筒表面の円筒度等を計算し、そして点群により表される実際の対象物幾何学と、対象物を形成する要素の理想的な幾何学特性とを比較してもよい。計測されたプロファイルと、その対応する幾何学要素との間の差に基づき、プロセッサ122は、歪曲プロファイル(distortion profile)および修正マトリックス(correction matrix)を計算する。

10

【0025】

この表面歪曲情報および修正マトリックスパラメータに基づき、画像プロセッサ122は、キャプチャされた2Dグレイトーン画像および3Dステレオ立体画像データを修正して、モデルにされた対象物における全ての特徴について正確な座標と歪曲のないモデルを生成する(ブロック222)。例えば、ゆがめられた平面上のゆがめられた穴は、正しい穴が歪曲のない表面上の適切な場所に位置するように、修正マトリックスにより変換される。走査された幾何学におけるゆがめられた穴の真円度誤差とゆがめられた平面の真直度は、この特徴の組み合わせについての修正マトリックスを与えるパラメータである。修正マトリックスは、それを真の形状にするためにはゆがめられた幾何学における各走査点をどのくらい修正すればよいのかを示す点を計算する。他の修正パラメータ組み合わせは、ライブラリにある全ての幾何学についての許容される幾何学組み合わせ(allowable geometry combination)から得られる。そして、プロセッサ122は、全ての3Dステレオ立体画像表面情報および全ての幾何学要素をひとつにまとめて、完成した正確な3Dモデルを構成する(ブロック224)。

20

【0026】

3Dモデルを構築するための2D幾何学要素フレームワークから始めることにより、本発明の方法およびシステムは、与えられた対象物の正確な3Dモデルを生成するのみならず、検出された3Dステレオ立体画像を、対象物を形成する幾何学要素とフィッティングさせることにより、オリジナルの対象物における不完全性および歪曲を実質的に補正することができる。さらに、また、彫りのあるパラメトリックサーフェイスとしてよりも、むしろ対象物を幾何学要素の組み合わせとして取り扱うことは、画像を生成するために使用される処理資源を低減させると同時に、不完全性および歪曲を補正する。その結果、本発明は、現在公知の方法よりも、一層少ない時間で、一層正確な3DCADモデルを作成する。

30

【0027】

本明細書で述べられた本発明の一実施形態の種々の代案が本発明を実施するのに採用できることが理解される。本願の請求項が本発明の範囲を定め、且つ本願請求項の範囲内の方法および装置およびそれらの均等物がこれにより保護されることが意図されている。

40

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】本発明の一実施形態によるシステムを図解するブロック図である。

【図2】本発明の一実施形態による方法を図解するフロー図である。

【符号の説明】

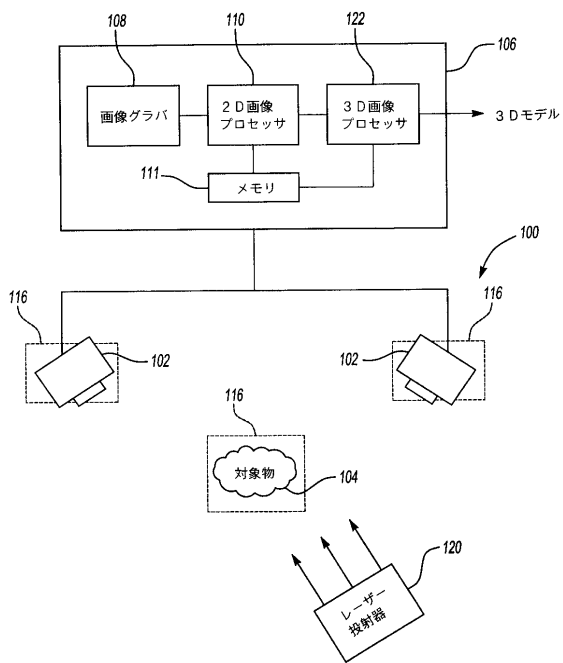
【0029】

- 100 システム
- 102 カメラ
- 104 対象物

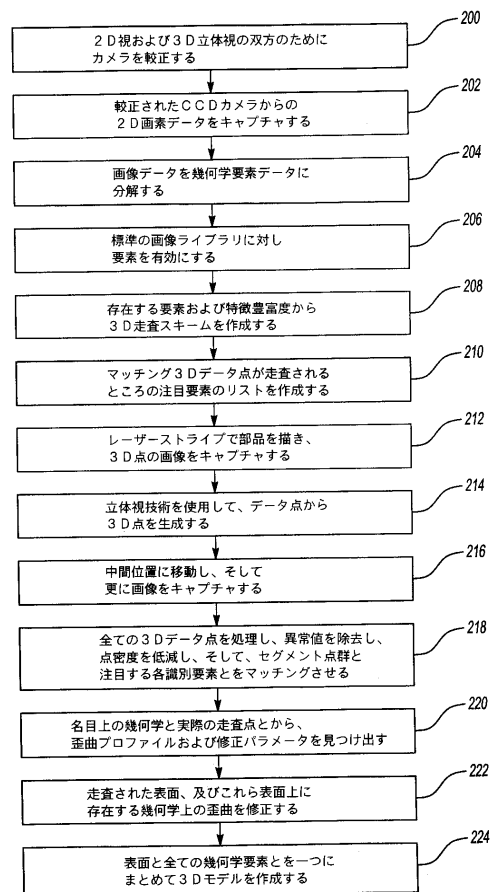
50

- 106 コンピュータ
- 108 画像グラバ
- 110 2D画像プロセッサ
- 111 メモリ
- 122 3D画像プロセッサ

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷ F I テーマコード(参考)
G 0 1 B 11/24 N

(72)発明者 ジャナキラマン・ヴァイジャナサン

アメリカ合衆国・コネチカット・0 6 0 7 4・サウス・ウィンザー・オースティン・サークル・9

Fターム(参考) 2F065 AA12 AA46 AA47 AA48 AA53 BB05 FF05 FF07 GG04 HH05
JJ03 JJ05 QQ18 QQ33 QQ38
5B046 AA05 EA08 FA18
5B050 DA07 EA28 FA06
5B057 BA02 CA02 CA08 CA12 CA13 CA16 CB13 CB16 CD12 CD14
CE08 DA07 DA17 DB03 DB05 DB09 DC05 DC22

【 外国語明細書 】

CAD MODELING SYSTEM AND METHOD

TECHNICAL FIELD

The present invention relates to computer assisted design (CAD) system and methods, and more particularly to CAD systems and methods that create a CAD model of an existing object.

BACKGROUND OF THE INVENTION

Designing replacement parts, such as aircraft engine and helicopter airframe sheet metal parts, require accurate three-dimensional (3D) CAD models to provide an accurate tool path for machining the replacement parts. Ideally, the 3D CAD model precisely defines all the geometric elements in a given part, their dimensions and the connectivity relationships between them.

One known 3D CAD modeling technique involves measuring an existing master part and creating a CAD model manually from the measured dimensions. This manual process tends to be very time-consuming and error prone. Further, if the master part is distorted and/or has additional features like holes, slots, etc. on distorted surfaces, the manual process will introduce these errors into the model, making replacement parts produced from the model inaccurate and difficult to assemble onto existing parts.

Another known modeling technique creates a 3D CAD model by scanning the original paper drawings, which are two-dimensional (2D) projections. This is also a time-consuming, error-prone process because the drawings may not be accurate or complete and do not reveal connectivity relationships between features, making automation of the modeling process difficult. In cases where the original part has been modified onsite to solve an assembly problem, these modifications are often not reflected in the master drawing, making replacement parts made from the drawing unfit for proper assembly.

Yet another technique uses a scanning system normally used to reproduce complex surfaces like airfoil shapes. Scanning systems are particularly appropriate for sculpted, parametric surfaces. However, sheet metal parts are not sculpted surfaces, but are a combination of regular geometric surfaces (e.g., planes and

cylinders) and are therefore less complex. Scanning systems employed in airfoil scanning will reproduce the geometries faithfully, including any distortions in the part. This results in a sculpted surface and not a regular geometric surface. Thus, the tool path produced using this method will be useful for machining sculpted surfaces and not for regular geometric surfaces because the tool path created is more complex and, paradoxically, more error-prone due to the distortions in the resulting model.

For example, a planar surface with even slight imperfections (e.g., a dented sheet metal plane) will result in a multi-faceted parametric surface because even minor imperfections on the surface being scanned are assumed to be part of the sculpted surface and therefore faithfully reproduced by a sculpted point cloud model. Thus, the scanning system requires a complex multi-axis machine to reproduce even simple surfaces. Deriving a simpler CAD model out of this to reproduce the standard geometric surfaces adds further complexity to the modeling process.

There is a desire for 3D CAD modeling system and method that can generate an accurate 3D model that is an exact replica of an original part while optimizing processing resources and time.

SUMMARY OF THE INVENTION

The present invention is directed to a system and method for generating a 3D model of an object. The system includes cameras, a 3D scanner, and at least one image processor that processes both 2D and 3D images. The cameras first capture a 2D image of the object to be modeled and breaks the 2D image into its constituent geometric elements. The 3D scanner then scans the object and generates a 3D stereoscopic image depicting the object. The scanner may adjust its scanning process based on the feature-richness of the object, such as reducing the scanning speed if the object contains many geometric elements and features and increasing the scanning speed if the object is made of only a few simple geometric elements. The 3D stereoscopic image is fitted to the geometric elements generated from the 2D image to generate the final model.

In one embodiment, the 3D stereoscopic image is compared with the possible geometric elements in the 2D image to detect distortions in the object. These

distortions may then be automatically removed to ensure that the generated model does not duplicate the distortions but faithfully reflects the original design intent. Thus, the invention can generate a model that is a more accurate reproduction even compared to the original physical object from which the model is generated.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

Figure 1 is a representative block diagram illustrating a system according to one embodiment of the invention; and

Figure 2 is a flow diagram illustrating a method according to one embodiment of the invention.

DETAILED DESCRIPTION OF THE EMBODIMENTS

The invention is generally directed to a 3D modeling method and system that automatically creates a full 3D CAD model of regular featured geometry sheet metal items quickly and automatically. Unlike scanning systems for complex airfoil shapes, which interprets each point and creates a sculpted surface, this process automatically creates full CAD models that are the exact replica of the original regular geometry. This process also automatically corrects and compensates for distortions in the scanned surfaces, placing any holes and other localized features in the correct location in an undistorted surface in the generated model.

Figure 1 is a representative block diagram illustrating components of a modeling system 100 according to one embodiment of the invention. In one embodiment, the system 100 a 2D gray-tone vision system was integrated with a 3D scanning system. Generally, the system 100 avoids the extensive processing resources needed in currently-known modeling systems by creating a full 3D CAD model of an object by interpreting the object's shape as a combination of regular geometric surfaces rather than as a complex sculpted surface. To do this, the system first generates a two-dimensional (2D) grey-tone geometric map of the object. The 3D scanning system then scans the object and fits the scanned 3D points to the geometries noted in the 2D map. By fitting the 3D scanned data into the 2D geometric map, the inventive system and method can create a model for just the elements present, which is less time-consuming and a generates a more accurate

reproduction compared to conventional methods while at the same time being able to automatically correct for any inaccuracies (e.g., distortions, warping, etc.) inherent in the objects.

The modeling system 100 itself may include one or more cameras 102, such as black and white CCD cameras, used to capture a profile of a object 104 to be modeled. The cameras 102 may be black-and-white cameras 102 and have a desired pixel resolution. The cameras 102 communicate with a computer 106, which can be any device that can process data. The cameras 102 send image data to an image grabber 108 in the computer 106, which captures the image taken from the cameras 102 and stores it as a 2D gray-tone image. An image processor 110 breaks the 2D gray-tone image from the image grabber 108 into its component geometric objects. In one embodiment, a memory 111 stores a geometric element standards library from which the image processor 110 can choose the geometric elements to match the 2D gray-tone image. In this, the standard image library includes planes (e.g., for part surfaces), cylinders, arcs (e.g., for surface blending radii), cylinders (e.g., for bolt holes), lines (e.g., for part edges), along with other shapes that reflect all possible geometric elements that will be present in the object 104.

The system 100 also includes a 3D scanning system that scans the object and generates a 3D stereoscopic image (e.g., a point cloud). In one embodiment, the 3D scanner includes a laser projector 120 that projects a plurality of fine laser stripes onto the object 104. The cameras 102 then capture the images of the object 104 illuminated by the projected stripes and send this information to a second image processor 122, which generates a 3D stereoscopic image. Note that although this example has a first image processor 110 to process 2D gray-tone images and a second image processor 122 to process 3D stereoscopic images, the functions of these two processors 110, 122 may be carried out in a single image processor without departing from the scope of the invention.

Either the cameras 102 or the object 104 may be mounted on a movable platform 116 operatively coupled to the computer 106 so that they can be moved in a controlled manner. The image processor 110 takes the 2D gray-tone image information from the camera 102 and the 3D stereoscopic image and fits the points in the 3D stereoscopic image with the geometric elements obtained from the 2D

gray-tone image to generate the final model in a manner that will be described in greater detail below.

Figure 2 is a flow diagram illustrating a method carried out by the system shown in Figure 1 according to one embodiment of the invention. In the first part of the method, the cameras 102 generate the 2D gray-tone image of the object to be modeled. Generally, from this and the library of possible surfaces the 2D system determines all the regular, geometric featured surfaces present and generates a rough geometry information and relationships present between the surfaces.

As shown in Figure 2, the process may include a calibration step that calibrates the cameras 102 for both 2D vision and 3D stereovision (block 200). In one embodiment, the calibration process includes calibrating each camera 102 for perspective transformation and calculating scaling factors, radial lens distortion, and transformation from the camera coordinate system to the part coordinate system. Camera calibration may be conducted using a known calibration target comprising, for example, a backlit glass plate containing a grid of precise squares. In one embodiment, a 3D-to-2D mapping transformation is generated using the grid corner coordinates by matching the corresponding measured camera coordinates for each corner of each square on the grid. A stereovision algorithm then uses this transformation to combine the camera coordinates for each pixel on each image to generate the 3D coordinate corresponding to that pixel.

After calibration, the cameras 102 and image grabber 108 capture 2D pixel data, forming a 2D gray-tone image representation of the object 104 (block 202). The image processor 110 then breaks down the 2D gray-tone image into its geometric elements (block 204) and validates the geometric images against geometries in the standard image library (block 206). The geometric element breakdown and validation step fits the geometric elements present in the 2D gray-tone image against standard geometries in the library, resulting in the 2D geometry model. In one embodiment, the edge detection is conducted by noting the rate of change in light intensity levels at object boundaries and indicating a geometric boundary at a given location if the rate of change at that location is above a threshold value. A special filtering algorithm may be used to identify the boundaries between geometric elements in the 2D image. When the reflected light intensity falls

off rapidly it marks an edge boundary; the 2D gray tone images are run through software filters to increase the contrast and to make the boundary demarcation easy and automatic. Uniform illumination of the object 104 during image capture ensures accurate detection of these boundaries.

Next, the system 100 uses the 2D geometry model in conjunction with the 3D scanning system to generate the final model. In one embodiment, the system 100 uses the 2D geometry model to create a 3D scanning scheme based on the complexity and type of elements present in the model (block 208). For example, if the 2D geometry model reflects a feature-rich profile (e.g., if the object contains many holes and rapidly changing geometric profiles), the system 100 may modulate the 3D scanning speed so that it is slower to ensure that all of the features are captured. On the other hand, if the object surface is, for example, a simple plane with no additional features, the system 100 increases the speed of the scanning process.

Once the scanning scheme has been created (block 208), the image processor 110 creates a list of geometric elements present in the 2D geometry model so that it can later fit points obtained via the 3D scanning process to match the geometries (block 210). This is much faster than creating all possible geometries that will fit the points from scratch.

Next, the laser projector 120 projects a plurality of stripes onto the object 104 and the cameras 102 capture 3D stereoscopic images of the portions illuminated by the stripes (block 212). The second image processor 122 then calculates the 3D coordinates of the illuminated points using, for example, stereoscopic point-matching techniques (i.e., by matching points on each illuminated stripe on each camera screen to a corresponding point on the object 104) to generate a 3D stereoscopic image (e.g., a point cloud) of the object 104 (block 214).

To add more detail to the 3D stereoscopic image, the cameras 102 and the object 104 may be moved relative to each other in selected increments. The cameras 102 can therefore capture additional images based on the desired amount of detail in the point cloud geometry and/or the detail richness of the original object (block 216). The decision of whether to capture additional images and the scanning speed to be used is based on the 3D scanning scheme obtained in block 208. An object 104

having a large amount of detail, for example, may warrant more images than an object having a simple geometry and little detail. Regardless of the specific scanning scheme, the ultimate scanning speed and number of images is chosen so that the generated model reflects all of the details in the object 104 while optimizing time and processing resources. In one embodiment, the cameras 102 and/or the object may be moved so that they capture images of the object 104 at intermediate locations between previous stripe positions. A composite 3D stereoscopic image of the object 104 may then be obtained by stitching together the various images from each intermediate location of the captured 3D images, and this will have a point density commensurate with the detail richness of the original object.

Once all of the desired 3D stereoscopic images have been obtained, the second image processor 122 matches segments of the point clouds obtained via the 3D scanning process with the geometric elements obtained in the 2D imaging process (block 218). Note that this geometric element matching step does not require fitting parametric surfaces that accommodates all the points in the point cloud; instead, the image processor 122 merely fits the 3D stereoscopic images to the identified geometric elements via a reverse geometry creation system, which is a simpler process. The geometric elements provide guidance on how to segment the point clouds to fit them to the elements, forming an initial 3D model that matches the 3D stereoscopic images to the detected geometric shapes and the connectivity relationships between the shapes.

The constraints offered by the geometric elements causes the image processor 122 to automatically conduct stray point noise reduction, point density reduction, feature matching and feature sharpening in the 3D image of the object because the processor 112 will generally disregard points that do not conform to the geometric elements. In one embodiment, the 3D stereoscopic image is passed through point processing filters to remove outliers and then adjusted for proper point density to remove redundant points. The geometric elements ensure that the points in the 3D stereoscopic image are matched only to actual features in the object and not to the shapes (which may be inaccurate) that the point cloud in the 3D image suggest.

The 3D stereoscopic image processing system also automatically corrects any inaccuracies inherent in the object 104 (e.g., due to distortions in sheet metal parts) using the 2D and 3D images (block 220). In one embodiment, the image processor 122 compares the original 3D stereoscopic image points it has fitted into the 2D geometric elements and determines the amount of distortion based on the difference between the actual surface location as reflected by the points in the 3D stereoscopic image and the nominal geometrical surface using the geometric characteristics for the given surface. For example, the processor 122 may calculate the flatness of a planar surface, the cylindricity of a cylindrical surface, etc, and compare the actual object geometries as represented by the point cloud with the ideal geometric characteristics of the elements forming the object. Based on the differences between the measured profile and its corresponding geometric elements, the processor 122 calculates a distortion profile and a correction matrix.

Based on this surface distortion information and the correction matrix parameters, the image processor 122 corrects the captured 2D gray-tone image and 3D stereoscopic image data to create a distortion-free model and precise coordinates for all the features in the modeled object (block 222). For example, a distorted hole on a distorted plane surface will be transformed by the correction matrix so that the true hole lies on the proper location on the undistorted surface. The circularity error of the distorted hole and the straightness error of the distorted plane in the scanned geometry are the parameters that give the correction matrix for this feature combination. The correction matrix calculates point to point how each scanned point in the distorted geometry has to be corrected to bring it to the true shape. Other correction parameter combinations are obtained from the allowable geometry combinations for all the geometries present in the library. The processor 122 then merges all the 3D stereoscopic image surface information and all of the geometry elements to form a completed, precise 3D model (block 224).

By starting with a 2D geometric element framework to construct a 3D model, the inventive method and system not only generates a precise 3D model of a given object, but can actually compensate for distortions and imperfections in the original object by fitting the detected 3D stereoscopic image with the geometric elements forming the object. Further, treating the object as a combination of geometric

elements rather than as a sculpted parametric surface also compensates for distortions and imperfections while at the same time reducing the processing resources used to generate the image. As a result, the invention creates a more precise 3D CAD model, in less time, than currently known methods.

It should be understood that various alternatives to the embodiments of the invention described herein may be employed in practicing the invention. It is intended that the following claims define the scope of the invention and that the method and apparatus within the scope of these claims and their equivalents be covered thereby.

CLAIMS

1. A modeling system for modeling an object, comprising:
 - at least one camera;
 - an image grabber that captures a two dimensional (2D) image of the object;
 - a scanner that scans the object to create a three dimensional (3D) image of the object; and
 - at least one image processor that breaks the 2D image into geometric elements and matches the scanned 3D image with the geometric elements to generate the model.
2. The modeling system of claim 1, wherein the 2D image is a 2D gray-tone image and the 3D image is a 3D stereoscopic image.
3. The modeling system of claim 1, wherein said at least one camera comprises two cameras in a spaced spatial relationship.
4. The modeling system of claim 1, wherein said at least one image processor comprises a first image processor that breaks the 2D image into the geometric elements and a second image processor that matches the 3D image with the geometric elements.
5. The modeling system of claim 1, further comprising a memory accessible by said at least one processor, wherein the memory stores a geometric element standards library reflecting geometric element characteristics and wherein said at least one image processor validates the geometric elements by referencing the library.
6. The modeling system of claim 1, wherein said at least one image processor further generates a correction matrix reflecting distortion between the 3D image and the geometric elements, wherein said at least one image processor corrects the 3D image based on the correction matrix.

7. The modeling system of claim 1, wherein the scanner is a laser projector that projects a plurality of illuminated stripes on the object.
8. The modeling system of claim 1, further comprising at least one movable platform supporting at least one of said at least one camera and the object to move said at least one camera and the object relative to each other.
9. A method of generating a model of an object, comprising:
 - capturing a two dimensional (2D) image of the object;
 - scanning the object to create a three dimensional (3D) image of the object;
 - breaking the 2D image into geometric elements; and
 - matching the 3D image with the geometric elements to generate the model.
10. The method of claim 9, further comprising validating the geometric elements with a geometric element standards library reflecting geometric element characteristics, wherein the validating step is conducted before the matching step.
11. The method of claim 9, further comprising:
 - determining a difference between the 3D image and the geometric elements;
 - generating a correction matrix based on the difference to reflect any distortion between the 3D image and the geometric elements; and
 - correcting the 3D image based on the correction matrix.
12. The method of claim 9, wherein the scanning step comprises projecting a plurality of illuminated stripes on the object and capturing at least one image of portions of the object illuminated by the stripes.
13. The method of claim 12, wherein the projecting step projects the illuminated stripes at a first set of locations, and wherein the scanning step further comprises projecting the plurality of illuminated stripes on the object at a second set of locations different than the first set of locations and capturing at least one image of portions of the object illuminated by the stripes in the second set of locations.

14. The method of claim 9, wherein the 3D image comprises at least one point cloud, and wherein the matching step comprises:

segmenting said at least one point cloud into a plurality of point cloud segments; and

matching each of the plurality of point cloud segments with one of the geometric elements,

and wherein the method further comprises merging the plurality of point cloud segments to generate the model.

15. The method of claim 9, further comprising controlling a scanning speed based on information from the breaking step.

16. The method of claim 9, wherein the 3D image comprises at least one point cloud, and wherein the matching step further comprises at least one of removing outliers and reducing point density in said at least one point cloud.

1 . Abstract

A 3D object modeling system and method system and method captures a 2D representation of the object to be modeled and breaks the 2D image into its geometric elements. The 3D stereoscopic image is then fitted to the geometric elements generated from the 2D image to generate the final model. The 3D stereoscopic image may be compared with the geometric elements to detect distortions in the object, allowing the distortions to be corrected in the final model to ensure that the model accurately depicts the original object.

2 . Representative Drawing

Fig. 1

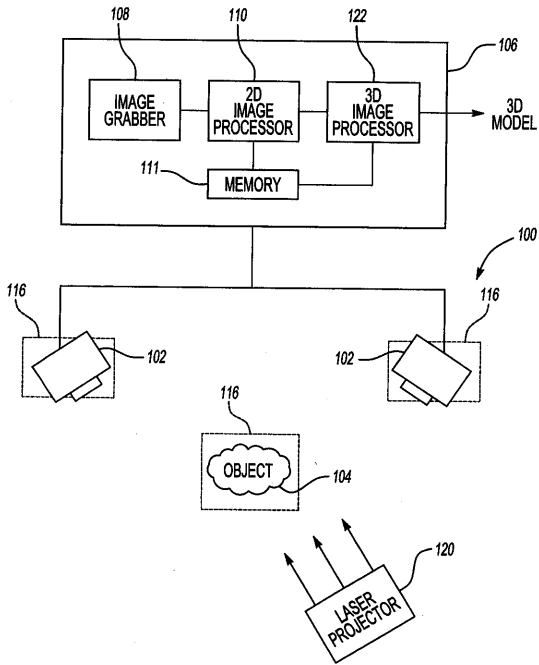


Fig-1

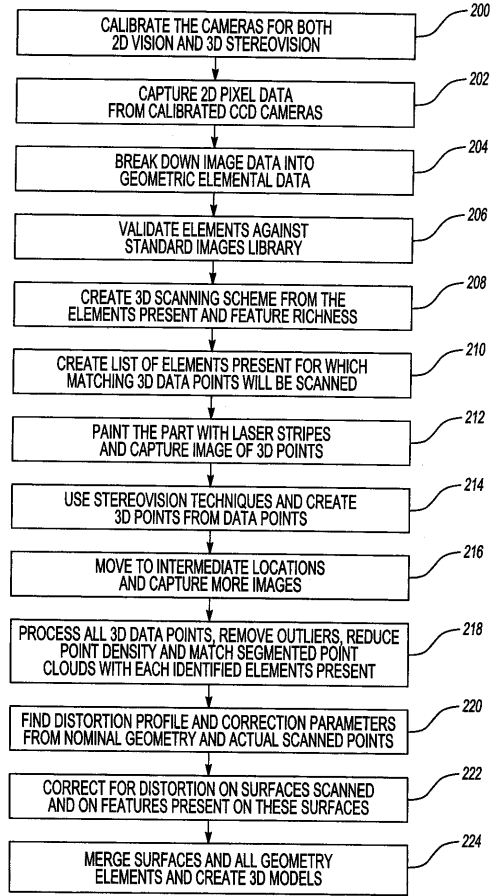


Fig-2