

(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2004-508954
(P2004-508954A)

(43) 公表日 平成16年3月25日(2004.3.25)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
B 2 5 J 13/08	B 2 5 J 13/08	A 2 F 0 6 5
B 2 3 P 19/04	B 2 3 P 19/04	G 3 C 0 0 7
G 0 1 B 11/00	G 0 1 B 11/00	H 3 C 0 3 0
G 0 5 B 19/19	G 0 5 B 19/19	H 5 B 0 5 7
G 0 6 T 1/00	G 0 6 T 1/00	3 1 5 5 H 2 6 9

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 43 頁)

(21) 出願番号	特願2002-527722 (P2002-527722)	(71) 出願人	390038014 ビーエイイー システムズ パブリック リミテッド カンパニー BAE SYSTEMS p l c イギリス国、エスタブリッシュワイ・5エー ディー、ロンドン、カールトン・ガーデン ズ 6
(86) (22) 出願日	平成13年8月30日 (2001. 8. 30)	(74) 代理人	100058479 弁理士 鈴江 武彦
(85) 翻訳文提出日	平成14年2月20日 (2002. 2. 20)	(74) 代理人	100084618 弁理士 村松 貞男
(86) 国際出願番号	PCT/GB2001/003878	(74) 代理人	100092196 弁理士 橋本 良郎
(87) 国際公開番号	W02002/023121	(74) 代理人	100095441 弁理士 白根 俊郎
(87) 国際公開日	平成14年3月21日 (2002. 3. 21)		
(31) 優先権主張番号	0022444. 4		
(32) 優先日	平成12年9月13日 (2000. 9. 13)		
(33) 優先権主張国	イギリス (GB)		

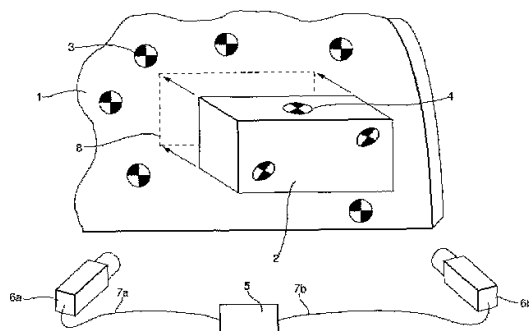
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 位置決め装置およびシステム

(57) 【要約】

計算機支援製造において使用するための位置決め装置であって、第1の部品(2; 23)の位置および配向に関する情報を生成するようにされている少なくとも1つの測定手段(4, 5, 6a, 6b)、生成された情報を受取るようにされているプロセッサ手段(5)、およびプロセッサ手段に回答して第1の部品をマニピュレートするようにされている第1の処理手段(21)を含み; 該少なくとも1つの測定手段(3, 5, 6a, 6b; 4, 5, 6a, 6b)がさらに、第1の部品から離れている第2の部品(1; 24)の位置および配向に関する情報を生成するようにされていることと、該プロセッサ手段がさらに、第2の部品の測定された位置および配向に対して第1の部品の位置および配向を求めるようにされていることと、該第1の処理手段が、第1の部品の求めた相対的位置および配向に依存して、第2の部品に対する所定の位置および配向へ第1の部品をマニピュレートするようにされていることとを特徴とする位置決め装置。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

計算機支援製造において使用するための位置決め装置であって、第 1 の部品 (2 ; 2 3) の位置および配向に関係する情報を生成するようにされている少なくとも 1 つの測定手段 (4 , 5 , 6 a , 6 b)、生成された情報を受取るようにされているプロセッサ手段 (5)、およびプロセッサ手段に応答して第 1 の部品をマニピュレートするようにされている第 1 の処理手段 (2 1) を含み；該少なくとも 1 つの測定手段 (3 , 5 , 6 a , 6 b ; 4 , 5 , 6 a , 6 b) がさらに、第 1 の部品から離れている第 2 の部品 (1 ; 2 4) の位置および配向に関係する情報を生成するようにされていることと、該プロセッサ手段がさらに、第 2 の部品の測定された位置および配向に対して第 1 の部品の位置および配向を求め 10
るようにされていることと、該第 1 の処理手段が、第 1 の部品の求めた相対的位置および配向に依存して、第 2 の部品に対する所定の位置および配向へ第 1 の部品をマニピュレートするようにされていることとを特徴とする位置決め装置。

【請求項 2】

第 1 または第 2 の部品が、それぞれ第 1 または第 2 の構造の局所的な領域となっている請求項 1 記載の装置。

【請求項 3】

第 1 の部品の位置および配向は第 1 の基準フレーム内で求められ、第 2 の部品の位置および配向は第 2 の基準フレーム内で求められ、プロセッサ手段は、第 2 の基準フレーム内の測定された位置および配向に対する第 1 の部品の位置および配向を求めるようにされている請求項 1 または 2 記載の装置。 20

【請求項 4】

位置決めシステムが、航空機製造に使用される請求項 1 ないし 3 の何れか 1 項記載の装置。

【請求項 5】

プロセッサ手段と関係していて、かつ第 1 または第 2 の部品に関係する C A D データを記憶するようにされているメモリをさらに含む請求項 1 ないし 4 の何れか 1 項記載の装置。

【請求項 6】

少なくとも 1 つの測定手段が、第 1 または第 2 の部品の位置を 6 自由度について測定するようにされている請求項 1 ないし 5 の何れか 1 項記載の装置。 30

【請求項 7】

少なくとも 1 つの測定手段が、少なくとも 1 つの結像デバイス (6 a , 6 b) および少なくとも 1 つの光源 (3 , 4) を、第 1 または第 2 の部品に固定して備えている請求項 1 ないし 6 の何れか 1 項記載の装置。

【請求項 8】

少なくとも 1 つの結像デバイスが計測学カメラ (6 a , 6 b) である請求項 7 記載の装置。

【請求項 9】

少なくとも 1 つの光源が逆反射体 (3 , 4) である請求項 7 または 8 記載の装置。

【請求項 10】

第 1 の部品の位置および配向を測定する段階と；
第 1 の部品を位置決めするようにされている第 1 の処理手段を制御するための制御信号を生成する段階とを含む計算機支援製造方法であって；
第 1 の部品から離れている第 2 の部品の位置および配向を測定する段階と；
第 2 の部品の測定された位置および配向に対して、第 1 の部品の位置および配向を判断する段階と；
第 1 の部品の求めた相対的位置および配向に依存して、第 2 の部品に対して第 1 の部品を所定の位置および配向に位置決めする段階とを特徴とする計算機支援製造方法。 40

【発明の詳細な説明】

【0001】

発明の属する技術分野

本発明は、限定はしないが、とくに大形の工業用の製造において、“一緒にまとめる (putting together)” アッセンブリ動作におけるように、一方の部品を他方の部品に関係して位置決めする装置および方法に関する。

【0002】

従来技術

航空機産業または造船所ドックにおいて採用されているような、従来の大形の工業用のアッセンブリプロセスにおいて、部品を大形製造物にアッセンブルするか、または幾何学的に制御されたやり方で大形構造を機械加工することが頻繁に要求されている。

【0003】

航空機の胴体部分または船体（ハル）のような、構造を現場でアッセンブルする大形構造の場合は、構造または構造上の局所的な領域の実際の位置および配向は正確には分からない。この問題は、このような構造が自身の重みを受けて曲がり、その結果局所的な領域の正確な位置および配向についてより不確実になるといった事実のために悪化することが多い。

【0004】

さらに、このような構造は大きいために、ロボットまたは機械を使用して、このような構造をアッセンブルまたは製造して、構造を生成しなければならない。このようなロボットおよび機械の位置および配向も正確には分からない。これは、生産ラインのアッセンブリプロセスにおいて使用されるロボットの位置が正確に分かっているのとは対照的であり、ロボットが物品をアッセンブルする生産ラインの一定の位置で装着され、このようなロボットおよび機械の位置および配向は正確に位置決めされる。したがって、生産ラインおよび他の自動アッセンブリ（組立て）プロセスに従来から適用されてきた非天測位置推定技術（一般に推定技術と呼ばれる；dead reckoning techniques）は、通常は大規模なアッセンブリプロセスには適していない。

【0005】

ロボットはアッセンブルまたは機械加工される構造の周りを正確に移動できるようにガントリを使用してもよい。しかしながらアッセンブルされる構造が大形であるときは、ガントリの使用は実行不可能であることが多い。その理由は、位置の正確性を高く維持するために、ガントリは相当に剛性でなければならないからである。しかしながらアッセンブルされた構造が非常に大形であるときは、十分に大きくかつ十分に剛性であるガントリを製造するのは、その困難さとコスト高であることによって妨げられている。

【0006】

大形構造の局所領域上で使用して、構造の基準点を捕らえるためにジグおよびテンプレートを作り、アッセンブリまたは機械加工する位置を規定する別の点を位置付けることができる。しかしながら、構造（物）上でジグを正確に位置決めすること自体が、問題の構造の形状およびタイプに依存して、重大な問題を発生する。ジグを構造上に確実に位置決めできないときは、構造上に別の点を位置決めするにはジグはほとんど役に立たない。

【0007】

通常、このような状況では、部品を大形の構造にアッセンブルするときは、最初にほぼ正確な位置にあったもののみについて部品がアッセンブリに供給される。部品および構造上に位置決めされている基準点を使用して、種々の測定を行うことができる。次に再測定する前に、部品と構造の幾何学的関係を調整する。このために最終的なフィットには、測定および再調整に対する時間のかかる反復プロセスで決定される。

【0008】

したがって、一方の部品に対する他方の部品の位置を制御して、アッセンブリおよび製造作業を実行し、従来技術に関係する問題を克服する装置および方法が必要とされている。

【0009】

発明が解決しようとする課題

本発明にしたがって、計算機支援製造（CAM）において使用するための位置決め装置で

10

20

30

40

50

あって、第1の部品の位置および配向に関する情報を生成するようにされている少なくとも1つの測定手段、生成された情報を受取るようにされているプロセッサ手段、およびプロセッサ手段に応答して第1の部品をマニピュレート（manipulate、操作の意）するようにされている第1の処理手段を含み；該少なくとも1つの測定手段がさらに、第1の部品から離れている第2の部品の位置および配向に関する情報を生成するようにされていることと、該プロセッサ手段がさらに、第2の部品の測定された位置および配向に対して第1の部品の位置および配向を求めるようにされていることと、該第1の処理手段が、第1の部品の求めた相対的位置および配向に依存して、第2の部品に対する所定の位置および配向へ第1の部品をマニピュレートするようにされていることとを特徴とする位置決め装置を提供する。

10

【0010】

第1および第2の部品の位置および配向を測定し、第1の部品を第2の部品に対して移動することが要求されている具合を計算することによって、何れかの部品の位置または配向についての予備知識に依存せずに、第1の部品と第2の部品との間の幾何学的に最適なフィットを達成できることが好都合である。したがって、本発明は、非天測位置推定技術が適していない状況において使用することができる。

【0011】

さらに、本発明は、製造および再調整に対する時間のかかる反復プロセスに依存しないプロセスにおいて、一方の部品を他方の部品に対して位置決めすることができる。したがって時間のよりかからないやり方、またはより正確なやり方、あるいはこの両者のやり方で一方の部品を他方の部品に対して位置決めする可能性を高める。

20

【0012】

第1または第2の何れかの部品の位置および配向の測定は、第1または第2の部品の何れかの局所的な領域に対して行われることが好ましい。したがって機械加工またはアッセンブルされる部品の相対的な領域の位置および配向の正確な測定が可能であり；したがって部品の一方または両方が規格に対応していても、2つの部品間のインターフェイスの局所的な幾何学的形状に対して幾何学的に最適なフィットを可能にすることができる。

【0013】

本発明のシステムは、第1または第2の部品に関するCADデータを記憶することが好ましい。CADデータは、第1または第2の何れかの部品の位置および配向をこれらの部品上の選択された点の測定された位置から設定でき、“ベストフィット（best fit）”技術を使用して部品のCADモデルにフィットされ；部品の位置および配向を判断することが好都合である。

30

【0014】

本発明の処理手段は、ロボットまたは類似のデバイスであり、したがって本発明の方法を自動化できることが好ましい。

【0015】

第1または第2の何れかの部品の位置および配向の測定は、写真測量（ホトグラメトリイ）システム、または同様の非接触の位置および配向測定デバイスで実行されることが好ましい。このような技術は、アッセンブルまたは機械加工される部品の位置および配向の測定を6までの自由度で判断できることが好都合である。さらに、測定は実時間で実行され、位置決めシステムを加速することができる。さらに加えて、このようなシステムは処理手段の移動を妨害せずに実行でき、長距離において自由に機能することができる。

40

【0016】

写真測量法または類似の非接触測定方法を使用することによって、部品の位置および配向を測定する精度は処理手段の位置決め絶対的な精度に依存しないが、その代わりに、ロボットの分解能（すなわち、ロボットのエンドエフェクタが動く最小の差動点）および写真測量システムの精度に依存することが好都合である。したがって、分解能は高いが、位置決めにおける内在精度が低いといった特徴をもつロボットを使用できることを意味する。さらに、ロボットは、所望の位置および配向でマニピュレートされることを保証するため

50

に剛性が高い必要はない。したがって、本発明は、自動処理装置の領域において相当にコストを節約する機会を可能にしている。

【0017】

本発明はさらに、本発明のプロセスによって製造される対応する位置決め方法および製品にも適用される。さらに加えて、本発明は、本発明のシステムを実行するようにされているコンピュータプログラムおよびコンピュータプログラム製品にも適用される。

【0018】

対応する目的および長所をもつ本発明の別の態様および実施形態は、以下の記述および特許請求の範囲から明らかになるであろう。ここで本発明の特定の実施形態について例示的に添付の図面を参照して記載することにする。

10

【0019】

発明の実施の形態

図1を参照すると、この実施形態の位置決めシステムが示されている。本発明のこの実施形態では、位置決め装置は、図に断片的に示した航空機胴体1の一部分、例えばコックピット部分に対して1つの部品2を正しく位置決めするようにされている。部品2は、胴体部分1に対して正しく位置決めされると、胴体部分1に正しくアッセンブルされる。

【0020】

本発明を開示するために、この例では、部品2は既知の幾何学的形状をもち、部品2上で基準測定位置または場所を正確に位置決めすることができる。胴体部分1も既知の幾何学的形状をもち、しかしながらこの形状および大きさのために、2つの部品のアッセンブリ点に対して局所的な領域の上か、または胴体部分1全体の上で；アッセンブリプロセスの要求される位置公差を満足させるのに十分に正確な基準測定位置または場所を位置決めするのは困難である。

20

【0021】

胴体部分1は従来やり方で支持され、この実施形態のアッセンブリプロセスを開始する前に固定または安定化される。

【0022】

部品2は、胴体部分1に対する要求される幾何学的配置で与えられ、例えば穿孔またはリベット締めのような従来やり方で胴体部分1に固定される。部品2は、部品処理のエンドエフェクタを装備したKuka(商標)の工業用ロボットのようなロボット(図示されていない)によってサポートされる。ロボットは、6自由度で部品2を自由にマニピュレートする。すなわち、ロボットは並進用の3本の直交軸と回転用の3本の直交軸とで部品2をマニピュレートし、アッセンブルのために部品2を胴体部分1との正しい幾何学的配置にする。

30

【0023】

この実施形態では、プロセッサ5は適切にプログラムされた汎用コンピュータであってもよく、部品2がアッセンブリに提供される前に、胴体部分1と部品2との両者の位置および配向を判断する。別途記載するように、これは、胴体部分1と部品2の各々と関係する逆反射性ターゲットをもつ写真測量装置を使用して達成される。

【0024】

写真測量装置は、2つの従来計測学カメラ(metrology camera)6aおよび6bを使用する従来6自由度のシステムであり、本発明のアッセンブリプロセスを実行する前に、胴体部分1および部品2を含む視界をもつようにセットアップされる。カメラ6aおよび6bは、同軸ケーブルのような適切なそれぞれのコネクタ7aおよび7bを介してプロセッサ5に接続される。

40

【0025】

各カメラ6aおよび6bは、カメラ6aおよび6bと近接して、かつ関係するカメラと同じ配向で位置決めされている照明源(図示されていない)と関係付けられている。

【0026】

多数の逆反射性ターゲット3、4は、従来やり方で胴体部分1と部品2とにそれぞれ固

50

定されている。ターゲット 3、4 は、胴体部分 1 と部品 2 のそれぞれの位置および配向を判断するのに使用される。

【0027】

この実施形態では、部品 2 上の各ターゲット 4 は、部品 2 上の正確に分かっている基準測定位置に位置決めされている。ターゲット 4 は、従来のコード化システムを使用してコード化され、各ターゲット 4 がユニークに識別されるようにする。適切なコード化ターゲットは、Leica Geosystems Ltd. (Davy Avenue, Knowlhill, Milton Keynes, MK5 8LB, UK) から販売されている。

【0028】

しかしながら、胴体部分 1 上の正確な位置決め基準測定位置は、その形状および大きさのために合せるのが困難であるので、胴体部分 1 上のターゲット 3 はコード化されず、正確に分かっている位置に位置決めされない。したがってターゲット 3 は、図 1 に点線 8 によって示したアッセンブリ点に局所的な領域のまわりに、ほぼ位置決めされる。アッセンブリ点に対して局所的な領域内にターゲット 3 を位置決めすることによって、胴体部分 1 は全体的にコンプライアントであって、かつそれ自身の重みを受けて曲がっても、アッセンブリの位置を正確に判断することができる。

10

【0029】

ターゲット 3、4 は、胴体部分 1 および部品 2 のそれぞれに固定して取り付けられている。したがってターゲット 3、4 の測定される位置および配向と、ターゲット 3、4 がもともと取り付けられていた胴体部分 1 上の局所的な領域および部品 2 との間に相違はない。

20

【0030】

この実施形態のアッセンブリ手続きを始めさせる前に、カメラ 6 a および 6 b の、測定空間内の基準座標フレーム（枠）またはワークセルを従来のやり方で判断する。したがって、カメラ 6 a および 6 b によって出力される胴体部分 1 および部品 2 上のターゲット 3、4 の画像を使用して、胴体 1 および部品 2 の位置および配向を、カメラ 6 a および 6 b に対してだけではなく、別の基準座標フレームに対しても判断することができる。実際には、これは胴体部分 1、または胴体部分 1 がサブアッセンブリであるより大きなアッセンブリの基準座標フレームである。

【0031】

このプロセスは、オフラインで一般に実行され、これを実現するいくつかの既知の方法がある。1 つのこのような方法は、多数の結像位置から予め特定された位置に位置決めされた制御ターゲットの測定値をとることに依存している。次に測定値は数学的に最適化され、カメラ 6 a と 6 b との関係を示す変換を求める。カメラ 6 a および 6 b の基準座標フレームが求められると、これを使用して、ターゲット 3、4 の三次元の位置を判断し、次に未知の位置に位置決めされるときは、カメラ 6 a および 6 b によって画像を映し出される。

30

【0032】

動作において、カメラ 6 a および 6 b は、各光源（図示されていない）から放射されて、ターゲット 3、4 から反射した光を受取るが、カメラ 6 a および 6 b と関係する光源とはターゲット 3、4 を使用して視線（直線視界）を得る。

40

【0033】

この技術においてよく知られているように、逆反射ターゲットは反射体上で入射光と完全に一致する方向に入射光を反射する。このやり方では、各ターゲット 3、4 の位置は、従来のやり方で 2 以上のカメラ / 照明源の対を使用して設定される。

【0034】

カメラ 6 a および 6 b の各々は、コネクタ 7 a および 7 b を介してプロセッサ 5 へビデオ信号を出力する。2 つの信号は、カメラ 6 a および 6 b の視界内におけるターゲット 3、4 の瞬間的な二次元画像を表わす。

【0035】

50

各ビデオ信号は、プロセッサ5と関係するフレームグラッパによって周期的にサンプルにされて、プロセッサ5と関係するメモリ(図示されていない)内に1ビットマップとして記憶される。各記憶されたビットマップは対応するビットマップと関係付けられて、ビットマップの対を形成する;すなわちカメラ6aから見たターゲット3、4の各(画)像は、カメラ6bによって同じ瞬間に見た対応する画像と関係する。

【0036】

メモリ内に記憶された各ビットマップは、ピクセルの光強度値の2次元の配列であり、画像の出力元であるカメラ6aまたは6bから見たターゲット3、4の位置に対応する光強度値をもつ。

【0037】

プロセッサ5はビットマップの対を解析して、カメラ6aまたは6bに対する胴体部分1および部品2の両者の瞬間的な位置および方向を得る。これは実時間で実行される。

【0038】

プロセッサ5は、この技術において知られている従来の計算を実行し、各カメラ6aおよび6bの焦点距離の特徴を使用して、3次元空間内の各ターゲットイメージのベクトルを計算する。このやり方では、カメラ6aおよび6bの両者から見る事ができる各ターゲット3、4について、対の一方のビットマップ内の画像は、ビットマップの対の他方のビットマップ内に対応する画像をもち、各計算されたベクトルはそれに交差している。3次元内におけるベクトルの交点は、カメラ6aおよび6bから見たようにターゲット3、4の位置;すなわち求められた基準座標に対応している。

【0039】

両者のカメラ6aおよび6bから見る事ができるターゲット3、4の位置が求められた基準座標フレームに対して判断されるとき、その位置を使用して、求められた基準座標フレームに関して胴体部分1および部品2の位置および配向を規定する。これは、種々の既知の技術の1つを使用して達成することができる。この実施形態では、これは次のやり方で達成される。

【0040】

この実施形態では、部品2の3次元の幾何学的形状が正しく分かっている。これは計算機支援設計(computer aided design, CAD)データ、またはプロセッサ5と関係するメモリ(図示されていない)内のCADモデルとして記憶される。実際には、CADモデルはパーソナルコンピュータのハードディスクドライブ(または他の永久記憶装置媒体)上に記憶され、プロセッサ5の機能を実現する。パーソナルコンピュータは適切な市販のCADソフトウェア、例えば記憶されたCADデータを読み取って、マニピュレートすることができるCATIA(商標)(IBM Engineering Solutions, IBM UK Ltd, PO Box 41, North Harbour, Portsmouth, Hampshire PO6 3AU, UK)から販売されている)でプログラムされる。パーソナルコンピュータはさらに、カメラ6a、6bによって見る事ができるターゲットの位置をCADソフトウェアへインポートすることも要求できるソフトウェアでプログラムされる。

【0041】

既に記載したように、この実施形態では、部品2上のターゲット4の位置は正確に分かっている。したがって、CADモデルはさらに、各ターゲット4が部品2上で位置決めされる位置を、各ターゲット4の関係するコードと共に規定する。部品2のCADモデル上の最少数の3つの既知の点についての3次元の位置を規定することによって、部品2の位置および配向がユニークに規定される。したがって、カメラ6aおよび6bによって結像され、プロセッサ5によって計算される3以上のターゲット4の3次元の位置を使用して、求められた基準フレームに関して、部品2の位置および配向を判断する。

【0042】

その3次元の位置が計算されたターゲット4は、CADモデル上で対応するターゲットの位置に整合される。これは、従来のやり方で、カメラ6aおよび6bによって結像される

10

20

30

40

50

各ターゲット4のコードからこれらのターゲットの識別を識別し、CADモデルのターゲットの位置のコードを対応するターゲットコードデータに整合させることによって達成される。これが達成されると、識別されたターゲットと整合したCADモデル内のターゲットの位置は、対応するターゲットについて計算した3次元の位置に設定される。これがCADモデル上の3つのターゲットの位置について達成されるとき、部品2の位置および配向はユニークに規定される。

【0043】

胴体1の位置および配向も判断される。既に記載したように、胴体部分1の3次元の幾何学的形状も正確に分かっている。ここでも、これはCADデータ、またはプロセッサ5と関係するメモリ(図示されていない)内のCADモデルとして記憶される。しかしながら、胴体部分1に対するターゲット3の正確な位置は精密に分かっていないので、ターゲット3の位置は、胴体部分1に関するCADデータ内に保持されていない。

10

【0044】

しかしながら、カメラ6aおよび6bの基準座標フレーム内に、6以上の、共面でなく、かつ共直線性でなく置かれたターゲット3の3次元の位置を設定することによって、集合的な3次元の位置と、胴体部分1を規定するCADデータとの間の関係は、CADデータへ適用されたときに測定されたターゲットの位置に対する“ベストフィット”を計算することによって設定される。これは従来の“最小平均自乗”技術を使用して実行される。

【0045】

十分な数のターゲット3の測定された3次元の位置に対する“ベストフィット”を計算して、非縮退の解(non-degenerate solution)を求めると、胴体1の位置および配向は、対応するターゲット3の測定された3次元の位置に対して、ターゲットの位置の3以上をCADデータ上で設定することによってユニークに規定される。

20

【0046】

胴体部分1および部品2の位置および配向が判断されると、プロセッサ5は胴体部分1に対する部品2の測定された位置および配向を、正しいアセンブリを保証するために要求される位置および配向と比較する。部品2の要求される位置および配向は、図1内の点線8によって示されていて、胴体部分1のCADモデルと関係する別のCADデータによって規定される。

30

【0047】

次にプロセッサ5は、従来のやり方で部品2が再び配向されて並進されなければならない角度および方向を計算して、要求される位置に一致する位置に位置決めされる。

【0048】

続いてプロセッサ5は、部品2を計算された量だけマニピュレートするロボット(図示されていない)へ送られる制御信号を生成する。この実施形態では、部品2を再び配向する段階は、部品2を最終的なアセンブリの位置へ並進させる段階の前に実行され、したがって部品2と胴体部分1との間の偶発的な衝突が発生しないことを保証することを助ける。

【0049】

部品2を再び配向し、並進させる一方で、ロボットによって行なわれる部品2の移動はプローブによって検出され、プロセッサ5は、要求されるときに、これを実時間で使用して、制御命令を変更して、ロボットへ出力する。これは、問題のアセンブリタスクのために、エンドエフェクタを比較的長い距離にわたって動かすのを十分な精度で測定できないときに、要求されることがある。

40

【0050】

部品2が胴体部分1と正しい幾何学的配置で位置決めされるとき、ロボットはプロセッサ5によって制御されて、正しい位置に部品2を保持し、一方でオペレータは胴体部分1上の穿孔点のようなアセンブリする位置の点にマークを付す。このプロセス中に、胴体部分1と部品2の位置および配向はプローブおよびプロセッサ5によって継続的にモニタさ

50

れ、アッセンブリプロセス中に2つの部品間で相対的な移動が起こらないことを保証する。

【0051】

第1の実施形態において与えられた例は、第1の部品上のターゲットの位置が正確に分かっていて、第2の部品上のターゲットの位置が正確に分かっていないときに、第1の部品を第2の部品に対して位置決めすることについて記載したが、この状況が実際には逆になってもよいことが分かるであろう。本発明は、両方の部品上の正確に分かっている位置にターゲットが位置決めされるとき；またはその代わりに、両方の部品上のターゲットの位置が正確に分かっていないときに実行できる。さらに、何れかの部品上のターゲットの位置が正確に分かっていて、残りの部品が正確に分かっていないときも実行できる。

10

【0052】

本発明の第2の実施形態は概ね同じ機能を達成し、第1の実施形態を参照して記載したのと同じ装置を採用する。したがって、同様の装置および動作モードは別途記載しない。しかしながら第1の実施形態の装置は、部品がアッセンブルされる構造に対して、部品を所定の幾何学的配置へ位置決めするようにされているが、第2の実施形態のシステムは、所定の幾何学的配置における製造作業で使用されるツールを、ツールが作業をする構造または部品に対して位置決めするようにされている。

【0053】

図2を参照すると、第2の実施形態の位置決めシステムが示されている。第1の実施形態で使用されているものと類似したロボットのリスト21が示されている。第1の実施形態では、ロボットはエンドエフェクタを取扱う部品を装備されているが、この第2の実施形態では、ドリル22はロボットのリスト21上に固定的に装着されている。ドリルビット23はドリル22内で支持されている。

20

【0054】

機械加工される部品24も示されている。部品24は従来のやり方で支持されて、この第2の実施形態の製造作業を開始する前に、固定され、安定化される。

【0055】

第1の実施形態を参照して記載したように、逆反射ターゲット3、4は、それぞれ部品24およびドリルビット23の先端に固定して取付けられている。ドリルビット23の先端が、ドリル22およびロボットのリスト21と固定された容易に測定可能な幾何学的関係にあるとき、この第2の実施形態では、図示したように、ターゲット4はドリル22またはロボットのリスト21上に位置決めされている。実際には、ドリルと固定された幾何学的関係のターゲット4を他の構造に取り付けてもよい。

30

【0056】

この実施形態では、ターゲット3、4にコード化されているものと、コード化されていないものがある。しかしながらドリル23および部品24の両者に対する非縮退の位置および配向の判断を行なうために、十分なターゲット3、4がカメラ6aおよび6bの両者から同時に見えなければならない。

【0057】

適切な接続7aおよび7bによってプロセッサ5に接続されたカメラ6aおよび6bも示されており；その各々は第1の実施形態に記載されたのと同じ機能を行う。

40

【0058】

この実施形態では、リスト1aを含むロボットは、ドリルビット23を部品24に対して正しい幾何学的配置で位置決めし、プロセッサ5と関係するメモリ（図示されていない）内に記憶された部品24に関するCADデータによって特定される部品24内の位置に孔が穿孔される。CADデータはさらに、部品24に対する各孔の配向と、孔を穿孔する深さとを特定する。

【0059】

第1の実施形態を参照して記載したように、プロセッサ5は、カメラ6aおよび6bから出力された信号を使用して、求められた基準フレーム内にターゲット3、4の3次元の位

50

置を計算する。この情報から、プロセッサ5は、プロセッサ5と関係するメモリ（図示されてない）内に記憶されたCADモデルを使用して、部品24およびドリル22の両者の位置および配向を計算する。

【0060】

ドリルビット23の先端のオフセット距離がドリル22またはロボットリスト21、あるいはこの両者のCADモデルへ入れられると、ドリルビット23の先端の位置および配向を判断することができる。その代わりに、ドリルビットの先端の位置および配向は、本発明者の現在審査中の出願（代理人参照番号は第XA1213号であり、ここでは参考文献として全体的に取り入れられる）に記載された写真測量のシステムおよび方法を使用して設定することができる。

10

【0061】

したがって、プロセッサ5はロボットを制御して、各ホールの穿孔を始める前に、ドリルビット23を精密に正しい位置および配向に動かす。ロボットの動作も穿孔作業中に制御される；したがってホールの軸が穿孔プロセス中に一定であり続けることと、ホールが正しい深さに所定のレートで穿孔されることを保証する。

【0062】

第2の実施形態では、機械加工されるワークピースに対するドリルの位置決めを記載しているが、当業者（skilled reader）には本発明を使用して種々の他のツールをマニピュレートできることが分かるであろう。このようなツールにはミリングまたはグライディングツール、溶接デバイス、またはマーク付けデバイス、例えばパンチ、スクライバ、またはインク着けデバイスを含んでもよい。

20

【0063】

上述の実施形態は、本発明をどのように実行できるかについての単なる例であることが明らかになるであろう。本発明の技術的範囲内の多くの他の変形も、当業者には明らかになるであろう。

【0064】

例えば、上述の実施形態は、本発明にしたがって位置決めされた部品またはツール/ツールハウジングに直接に取り付けられたターゲットを使用して記載したが、当業者は、これは実際にある必要はないことが分かるであろう。その代わりに、例えばMetronor Asの第EP 0 700 506 B1号（発明の名称“Method for Geometry Measurement”）に記載された6自由度のプロープのようなプロープを、本発明の位置決め動作に関係する部品またはツールの1つまたは各々に固定して取り付けて；各部品またはツールの位置および配向を設定できるようにしてもよい。

30

【0065】

別の例として、上述の実施形態は1対のみのカメラを用いて記載したが、3台以上のカメラまたは2対以上のカメラを使用できることも分かるであろう。例えば、2対または2組のカメラを使用するのが望ましいこともある。第1の組を使用して、1つの部品の6自由度の位置を与え、第2の組を使用して、位置決め動作に関係する第2の部品の6自由度の位置を与えてもよい。このやり方では、アッセンブルされる一方または他方の部品上のターゲットの問題は、ロボットまたはロボットがマニピュレートしている部品によって不明瞭にされることが避けられる。もちろん2以上の組のカメラを使用するとき、従来の変換を求めて、1組のカメラの基準座標フレームを他方の組のカメラの基準座標フレームに関係付けなければならないことも分かるであろう。その代わりに、各組のカメラによって求められる位置情報を別の共通の基準座標フレームへ関係付ける変換を求めてもよい。

40

【0066】

上述の実施形態では、位置決め手続きにおいて、1つの部品は静止状態で保持され、他方の部品はロボットによってマニピュレートされるが、本発明は2以上の部品で構成され、その各々はロボットまたは類似のマニピュレートデバイスによってマニピュレートされることも分かるであろう。

【0067】

50

さらに、上述の実施形態では、位置および配向測定装置のような従来の写真測量装置が使用されているが、その代わりに部品の6自由度の位置を得るのに使用できる他の装置も使用できることが分かるであろう。例えば、各々が別個の逆反射体を追跡する3つのレーザートラック、または6自由度の測定デバイスまたはシステムのような対応するシステムも使用できる。その代わりに、測定装置は、画像認識ソフトウェアでプログラムされているコンピュータへ部品の画像を出力する2台以上のカメラを含んでいてもよい。このような実施形態では、ソフトウェアは、問題の部品の特定の認識可能な特徴を認識して、問題の部品の位置および配向をカメラに関して判断するように訓練される。

【0068】

本発明は、自由度数を低減したマニピュレートが要求されている装置にも応用できることが分かるであろう。本発明の実施形態では、例えば、X、Y、およびZ軸に沿う3つのみの並進の自由度を使用するものを構成できる。事実、本発明の装置が、自由度数を低減したマニピュレートを使用して構成されるとき、同様の自由度数を低減したマニピュレートの測定デバイスまたはシステムを使用することも分かるであろう。

10

【0069】

ロボット1の特定の詳細は与えなかったが、所与のタスクについて十分な動作の分解能および動作の自由度をもつロボットを使用して、本発明を実行できることも分かるであろう。しかしながら、ロボットには移動性があり；すなわち固定された位置のベースの周りを動くように制約されていない。例えば、ロボットはレール上に装着され、したがって大きい作業領域にアクセスすることができる。移動ロボットは、プロセッサによって測定デバイスまたは装置の出力信号を使用して行われる測定によって位置を求めることができ、したがってロボット自体についてのベース位置測定装置の必要を無くすることができる。本発明のこのような実施形態では、プロセッサはロボットのアームの関節または動きを制御するだけでなく、ロボット全体の動きも制御するようにプログラムすることができる。

20

【0070】

さらに、マニピュレートされる部品の位置が、それを相対的に位置決めする部品の位置とオーバーラップせず、したがって2つの部品が衝突しないことを保証するように適切にプログラムされことも分かるであろう。一定の複雑な状況では、エンドエフェクタのようなロボットの一部分の位置もモニタされて、ロボットがマニピュレートされない部品と衝突しないことを保証することも要求される。これは、上述のやり方で、問題のロボットの部品上に位置決めされたターゲットを使用して、ターゲットの位置をロボットの記憶されたCADモデルへ関係付けることによって達成できる。

30

【0071】

上述の実施形態ではプロセッサの制御のもとで一方の部品を他方の部品に対してマニピュレートするが、これは、例えばキーボードまたはジョイスティックを使用して、オペレータが制御エントリをプロセッサへ入力することによって制御できることも分かるであろう。制御エントリは、ロボットのリストまたはマニピュレートされる部品の絶対的な位置および配向を特定するか、または現在の位置および配向に対する増分の位置および配向の変化を特定してもよい。

【図面の簡単な説明】

40

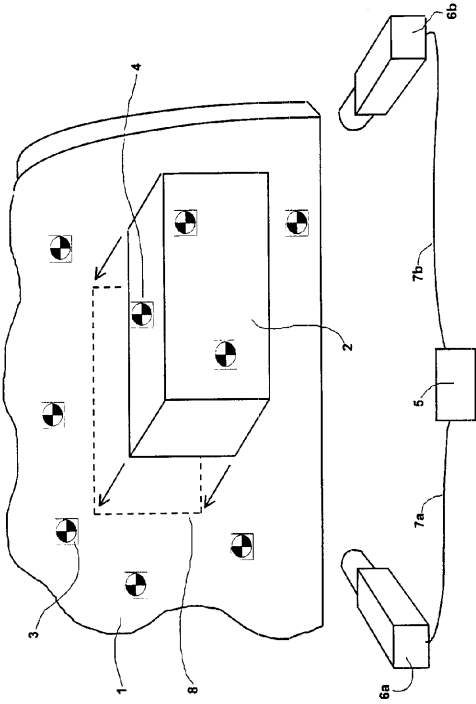
【図1】

本発明の第1の実施形態のシステムの模式的な斜視図。

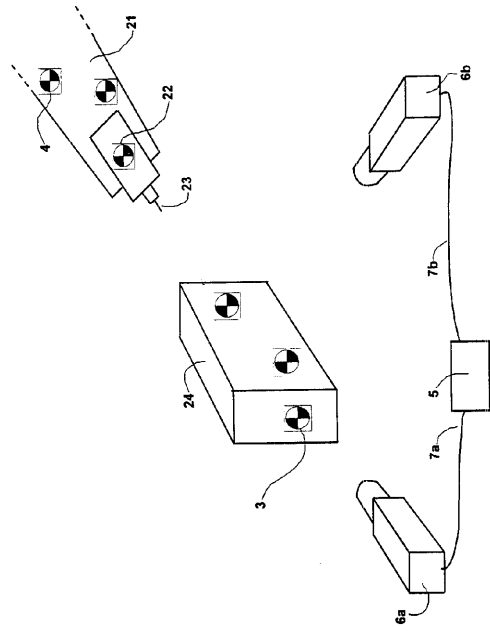
【図2】

本発明の第2の実施形態のシステムの模式的な斜視図。

【 図 1 】



【 図 2 】



【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
21 March 2002 (21.03.2002)

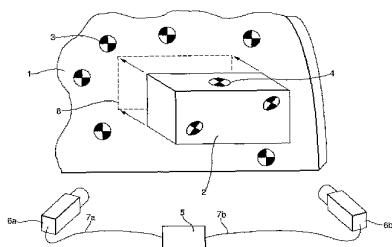
PCT

(10) International Publication Number
WO 02/23121 A1

- (51) International Patent Classification: G01B 11/00, Drakes Broughton, Pershore, Worcestershire WR10 2BE (GB), B25J 9/16
- (21) International Application Number: PCT/GB01/03878 (74) Agent: BAE SYSTEMS PLC; Group IP Department, Lancaster House, P.O. Box 87, Farnborough Aerospace Centre, Farnborough, Hampshire GU14 6YU (GB).
- (22) International Filing Date: 30 August 2001 (30.08.2001)
- (25) Filing Language: English (81) Designated States (national): 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, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.
- (26) Publication Language: English (84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, 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, BI, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- (30) Priority Data: 0022444.4 13 September 2000 (13.09.2000) GB
- (71) Applicant (for all designated States except US): BAE SYSTEMS PLC [GB/GB], Warwick House, P O Box 87, Farnborough Aerospace Centre, Farnborough, Hampshire GU14 6YU (GB).
- (72) Inventors; and (75) Inventors/Applicants (for US only): GOOCH, Richard, Michael [GB/GB]; 9 Eversley Road, Surbiton, Surrey KT5 8BG (GB). SHERIDAN, Miles [GB/IE]; 19 Norfolk Road, Philshborough, Dublin 7 (IE). ALEXANDER, Richard, John, Rennie [GB/GB]; 45 Shrubbery Road,
- Published: — with international search report

[Continued on next page]

(54) Title: POSITIONING IN COMPUTER AIDED MANUFACTURING BY MEASURING BOTH PARTS (CAMERAS, RETRO REFLECTORS)



(57) Abstract: A positioning system for use in computer aided manufacturing comprising at least one measurement means (4, 5, 6a, 6b) arranged to generate information relating to the position and orientation of a first part (2, 23), the system further comprising a processor means (5), arranged to receive the generated information, and a first handling means (21) being arranged to manipulate the first part in response to the processor means, characterised in that the at least one measurement means (3, 5, 6a, 6b; 4, 5, 6a, 6b) is further arranged to generate information relating to the position and orientation of a second part (1; 24) separate from the first part, the processor means being further arranged to derive the position and orientation of the first part relative to the measured position and orientation of the second part, and the first handling means being arranged to manipulate the first part into a predetermined position and orientation with respect to the second part in dependence on the derived relative position and orientation of the first part.

WO 02/23121 A1

WO 02/23121 A1



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.

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

1

POSITIONING IN COMPUTER AIDED MANUFACTURING BY MEASURING BOTH PARTS
(CAMERAS, RETRO REFLECTORS)

The present invention relates to a system and method of positioning one part with respect to another, particularly, but not exclusively, in a large scale industrial manufacturing or assembly operation.

In conventional large scale industrial assembly processes, such as are employed in the aircraft industries, or dockyards, there is frequently a requirement to assemble parts to large structures, or to machine large structures in a geometrically controlled manner.

In the case of large structures, such as an aeroplane fuselage section or the hull of a ship, where the structure is often assembled in situ, the actual position and orientation of the structure, or of a localised area on the structure may not be accurately known. This problem is often exacerbated due to the fact that such a structure may flex under its own weight, resulting in greater uncertainty as to the exact position and orientation of a localised area.

Furthermore, because of the large size of such structures, robots and machines which are used to assemble or manufacture such structures must be brought to the structure. Therefore, the position and orientation of such robots and machines may not be accurately known either. This is in contrast to the accurately known positions of robots used in production line assembly processes, which are mounted in fixed locations relative to the production line, upon which the articles being assembled are accurately located. Thus, dead reckoning techniques conventionally applied to production lines and other

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

2

automated assembly processes are generally not appropriate to large scale assembly processes.

Gantries may be used to allow robots to move accurately around structures being assembled or machined. However, when the structure being assembled is large, the use of gantries is often impracticable. This is because
5 in order to ensure high positional accuracy, the gantry must be highly rigid. However, when the assembled structure is very large, the difficulty and expense of constructing a gantry, which is sufficiently large and also sufficiently rigid may be prohibitive.

Jigs and templates may be made for use on a localised area of a large structure, which pick up on datum points of the structure and allow further points defining assembly or machining locations to be located. However, accurately locating the jig on the structure may in itself cause serious difficulties, depending on the form and type of structure concerned. If a jig can
15 not be reliably located on a structure, it is of little use in locating further points on the structure.

Conventionally, in such situations, if a part is to be assembled to a large structure, the part is generally offered up for assembly in what is initially only approximately the correct position. Various measurements may then be taken
20 using datum points located on the part and the structure. The geometric relationship between the part and the structure is then adjusted prior to re-measuring. The final fit is therefore determined in a time consuming, iterative process of measurement and re-adjustment.

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

3

Therefore, there is a need for a system and method of controlling the position of one part with respect to another in order to carry out an assembly or manufacturing operation which overcomes one or more problems associated with the prior art.

5 According to the invention there is provided a positioning system for use in computer aided manufacturing comprising at least one measurement means arranged to generate information relating to the position and orientation of a first part, the system further comprising a processor means, arranged to receive the generated information, and a first handling means being arranged to manipulate
10 the first part in response to the processor means, characterised in that the at least one measurement means is further arranged to generate information relating to the position and orientation of a second part separate from the first part, the processor means being further arranged to derive the position and orientation of the first part relative to the measured position and orientation of the
15 second part, and the first handling means being arranged to manipulate the first part into a predetermined position and orientation with respect to the second part in dependence on the derived relative position and orientation of the first part.

Advantageously, by measuring the position and orientation of first and second parts and calculating the manner in which the first part is required to be
20 moved relative to the second part, a geometrically optimised fit between the first and second parts may be attained, without relying upon prior knowledge of the position or orientation of either part. Thus, the present invention may be used in situations where dead reckoning is not appropriate.

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

4

Furthermore, the present invention allows one part to be positioned relative to another in a process which is not dependent upon a time consuming, iterative process of measurement and re-adjustment. This gives rise to the possibility of positioning a part relative to another in a less time consuming, and/or more accurate manner.

Preferably, the measurement of the position and orientation of either the first or the second part may be made relative to a localised area of the first or the second part. Advantageously, this allows an accurate measurement of the position and orientation of the relevant area of the part to be machined or assembled; thus allowing a geometrically optimised fit with respect to the local geometries of the interface between the two parts to be attained even if one or both of the parts are compliant.

Preferably, the system of the present invention stores CAD data relating to the first or the second part. Advantageously, this allows the position and orientation of either the first or the second part to be established from the measured position of selected points on those parts, which are fitted to a CAD model of the part using a "best fit" technique; thus determining the position and orientation of the part.

Preferably, the handling means of the present invention is a robot or similar device, thus allowing the method of the present invention to be automated.

Preferably, the measurement of the position and orientation of either the first or the second part is carried out with one or more photogrammetry system, or similar non-contact position and orientation measurement device.

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

5

Advantageously, such techniques allow the measurement of the position and orientation of the parts to be assembled or machined to be determined in up to six degrees of freedom. Furthermore, the measurement may be carried out in real time, thus increasing the speed of the positioning system. Additionally, such a system, may be implemented without interfering with the movement of the handling means, which may be free to operate over a great distance range.

Advantageously, by using a photogrammetry system, or similar non-contact measurement method, the accuracy with which the position and orientation of a part may be measured does not depend on the absolute accuracy of positioning of the handling means but instead depends upon the resolution (i.e. the smallest differential point that the robot end effector may be moved to) of the robot and the accuracy of the photogrammetry system. This means that a robot, for example, with high resolution characteristics, but low intrinsic positioning accuracy may be employed. Furthermore, the robot need not be highly rigid in order to ensure that the part is manipulated in the desired position and orientation. Therefore, the present invention allows the opportunity for significant cost savings in the area of automated handling equipment.

The present invention also extends to the corresponding positioning method and products manufactured by the process of the present invention. Furthermore, the present invention also extends to a computer program and a computer program product which are arranged to implement the system of the present invention.

Other aspects and embodiments of the invention, with corresponding objects and advantages, will be apparent from the following description and claims. Specific embodiments of the present invention will now be described by way of example only, with reference to the accompanying drawings, in which:

5 Figure 1 is a schematic perspective illustration of the system of the first embodiment of the invention; and

Figure 2 is a schematic perspective illustration of the system of the second embodiment of the invention.

10 Referring to Figure 1, the positioning system of the present embodiment is illustrated. In this embodiment of the invention, the positioning system is arranged to correctly position one part 2 relative to a section of an aircraft fuselage 1, such as a cockpit section, of which a fragmentary view is shown in the figure. Once the part 2 is correctly positioned with respect to the fuselage section 1 it may be correctly assembled with the fuselage section 1.

15 For the purposes of illustrating the invention, in this example, the part 2 has a known geometry on which it is possible to locate datum measurement positions or locations accurately. The fuselage section 1 also has a known geometry. However due to its form and size, it is difficult to locate datum measurement positions or locations sufficiently accurately to satisfy the
20 required position tolerances of the assembly process; either on the area local to the assembly point of the two parts or on the fuselage section 1 as a whole.

The fuselage section 1 is supported in a conventional manner such that it is fixed and stable prior to the commencement of the assembly process of the present embodiment.

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

7

The part 2 is to be offered up in the required geometrical arrangement with respect to the fuselage section 1, in order that it may be fixed to the fuselage section 1 in a conventional manner, such as by drilling and riveting. The part 2 is supported by a robot (not shown), such as a Kuka™ industrial robot, equipped with a parts handling end effector. The robot is free to manipulate the part 2 in six degrees of freedom. That is to say that the robot may manipulate the part 2 in three orthogonal axes of translation and in three orthogonal axes of rotation in order to bring part 2 into the correct geometrical arrangement with the fuselage section 1, for assembly.

10 In the present embodiment, a processor 5, which may be a suitably programmed general purpose computer, determines the position and orientation of both the fuselage section 1 and the part 2 prior the part 2 being offered up for assembly. This is achieved using a photogrammetry system with retro-reflective targets associated with each of the fuselage section 1 and the part 2, as is described below.

15 The photogrammetry system is a conventional six degrees of freedom system using two conventional metrology cameras 6a and 6b, set up so as to have a field of view encompassing the fuselage section 1 and the part 2 prior to the implementation of the assembly process of the invention. The cameras 6a and 6b are connected to the processor 5 via suitable respective connectors 7a and 7b, such as co-axial cables.

20 Each camera 6a and 6b has associated with it an illumination source (not shown) located in close proximity with the cameras 6a and 6b and at the same orientation as its associated camera.

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

8

A number of retro-reflective targets 3, 4 are fixed in a conventional manner to the fuselage section 1 and the part 2, respectively. The targets 3, 4 are used to determine the position and orientation of the fuselage section 1 and the part 2, respectively.

5 In this embodiment, the targets 4 on part 2 are each located at accurately known datum measurement positions on part 2. The targets 4 are coded, using a conventional coding system, so that each target 4 may be uniquely identified. Suitable coded targets are available from Leica Geosystems Ltd., Davy Avenue, Knowlhill, Milton Keynes, MK5 8LB, UK.

10 However, the targets 3 on the fuselage section 1 are not coded and are not located at accurately known positions, since, as is stated above, accurately locating datum measurement positions on the fuselage section 1 is difficult to achieve due to its form and size. Therefore, the targets 3 are located approximately, about the area local to the point of assembly, which is
15 represented by the dashed line 8 in Figure 1. By locating the targets 3 in the area local to the point of assembly, the position of assembly may be accurately determined even if the fuselage section 1, as a whole, is compliant and flexes under its own weight.

The targets 3, 4 are attached in a fixed relationship with the fuselage
20 section 1 and the part 2, respectively. This ensures that there is no divergence between the measured position and orientation of the targets 3, 4 and the local areas on the fuselage section 1 and the part 2 to which the targets 3, 4 were originally fixed.

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

9

Prior to instigating the assembly procedure of the present embodiment, the co-ordinate frame of reference in the measurement volume, or work cell, of cameras 6a and 6b is determined in a conventional manner. By doing so, images of the targets 3, 4 on the fuselage section 1 and the part 2 output by
5 cameras 6a and 6b may be used to determine the position and orientation of the fuselage section 1 and the part 2 not only relative to cameras 6a and 6b but relative to a further co-ordinate frame of reference. In practice, this may be the co-ordinate frame of reference of the fuselage section 1, or of a larger assembly, of which the fuselage section 1 is a sub-assembly.

10 This process is typically performed off-line, and there are several known methods of achieving this. One such method relies on taking measurements of control targets which are positioned at pre-specified locations from numerous imaging positions. The measurements are then mathematically optimised so as to derive a transformation describing a relationship between the cameras 6a
15 and 6b. Once the co-ordinate frame of reference of the cameras 6a and 6b has been derived, this is used to determine the position in three dimensions of targets 3, 4 subsequently imaged by the cameras 6a and 6b when positioned at otherwise unknown locations.

In operation, the cameras 6a and 6b receive light emitted from their
20 respective illumination sources (not shown), which is reflected from those targets 3, 4 with which the cameras 6a and 6b and their associated light sources have a direct line of sight.

As is well known in the art, retro-reflective targets reflect light incident on the reflector in the exact direction of the incident light. In this manner, the

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

10

position of each target 3, 4 may be established using two or more camera/illumination source pairs, in a conventional manner.

The cameras 6a and 6b each output video signals via connectors 7a and 7b, to the processor 5. The two signals represent the instantaneous two
5 dimensional image of the targets 3, 4 in the field of view of cameras 6a and 6b.

Each video signal is periodically sampled and stored by a frame grabber (not shown) associated with the processor 5 and is stored as a bit map in a memory (not shown) associated with the processor 5. Each stored bit map is associated with its corresponding bit map to form a bit map pair; that is to say,
10 each image of the targets 3, 4 as viewed by camera 6a is associated with the corresponding image viewed at the same instant in time by camera 6b.

Each bit map stored in the memory is a two dimensional array of pixel light intensity values, with high intensity values, or target images, corresponding to the location of targets 3, 4 viewed from the perspective of the camera 6a or
15 6b from which the image originated.

The processor 5 analyses bit map pairs in order to obtain the instantaneous position and orientation of both the fuselage section 1 and the part 2 relative to the cameras 6a or 6b. This may be carried out in real time.

The processor 5 performs conventional calculations known in the art to
20 calculate a vector for each target image in three dimensional space, using the focal length characteristics of the respective cameras 6a and 6b. In this way, for each target 3, 4 that was visible to both cameras 6a and 6b, its image in one bit map of a pair has a corresponding image in the other bit map of the bit map pair, for which their respective calculated vectors intersect. The intersection

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

11

points of the vectors, in three dimensions, each correspond to the position of a target 3, 4 as viewed from the perspective of cameras 6a and 6b; i.e. in terms of the derived co-ordinate frame of reference.

Once the positions of the targets 3, 4 visible to both cameras 6a and 6b
5 have been determined with respect to the derived co-ordinate frame of reference, their positions are used to define the position and orientation of the fuselage section 1 and the part 2 in terms of the derived co-ordinate frame of reference. This can be achieved using one of a variety of known techniques. In the present embodiment, this is achieved in the following manner.

10 In the present embodiment, the three dimensional geometry of the part 2 is accurately known. This is stored as computer aided design (CAD) data, or a CAD model in a memory (not shown) associated with the processor 5. In practice, the CAD model may be stored on the hard disc drive (or other permanent storage medium) of a personal computer, fulfilling the function of
15 processor 5. The personal computer is programmed with suitable commercially available CAD software such as CATIA™ (available from IBM Engineering Solutions, IBM UK Ltd, PO Box 41, North Harbour, Portsmouth, Hampshire P06 3AU, UK), which is capable of reading and manipulating the stored CAD data. The personal computer is also programmed with software which may
20 additionally be required to allow the target positions viewed by the cameras 6a, 6b, to be imported into the CAD software.

As stated above, in the present embodiment, the position of the targets 4 on the part 2 are accurately known. Thus, the CAD model also defines the positions at which each of the targets 4 is located on the part 2, together with

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

12

the associated code for each target 4. By defining the three dimensional positions of a minimum number of three known points on the CAD model of the part 2, the position and orientation of the part 2 is uniquely defined. Thus, the three dimensional positions of three or more targets 4, as imaged by cameras 5 6a and 6b and calculated by processor 5, are used to determine the position and orientation of the part 2, in terms of the derived co-ordinate frame of reference.

The targets 4 whose three dimensional positions have been calculated are then matched to the corresponding target locations on the CAD model. This is achieved by identifying from the codes on each target 4 imaged by the cameras 6a and 6b the identity of those targets in a conventional manner, and then matching those codes to target positions on the CAD model with corresponding target code data. When this has been accomplished, the target positions in the CAD model which have been matched with an identified target 15 are set to the three dimensional position calculated for the corresponding target. When this has been done for three target positions on the CAD model, the position and orientation of the part 2 is uniquely defined.

The position and orientation of the fuselage section 1 is also determined. As is stated above, the three dimensional geometry of the fuselage section 1 is also accurately known. Again, this is stored as CAD data, or a CAD model in 20 the memory (not shown) associated with the processor 5. However, since the exact positions of the targets 3 with respect to the fuselage section 1 is not precisely known, the locations of the targets 3 are not held in the CAD data relating to the fuselage section 1.

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

13

However, by establishing the three dimensional position of six or more non-coplanar, non-colinearly placed targets 3 on the fuselage section 1, in the co-ordinate frame of reference of the cameras 6a and 6b, the relationship between their collective three dimensional positions and the CAD data defining the fuselage section 1 may be established by calculating the "best fit" for the measured target positions when applied to the CAD data. This may be implemented using a conventional "least mean squares" technique.

Once a "best fit" has been calculated for the measured three dimensional positions of a sufficient number of the targets 3 to derive a non-degenerate solution, the position and orientation of the fuselage section 1 may be uniquely defined by setting three or more of the target positions on the CAD data to the measured three dimensional positions for the corresponding targets 3.

When the positions and orientations of the fuselage section 1 and the part 2 have been determined, the processor 5 then compares the measured position and orientation of part 2 relative to the fuselage section 1, with that which is required in order to ensure correct assembly. The required position and orientation of part 2 is illustrated by dotted line 8 in Figure 1 and is defined by further CAD data associated with the CAD model of the fuselage section 1.

The processor 5 then calculates the degree and direction by which the part 2 must be re-orientated and translated, in a conventional manner, in order to be located in a position conforming to that required.

The processor 5 subsequently generates control signals which are transmitted to the robot (not shown) to manipulate the part 2 by the amounts

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

14

calculated. In the present embodiment, the step of re-orientating the part 2 is carried out prior to the step of translating the part 2 into its final assembly position, thus helping to ensure that no accidental collision between the part 2 and the fuselage section 1 occur.

5 While the part 2 is re-orientated and translated, the movement of the part 2 effected by the robot is detected by the probe and used in real time by the processor 5 to modify the control instructions output to the robot, should this be required. This may be required, for example, where the robot is not able to measure the movement of its end effector over relatively long distances with
10 sufficient accuracy for the purposes of the assembly task in question.

When the part 2 is located in the correct geometrical arrangement with the fuselage section 1, the robot is controlled by the processor 5 to hold the part 2 in the correct position whilst an operator marks out assembly location points on the fuselage section 1, such as points for drilling. During this process,
15 the position and orientation of the fuselage section 1 and the part 2 may be continually monitored by the probes and the processor 5 in order to ensure that no relative movement occurs between the two parts during the assembly process.

Although the example given in the first embodiment described
20 positioning a first part relative to a second, where the positions of the targets on the first part are accurately known and the positions of the targets on the second part are not, it will be appreciated that this situation in practice could be reversed. The present invention may also be implemented where the targets are located in accurately known positions on both parts; or alternatively, where

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

15

the targets locations on both parts are not accurately known. Furthermore, the locations of one or more targets on either part may be accurately known, with the remainder not being accurately known.

The second embodiment of the present invention in general terms fulfils
5 the same functions and employs the same apparatus as described with reference to the first embodiment. Therefore, similar apparatus and modes of operation will not be described further in detail. However, whereas the system of the first embodiment is arranged to position a part into a predetermined geometric arrangement with a structure to which the part is to be assembled,
10 the system of the second embodiment is arranged to position a tool used in a manufacturing operation in a predetermined geometric arrangement with respect to the structure or part to be acted on by the tool.

Referring to Figure 2, the positioning system of the second embodiment is illustrated. The wrist 21 of a robot similar to that used in the first embodiment
15 is illustrated. Whereas in the first embodiment the robot was equipped with a parts handling end effector, in the present embodiment a drill 22 is rigidly mounted on the robot wrist 21. A drill bit 23 is supported in the drill 22.

A part 24 which is to be machined is also shown. The part 24 is supported in a conventional manner such that it is fixed and stable prior to the
20 commencement of the manufacturing operation of the present embodiment.

As is described with reference to the first embodiment, retro-reflective targets 3, 4 are attached in a fixed relationship with respect to the part 24 and the tip of the drill bit 23, respectively. As the tip of the drill bit 23 is in a fixed and easily measurable geometrical relationship with the drill 22 and the robot

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

16

wrist 21, the targets 4, in this embodiment may be located on the drill 22 or on the robot wrist 21, as shown. Indeed, the targets 4 may be attached to any other structure in a fixed geometrical relationship with the drill.

In the present embodiment, the targets 3, 4 may be either of the coded or non-coded variety. However, sufficient targets 3, 4 must be simultaneously visible to both of the cameras 6a and 6b in order for a non-degenerate position and orientation determination for both the drill bit 23 and the part 24 to be made.

Also shown in the figure are cameras 6a and 6b which are connected to a processor 5 by suitable connections 7a and 7b; each of which serve the same function as described with respect to the first embodiment.

In the present embodiment, the robot, including the wrist 1a, is controlled by the processor 5 to position the drill bit 23 in the correct geometrical arrangement with respect to the part 24 such that holes may be drilled in part 24 in locations specified by CAD data relating to part 24 stored in a memory (not shown) associated with the processor 5. The CAD data additionally specifies the orientations of each hole with respect to the part 24 and the depth to which the hole is to be drilled.

As was discussed with reference to the first embodiment, the processor 5 calculates the three dimensional positions of the targets 3, 4 in the derived frame of reference, using the signals output from cameras 6a and 6b. From this information the processor 5 calculates the position and orientation of both the part 24 and the drill 22, using CAD models stored in a memory (not shown) associated with the processor 5.

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

17

Once the offset distance of the tip of the drill bit 23 is input into the CAD model of the drill 22 and/or robot wrist 21, the position and orientation of the tip of the drill bit 23 may be determined. Alternatively, the position and orientation of the tip of the drill bit may be established using the photogrammetry system and method described in the Applicant's co-pending application (Agent's Reference XA1213), which is herewith incorporated by reference in its entirety

Thus, the processor 5 may control the robot to move the drill bit 23 into precisely the correct position and orientation prior to commencing drilling each hole. The movement of the robot may also be controlled during the drilling operation; thus ensuring that the axis of the hole remains constant throughout the drilling process and that the hole is drilled to the correct depth and at a predetermined rate.

Although the second embodiment describes the positioning of a drill relative to a work piece to be machined, the skilled reader will realise that various other tools may be manipulated using the present invention. Such tools may include milling or grinding tools, a welding device or a marking out device, such as punches, scribers or ink devices.

It will be clear from the foregoing that the above described embodiments are merely examples of the how the invention may be put into effect. Many other alternatives will be apparent to the skilled reader which are in the scope of the present invention.

For example, although the above embodiments were described using targets which were attached directly to the parts or tool/tool housing which were being positioned according to the invention, the skilled person will realise that

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

18

this need not be the case in practice. For example, one or more probes, such as a 6 degree of freedom probe described in EP 0 700 506 B1 to Metronor AS which is entitled Method for Geometry Measurement, may instead be attached in a rigid fashion to one or each part or tool involved in a positioning operation according to the present invention; thus allowing the position and orientation of the respective parts or tools to be established.

As a further example, although the above embodiments were described using only one pair of cameras, it will be appreciated that more than two cameras or more than one pair of cameras may be used. For example, it may be desirable to use two pairs or sets of cameras. The first set may be used to give a six degree of freedom position of one part and the second set may be used to give a six degree of freedom position of the second part involved in the positioning operation. In this manner, the problem of the targets on one or other of the parts to be assembled being obscured by the robot or the part which the robot is manipulating may be avoided. It will of course be appreciated that if more than one set of cameras is to be used, then conventional transformations must be derived in order to relate the co-ordinate frame of reference of one set of cameras to the co-ordinate frame of reference of the other. Alternatively, transformations may be derived which relate the position information derived by each set of cameras to a further, common reference co-ordinate frame.

It will also be appreciated that although in the above described embodiments one part in the positioning procedure was held stationary and the other part was manipulated by a robot, the present invention may also be

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

19

implemented with two or more parts, each of which are manipulated by a robot or similar manipulation device.

Furthermore, whereas a conventional photogrammetry system is used in the above embodiments as the position and orientation measurement system, it
5 will be understood that other systems which may be used to yield a six degree of freedom position of a part may instead be used. For example, three laser trackers, each tracking a separate retro-reflector, or equivalent system, such as any six degree of freedom measurement device or system, could also be used. Alternatively, the measurement system could consist of two or more cameras
10 which output images of a part to a computer programmed with image recognition software. In such an embodiment, the software would be trained to recognise particular recognisable features of the part in question in order to determine the position and orientation of the part in question in respect of the cameras.

15 It will also be understood that the invention may be applied to a system in which a reduced number of degrees of freedom of manipulation are required. For example, an embodiment of the invention may be implemented in which only three translation degrees of freedom, along the X, Y and Z axes, are used. Indeed, if the system of the present invention were to be implemented using a
20 reduced number of degrees of freedom of manipulation, it will be understood that measurement devices or systems of a similarly reduced number of degrees of freedom of measurement may be used.

It will also be appreciated that although no particular details of the robot 1 were given, any robot with a sufficient movement resolution and sufficient

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

20

degrees of freedom of movement for a given task may be used to implement the invention. However, the robot may be mobile; i.e. not constrained to move around a base of fixed location. For example, the robot may be mounted on rails and thus be able to access a large working area. A mobile robot may be able to derive its location through the measurements made by the processor using the output signals of a measurement device or system, thus obviating the need for any base location measurement system on the robot itself. In such an embodiment of the invention, the processor may be programmed not only to control the articulation or movement of the robot arm, but also the movement of the robot as a whole.

Furthermore, it will be also be appreciated that the processor may be suitably programmed in order to ensure that at no time does the position of the part being manipulated overlap with the position of the part with respect to which it is being positioned, thus ensuring against collisions between the two parts. In certain intricate situations, the position of portions of the robot, such as its end effector, may also need to be monitored in order to ensure that the robot does not collide with the non-manipulated part. This could be achieved by using targets located on the parts of the robot of concern and relating the position of the targets to a stored CAD model of the robot in the manner described above.

Although the above described embodiments implement the manipulation of one part relative to another under the control of a processor, it will be understood that this may be controlled by an operator inputting control entries in to processor, using for example a keyboard or a joystick. The control entries

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

21

may either specify an absolute position and orientation of the robot wrist or a part being manipulated, or they may instead specify incremental position and orientation changes relative to its current position and orientation.

CLAIMS

1. A positioning system for use in computer aided manufacturing comprising at least one measurement means (4, 5, 6a, 6b) arranged to generate information relating to the position and orientation of a first part (2; 23), the system further comprising a processor means (5), arranged to receive the generated information, and a first handling means (21) being arranged to manipulate the first part in response to the processor means, characterised in that the at least one measurement means (3, 5, 6a, 6b; 4, 5, 6a, 6b) is further arranged to generate information relating to the position and orientation of a second part (1; 24) separate from the first part, the processor means being further arranged to derive the position and orientation of the first part relative to the measured position and orientation of the second part, and the first handling means being arranged to manipulate the first part into a predetermined position and orientation with respect to the second part in dependence on the derived relative position and orientation of the first part.
2. A system according to claim 1, wherein the first or the second part is a localised area of a respective first or second structure.
3. A system according to claim 1 or 2, wherein the position and orientation of the first part is derived in a first frame of reference and the position and orientation of the second part is derived in a second frame of reference, the processor means being arranged to derive the position and orientation of the first

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

23

part relative to the measured position and orientation of the second part in the second frame of reference.

4. A system according to any preceding claim, wherein the positioning system is for use in aircraft manufacture.

5. A system according to any preceding claim, further comprising a memory associated with the processor means, arranged to store CAD data relating to the first or the second part.

10

6. A system according to any preceding claim, wherein the at least one measurement means is arranged to measure the position of the first or the second part to six degrees of freedom.

7. A system according to any preceding claim, wherein the at least one measurement means comprises at least one imaging device (6a, 6b) and at least one light source (3, 4) in a fixed relationship with the first or the second part.

8. A system according to claim 7, wherein the least one imaging device is a metrology camera (6a, 6b).

20

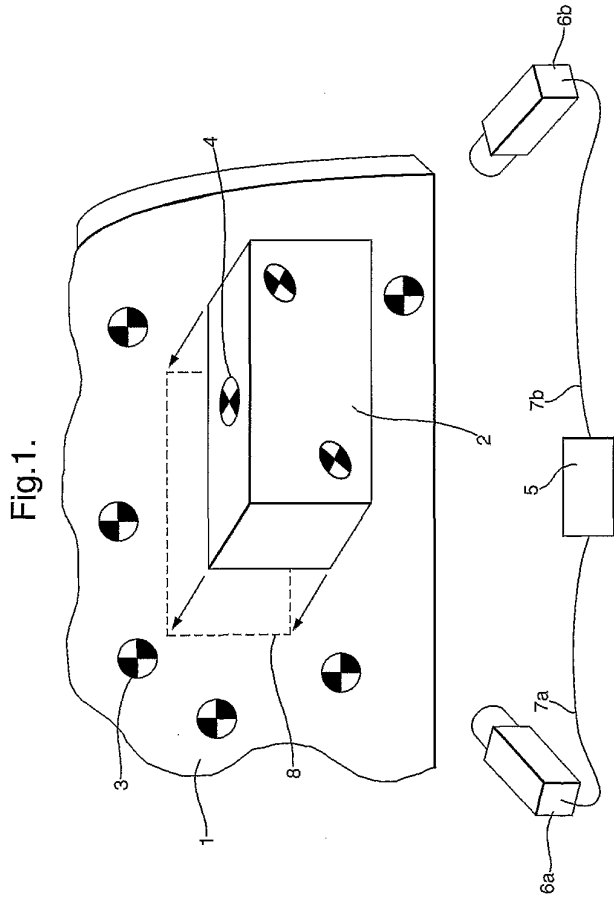
9. A system according to claim 7 or claim 8, wherein the at least one light source is a retro-reflector (3, 4).

WO 02/23121

PCT/GB01/03878

24

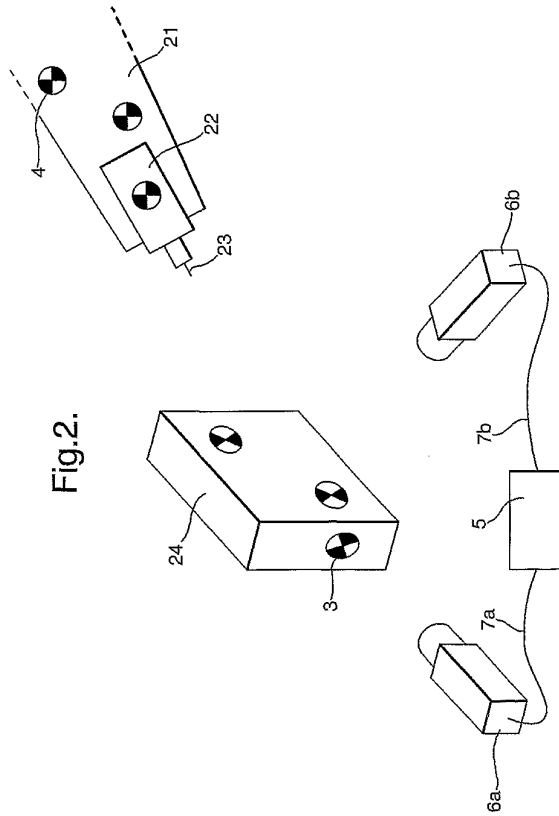
10. A method of computer aided manufacturing, the method comprising the steps of:
- measuring the position and orientation of a first part;
 - generating a control signal for controlling a first handling means, the first
 - 5 handling means being arranged to position the first part;
 - the method being characterised by the steps of:
 - measuring the position and orientation of a second part, separate from the
 - 10 first part;
 - determining the position and orientation of the first part relative to the
 - measured position and orientation of the second part; and,
 - positioning the first part in a predetermined position and orientation with
 - respect to the second part, in dependence on the derived relative position and
 - orientation of the first part.



WO 02/23121

PCT/GB01/03878

2/2



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/GB 01/03878
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 601B11/00 B25J9/16		
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) IPC 7 601B B25J		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data bases consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 833 383 A (ISURF) 23 May 1989 (1989-05-23) column 4, line 42 - line 65; figure 1	1,10
X	US 5 608 847 A (SAM) 4 March 1997 (1997-03-04) column 3, line 30 - line 41; figure 1	1,10
A	US 5 802 201 A (TCU) 1 September 1998 (1998-09-01) claim 1; figure 2	
A	US 5 446 548 A (SIEMENS) 29 August 1995 (1995-08-29) column 3, line 36 - line 37 column 3, line 56 - line 57; figure 1	
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents:		
A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *B* earlier document but published on or after the international filing date *C* 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) *D* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *E* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *F* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principles or theory underlying the invention *G* 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 *H* 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. *I* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 13 November 2001	Date of mailing of the international search report 23/11/2001	
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. Box 5816 Patentamt 2 NL - 2280 HJ Rijswijk Tel: (+31-70) 340-2040, Tx: 31 051 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Mielke, W	

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1996)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT			tional Application No PCT/GB 01/03878	
Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date		
US 4833383	A	23-05-1989	NONE		
US 5608847	A	04-03-1997	US	5148591 A	22-09-1992
			US	4482960 A	13-11-1984
			US	4602163 A	22-07-1986
			US	4453085 A	05-06-1984
			US	6163946 A	26-12-2000
			US	6301763 B1	16-10-2001
			US	5602967 A	11-02-1997
			US	6167607 B1	02-01-2001
			DE	3302177 A1	25-08-1983
			JP	58217285 A	17-12-1983
			US	5956417 A	21-09-1999
			US	6044183 A	28-03-2000
			US	5506682 A	09-04-1996
			US	4654949 A	07-04-1987
			DE	3371487 D1	19-06-1987
			EP	0114505 A1	01-08-1984
			US	4753569 A	28-06-1988
			US	4769700 A	06-09-1988
			DE	3241510 A1	10-05-1984
			US	4788440 A	29-11-1988
US 5802201	A	01-09-1998	WO	9729449 A1	14-08-1997
US 5446548	A	29-08-1995	NONE		

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,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,PH,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VN,YU,ZA,ZW

(72)発明者 グーチ、リチャード・マイケル
イギリス国、ケーティー５・８ ビーチー、サーレー、サービトン、エバースリー・ロード 9

(72)発明者 シェリダン、マイルス
アイルランド国、7 ダブリン、フィブスボロー、ノーフォーク・ロード 19

(72)発明者 アレクサンダー、リチャード・ジョン・レニー
イギリス国、ダブリュアール10・2 ビーイー、ウォーセスターシャー、パーショアー、ドレイクス・プロートン、シュラベリー・ロード 45

Fターム(参考) 2F065 AA04 AA14 AA20 BB05 DD06 FF04 FF05 FF09 FF61 GG13
HH02 JJ03 JJ05 JJ26 LL16 QQ24 QQ25 QQ31 RR05 TT02
TT08
3C007 AS12 KT02 KT06
3C030 BC16 BC31
5B057 AA05 BA02 DA07 DB03 DB05 DB09 DC03 DC08 DC09 DC32
5H269 AB22 AB33 BB03 CC07 EE03 EE05 FF05 JJ20 NN16