



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 048 136 B4** 2010.01.21

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 048 136.1**
 (22) Anmeldetag: **06.10.2005**
 (43) Offenlegungstag: **26.04.2007**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **21.01.2010**

(51) Int Cl.⁸: **G01B 11/03** (2006.01)
G01B 11/25 (2006.01)
B25J 13/08 (2006.01)
B23K 26/02 (2006.01)
B25J 9/16 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
KUKA Roboter GmbH, 86165 Augsburg, DE

(74) Vertreter:
LICHTI Patentanwälte, 76227 Karlsruhe

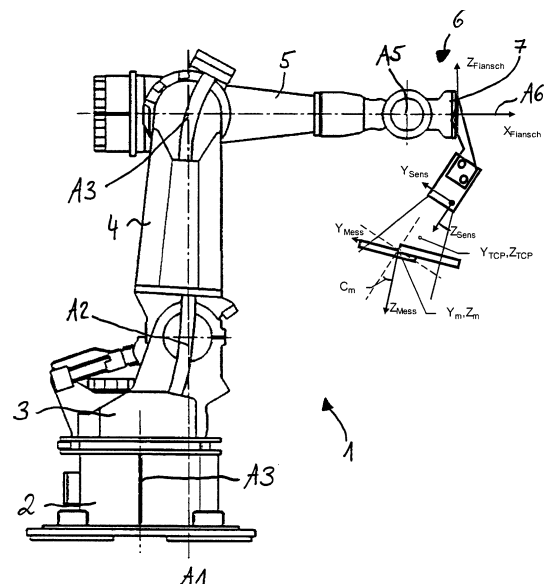
(72) Erfinder:
Kohler, Thomas, 86368 Gersthofen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

DE	200 03 381	U1
US	60 44 308	A
US	63 21 137	B1
US	2005/00 96 892	A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Bestimmen eines virtuellen Tool-Center-Points**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Bestimmen der Lage eines virtuellen Tool-Center-Points bezüglich eines bekannten Koordinatensystems eines Roboters, der einen Mess-Sensor zur Vermessung von Objekten aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Lage des virtuellen Tool-Center-Points bezüglich des bekannten Koordinatensystems des Roboters aus der bekannten Lage des virtuellen Tool-Center-Points bezüglich eines Sensor-Koordinatensystems und einer Ermittlung der Roboterachsstellungen für eine Roboterposition bestimmt wird, in welcher der virtuelle Tool-Center-Point in einer Mess-Stelle eines Referenzbauteils liegt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen eines virtuellen Tool-Center-Points bezüglich eines bekannten Koordinatensystems eines Roboters, der einen Mess-Sensor zur Vermessung von Objekten aufweist sowie eine Steuerungseinrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13, mit einem Anzeigemittel zum Darstellen der räumlichen Lage eines virtuellen Tool-Center-Points.

[0002] Als virtuelle Tool-Center-Points (TCP) werden Raumkoordinaten und -orientierungen bezeichnet, die beispielsweise außerhalb von realen Körpern, wie einem Werkzeug liegen. Solche Punkte liegen frei im Raum und können wegen ihres fehlenden Bezugs zu realen Körpern nicht unmittelbar von einem Roboter angefahren werden. Bspw. bei der Laserbearbeitung mittels Roboter liegt ein virtueller TCP im Focus des Lasers, also frei im Raum und nicht an einem geometrischen Punkt eines realen Körpers. Zum Nachjustieren werden bspw. bei der Laserbearbeitung vorzugsweise Lichtschnitt-Sensoren eingesetzt.

[0003] Lichtschnitt-Sensoren werden zum Erfassen von Oberflächen mittels statischer Triangulation eingesetzt. Dabei erzeugt ein Halbleiterlaser mittels einer Linienoptik, wie einer Zylinderlinse, einen flächig aufgefächerten Laserstrahl in Form eines Lichtvorhangs, der auf ein Messobjekt auftrifft und unter dem sogenannten Triangulationswinkel auf eine Kamera mit Signalverarbeitung, wie ein CCD-Array, reflektiert wird. Ein Signalprozessor bestimmt aus den vom Messobjekt reflektierten Laserlinien die räumliche Lage des Messobjekts und eventuelle Kantenübergänge. Der Lichtschnitt-Sensor kann dadurch Abstandsmesswerte und Profilschnitte des Messobjekts zur Verfügung stellen.

[0004] Um die vom Lichtschnitt-Sensor zur Verfügung gestellten Werte zur Steuerung eines Roboters bzw. zur Korrektur dessen Roboterprogramms oder allgemein einer Maschine verwenden zu können, sind die vom Lichtschnitt-Sensor zunächst in dessen Sensor-Koordinatensystem zur Verfügung gestellten Messwerte dem Roboter in dessen Roboter-Koordinatensystem oder auch im mit diesem in bekannter Weise in Relation stehenden Weltkoordinatensystem zur Verfügung zu stellen. Dabei wird ein virtueller Sensor-Tool-Center Point – Sensor-TCP – definiert, dessen Position im Sensor-Koordinatensystem definiert ist.

[0005] Insbesondere nach einer Demontage und erneuter Wiedermontage des Lichtschnitt-Sensors vom Roboterarm, beispielsweise nach Ausfall eines Sensors und/oder allgemeiner, wenn die Montageposition nicht eindeutig definiert ist, ist die Lage des Sen-

sor-TCP bezüglich des Roboter- bzw. Weltkoordinatensystems meist verschoben. Diese Verschiebung ist zunächst nicht bekannt und soll erfindungsgemäß mit einfachen Mitteln bestimmt werden.

[0006] Die US 6,044,308 A betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kalibrierung der Pose eines Tool-Center-Points (TCP) eines robotergesteuerten Werkzeugs, das am Endpunkt eines Roboters zusammen mit einem Sensor angebracht ist.

[0007] Dabei wird die Lage des Ursprungs eines Sensorbildkoordinatensystems bezüglich des globalen Koordinatensystems des Roboters, der den Messsensor trägt, bestimmt mit Hilfe von ermittelten Roboterachsstellungen sowie der Lage des Ursprungs des Sensorbildkoordinatensystems bezüglich eines Koordinatensystems des Sensors selbst, ausgedrückt durch eine Transformation.

[0008] Soweit ein Referenzbauteil angefahren wird, geht die Lage des Ursprungs des Sensorbildkoordinatensystems bezüglich des eigenen Sensorkoordinatensystems nicht mehr in die Ergebnisermittlung ein, weil direkt die Transformation zwischen dem Sensorbildkoordinatensystem und einem Koordinatensystem am freien Ende des Roboters erhalten wird und nur diese Transformation Verwendung findet.

[0009] Die DE 200 03 381 U1 zeigt eine Prüfeinrichtung für bewegliche optische Messeinrichtungen, die mit Auswerte- und Anzeigeeinheiten verbunden sind, auf der letzterer der Bediener das Bild des gerade abgetasteten und vermessenen Werkstückbereich sehen kann und wobei der Arbeitspunkt oder TCP durch ein Fadenkreuz oder eine andere Zielmarkierung abgebildet werden kann.

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, mit dem die Lage eines virtuellen Sensor-TCPs bezüglich des Roboter- oder Weltkoordinatensystems in einfacher Weise bestimmt werden kann.

[0011] Als Lage wird zumindest die örtliche Position innerhalb eines bekannten Koordinatensystems bspw. X, Y, Z verstanden. Diese kann auch die Orientierungen im Raum wie bspw. die Rotationen A, B, C um die Achsen X, Y, Z umfassen.

[0012] Erfindungsgemäß wird die genannte Aufgabe bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass die Lage des virtuellen Tool-Center-Points bezüglich des bekannten Koordinatensystems des Roboters aus der bekannten Lage des virtuellen Tool-Center-Points bezüglich eines Sensor-Koordinatensystems und einer Ermittlung der Roboterachsstellungen für eine Roboterposition bestimmt wird, in welcher der virtuelle Tool-Center-Point

in einer Mess-Stelle eines Referenzbauteils liegt.

[0013] Bekannte Koordinatensysteme eines Roboters sind bspw. das Weltkoordinatensystem, das sogenannte Roboterkoordinatensystem oder das Handkoordinatensystem. Das Messen der Roboterachsenstellungen erfolgt vorzugsweise durch Teachern mittels in der Robotersteuerung implementierten Teach-Funktionen.

[0014] Die Erfindung sieht auch das Bestimmen eines virtuellen TCPs mittels eines Lichtschnitt-Sensors derart vor, dass der virtuelle TCP, dessen Position im Sensor-Koordinatensystem bekannt ist, in hinreichende Übereinstimmung mit einer Mess-Stelle, die im Folgenden auch als Merkmal bezeichnet wird, bspw. eines Referenzbauteils gebracht wird, wobei dieses Merkmal in einem speziellen Anwendungsfall eine "Fügestellen-Geometrie" ist, die eine der gängigen Arten für Schweißnaht-Konstruktionen z. B. ein Überlapp-Stoß, bei dem zwei ebene Bauteile flächig teilweise übereinander liegen, ein T-Stoß, bei dem ein erstes ebenes Bauteil senkrecht zu einem zweiten ebenen Bauteil angeordnet ist und die Stirnseite des ersten Bauteils auf der Flächenebene des zweiten Bauteils anliegt, oder ein I-Stoß, bei dem die Stirnseite des ersten Bauteils an einer Stirnseite des zweiten Bauteils derart anliegt, dass beide Bauteile in derselben Ebene zum Liegen kommen. Verallgemeinert könnte man die Mess-Stelle bzw. das Merkmal eventuell auch als "Unstetigkeit" im Flächenverlauf bezeichnen. Geometrisch definiert es sich dann als Linie oder Kante an einer Ebene mit einer definierten Flächennormalen.

[0015] In einer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Senkrechte zur Fläche des Bauteils durch Triangulation bestimmt wird.

[0016] In einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass der virtuelle Tool-Center-Point auf Grundlage von Messwerten des Mess-Sensors in die Mess-Stelle des Referenzbauteils bewegt wird, wobei insbesondere der Sensor in eine räumliche Nähe der Mess-Stelle des Referenzbauteils gebracht wird, in der die Mess-Stelle vom Mess-Sensor erfasst wird, dass mittels mindestens eines vom Mess-Sensor gemessenen Positionswertes (Y_{MESS} , Z_{MESS}) der Mess-Stelle ein Lageunterschied zwischen virtuellem Tool-Center-Point und Mess-Stelle im Sensor-Koordinatensystem bestimmt wird, und dass auf Grundlage dieses Lageunterschieds der virtuelle Tool-Center-Point mit der Mess-Stelle in Übereinstimmung hinsichtlich der Position gebracht wird. Vorzugsweise wird dabei der Sensor in eine solche räumliche Nähe der Mess-Stelle des Referenzbauteils gebracht, dass die Mess-Stelle vom Mess-Sensor erfasst werden kann. Sodann wird mittels mindestens eines vom Mess-Sensor gemessenen Orientierungswertes

(A_{MESS} , B_{MESS} , C_{MESS}) der Mess-Stelle ein Orientierungsunterschied zwischen virtuellem Tool-Center-Point und Mess-Stelle im Sensor-Koordinatensystem bestimmt wird und weiterhin auf Grundlage dieses Orientierungsunterschieds der virtuelle Tool-Center-Point mit der Mess-Stelle in Übereinstimmung hinsichtlich der Orientierung gebracht wird.

[0017] In weiteren alternativen Ausgestaltungen kann vorgesehen sein, dass die Übereinstimmung des virtuellen Tool-Center-Points mit der Mess-Stelle erreicht wird durch Ansteuern des Roboters, bis der virtuelle Tool-Center-Point in der Mess-Stelle liegt oder aber, dass zur Erleichterung des manuell angesteuerten Anfahrens des virtuellen Tool-Center-Points in die Mess-Stelle, eine Information ausgegeben wird, in welcher Weise der Roboter zu verfahren ist, um die Mess-Stelle zu erreichen.

[0018] Im Falle der ersten Alternative wird vorzugsweise zur Erleichterung des manuell angesteuerten Anfahrens des virtuellen Tool-Center-Points in die Mess-Stelle eine Information dahingehend ausgegeben, in welcher Weise der Roboter zu verfahren ist, um die Mess-Stelle zu erreichen, während bei der zweiten Alternative die Übereinstimmung durch automatisiertes Ansteuern des Roboters erfolgt, bis der virtuelle Tool-Center-Point in der Mess-Stelle liegt.

[0019] Bei vorzugsweiser Verwendung von Lichtschnitt-Sensoren als Mess-Sensoren werden mittels der Mess-Werte derselben mindestens zwei (Y_{MESS} , Z_{MESS}) der Dreiraum-Koordinaten der Mess-Stelle im Sensor-Koordinatensystem und die dritte Raum-Koordinate durch einen Schnitt einer in Richtung der dritten Raum-Koordinate sich durch die Mess-Stelle erstreckenden Gerade unter Ebene eines Lichtvorhangs des Lichtschnitt-Sensors bestimmt.

[0020] Mittels der Mess-Werte des Lichtschnitt-Sensors kann so eine Senkrechte (Z_{MESS}) zur Fläche des Referenzbauteils bestimmt werden und weiterhin eine Koordinaten-Richtung (Z_{SENS}) des Sensor-Koordinatensystems durch Ausrichten des Lichtschnitt-Sensors zur Mess-Stellung in Übereinstimmung der Senkrechten (Z_{MESS}) der Fläche des Referenzbauteils gebracht werden.

[0021] Eine bevorzugte Weiterbildung des Verfahrens sieht darüber hinaus vor, dass die Mess-Stelle sich in einer Linie oder einer Kante in der Fläche des Referenzbauteils befindet und ein ebener Lichtvorhang des Lichtschnittsensoren so lange um eine Senkrechte zur Fläche des Referenzbauteils gedreht wird, bis die durch die Linie oder Kante verursachte Sprungantwort des Lichtschnittsensoren verschwindet und diese Orientierung eine erste Winkelstellung bildet, dass der Lichtschnittsensor in entgegengesetzter Richtung gedreht wird, bis die durch die Linie oder Kante verursachte Sprungantwort des Licht-

schnittsensors erneut verschwindet und diese neue Orientierung eine zweite Winkelstellung bildet, und die Winkelhalbierende zwischen erster und zweiter Winkelstellung als relevante Winkelorientierung erfasst wird.

[0022] Zur Durchführung des Verfahrens kann eine Steuerungseinrichtung eingesetzt werden, die zum Bestimmen der Lage des virtuellen Tool-Center-Points bezüglich des bekannten Koordinatensystems des Roboters aus der bekannten Lage des virtuellen Tool-Center-Points bezüglich eines Sensor-Koordinatensystems und einer Ermittlung der Roboterachsstellungen für eine Roboterposition ausgebildet ist, in welcher der virtuelle Tool-Center-Point in einer Mess-Stelle eines Referenzbauteils liegt, und dass das Anzeigemittel zum Darstellen der räumlichen Lage des virtuellen Tool-Center-Points ausgebildet ist.

[0023] In bevorzugten Weiterbildungen der Einrichtung ist darüber hinaus vorgesehen, dass das Anzeigemittel zum Darstellen einer Information über die Richtung ausgebildet ist, in die der Roboter zu verfahren ist, bis der virtuelle Tool-Center-Point in der Mess-Stelle zu liegen kommt und/oder dass das Anzeigemittel zum Darstellen einer Information ausgebildet ist, die anzeigt, wenn der virtuelle Tool-Center-Point in der Mess-Stelle liegt.

[0024] Durch die Erfindung wird ein Teachen bei einem virtuellen TCP möglich, der für das menschliche Auge nicht sichtbar ist und deshalb vom Roboterprogrammierer nicht unmittelbar – mechanisch – angefahren werden kann. Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens "sieht" der Lichtschnitt-Sensor für den Roboterprogrammierer. Dies kann am Bediengerät derart visualisiert werden, dass der Roboterprogrammierer über die Darstellungen am Bediengerät den virtuellen TCP anfahren kann.

[0025] Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen und aus der nachfolgenden Beschreibung, in der ein Ausführungsbeispiel der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen im Einzelnen erläutert ist. Dabei zeigt:

[0026] [Fig. 1](#) eine Darstellung eines erfindungsgemäßen Roboters mit einem an der Roboterhand angebrachten Lichtschnitt-Sensor und einem Referenzbauteil mit einem Merkmal, dessen Position im Raum bekannt ist;

[0027] [Fig. 2](#) eine vergrößerte Darstellung des Lichtschnitt-Sensors mit dem Referenzbauteil der [Fig. 1](#);

[0028] [Fig. 3](#) den Lichtschnittsensor der [Fig. 2](#) in einer Seitenansicht; und

[0029] [Fig. 4](#) eine erfindungsgemäße Steuerungseinrichtung.

[0030] Ein Industrieroboter **1** weist in bekannter Weise einen Sockel **2**, ein um eine vertikale A1-Achse drehbares Karussell **3**, eine um eine horizontale A2-Achse verschwenkbare Schwinge **4**, einen an deren freien Ende gelenkig um eine horizontale A3-Achse verschwenkbaren Roboterarm **5** mit einer an dessen freien Ende angeordneten Hand **6** mit drei Drehachsen A4 bis A6 auf. Das freie Ende der Hand **6** wird durch einen Flansch **7** gebildet. Die A6-Achse stimmt bei Verschwenken der Hand um die A5-Achse nicht mehr mit der A4-Achse überein, wie es lediglich für den Sonderfall der in der Zeichnung dargestellten gestreckten Position gegeben ist.

[0031] Der Flansch **7** dient zur Befestigung von Werkzeugen. In der [Fig. 1](#) ist an ihm ein Lichtschnitt-Sensor **8** befestigt. Der des Lichtschnitt-Sensors **8** weist eine einen von seiner Y-Z-Ebene flächig aufgefächerten Laserstrahl, einen Lichtvorhang **9**, erzeugende Lichtquelle, vorzugsweise in Form eines Halbleiterlasers, sowie einen Detektor, wie eine Kamera, vorzugsweise in Form eines CCD-Arrays, auf.

[0032] Der Lichtschnitt-Sensor **8** hat sein eigenes Koordinatensystem. Die Y-Richtung Y_{SENS} und die Z-Richtung Z_{SENS} im Sensor-Koordinatensystem sind in den Figuren dargestellt, während die X-Richtung X_{SENS} bei der dargestellten Ausrichtung senkrecht fest zur Blattebene ausgerichtet ist. Dem Sensor ist ein virtueller Tool-Center-Point – TCP **15** – am Ort $X_{\text{TCP}}, Y_{\text{TCP}}, Z_{\text{TCP}}$ im Sensorkoordinatensystem zugeordnet.

[0033] Weiter ist eine Mess-Stelle bzw. ein Merkmal **12** aufweisendes Referenzbauteil **11** dargestellt. Das Merkmal besteht im konkreten Ausführungsbeispiel aus einer Stufe **12** in einem Referenzbauteil **11**. Die X-Koordinate X_{MESS} der Mess-Stelle verläuft entlang der Längserstreckung der Stufe **12**. Die Z-Koordinate Z_{MESS} der Mess-Stelle verläuft senkrecht zur Fläche **14** des Referenzbauteils.

[0034] Wie anhand der [Fig. 2](#) ersichtlich ist, wird zunächst die Roboterhand durch Verstellen der einzelnen Roboterachsen derart bewegt, dass das Merkmal **12** in das Blickfeld bzw. Sichtfenster der CCD-Kamera des Sensors gelangt. Der Sensor erzeugt dann ein Signal, dass das Merkmal **12** erkannt wurde. Dieses Erreichen des Zielfensters kann auch beispielsweise an einer Bedieneinheit vorzugsweise optisch oder auch akustisch angezeigt werden. Sobald der Sensor das Merkmal **12** erfasst hat, bestimmt der Lichtschnitt-Sensor **8** die Position des Merkmals **12** sowohl in Y-Richtung Y_{SENS} als auch in Z-Richtung Z_{SENS} des Sensorkoordinatensystems. Aus der IST-Lage des Merkmals **12** bezüglich des Koordinatensystems des Lichtschnitt-Sensors **8** und

der mathematisch bekannten Lage des virtuellen TCP **15** bezüglich des Koordinatensystems des Lichtschnitt-Sensors **8** wird der Lageunterschied zwischen Merkmal **12** und virtuellem TCP ermittelt. Anschließend wird der Roboterarm in Richtung Y_{SENS} oder Z_{SENS} vorwärts (+) oder rückwärts (-) bewegt, bis die diesbezüglichen Koordinaten des Merkmals **12** und des virtuellen TCP **15** (hinreichend) übereinstimmen. Der Roboter kann entweder automatisiert von einer Steuerung selbsttätig bewegt werden, oder ein Roboterbediener wird aufgefordert, den Roboter in geeigneter Weise manuell zu bewegen.

[0035] Die Annäherung des virtuellen TCP **15** zum Merkmal **12** in Z-Richtung Z_{SENS} des Sensor-Koordinatensystems bis zumindest eine näherungsweise Übereinstimmung erfolgt entsprechend, wobei der Ort des Merkmals in Z-Richtung Z_{SENS} durch den Lichtschnittsensor **8** nach dem an sich bekannten Verfahren der statischen Triangulation erfolgt.

[0036] Der virtuelle TCP **15** wird so in Übereinstimmung mit dem Merkmal **12**, gebracht, wobei dies von Hand oder automatisch erfolgen kann.

[0037] Die Übereinstimmung muss nicht exakt hergestellt werden, sondern kann mit einer gewissen Toleranz R erfolgen, wobei die Toleranzbreite in der Größenordnung von bspw. des 1 bis 5-fachen der Sensorauflösung liegen kann, also beispielsweise 1 mm betragen kann. Eine exakte Positionierung ist nicht erforderlich, da mittels bekannter Dreipunkt- und Vierpunktmethoden trotz der angefahrenen unexakten Positionen die tatsächliche Lage des TCPs mathematisch exakt berechnet werden kann.

[0038] Die dritte Koordinate X ist stets Null, da der Lichtschnitt-Sensor **8** einen flächigen Strahl, also einen Lichtvorgang erzeugt, der in X-Richtung keine räumliche Ausdehnung hat, also unendlich klein oder dünn ist. Unter der Voraussetzung, dass das System zuvor ein "Merkmal erreicht" und ein Signal erzeugt hat, ist sichergestellt, dass das Merkmal **12** in Y-Richtung in der Ebene des Lichtvorhangs des Lichtschnitt-Sensors **8** liegt.

[0039] Insgesamt kann aus der so gemessenen IST-Lage des Merkmals **12** bezüglich des Koordinatensystems des Lichtschnitt-Sensors **8** und der mathematisch bekannten Lage des virtuellen TCPs **15** im Koordinatensystem des Lichtschnitt-Sensors der Lageunterschied zwischen Merkmal **12** und virtuellem TCP **15** ermittelt werden und damit dessen Lage im Welt- oder Roboterkoordinatensystem bestimmt werden.

[0040] Es können weiterhin mindestens zwei von drei Winkellagen ermittelt werden.

[0041] Zum Bestimmen der ersten Winkellage wird,

wie in [Fig. 2](#) dargestellt, zunächst der flächige Sensorstrahl um eine X-Richtung gegenüber dem Referenzbauteil **11** bzw. dem Merkmal **12**, gedreht. Dabei wird mittels des an sich bekannten Triangulationsverfahrens des Lichtschnitt-Sensors **8** die Normale der Fläche des Referenzbauteils **11** rechnerisch bestimmt. Die Z-Richtung Z_{SENS} des sensoreigenen Koordinatensystems ist bekannt. Der Lichtschnitt-Sensor **8** wird verschwenkt und während des Verschwenkens wird die Z-Richtung Z_{SENS} des Lichtschnitt-Sensors **8** relativ zur rechnerisch bestimmten Normalen der Z-Richtung Z_{MESS} des Merkmals **12** gemessen. Die Bewegung erfolgt so lange, bis der Relativwinkel zwischen Z_{SENS} und Z_{MESS} Null wird. Anschließend wird, wie in [Fig. 3](#) dargestellt, der Lichtschnittsensor **8** um seine Y-Richtung gedreht und dabei der Abstand zwischen dem Lichtschnittsensor **8** und dem Merkmal **12** gemessen. Die Drehung soll in diejenige Drehrichtung erfolgen, in welche die gemessenen Abstandswerte stetig kleiner werden. Sobald die Messwerte anfangen wieder größer zu werden, ist der Umkehrpunkt erkannt, an dem der Abstand am geringsten ist. In dieser Drehlage steht die Y-Richtung des Lichtschnittsensors **8** senkrecht auf dem Referenzbauteil **11**.

[0042] Damit stimmt die Z-Richtung Z_{SENS} des Lichtschnitt-Sensors **8** mit der Z-Richtung Z_{SENS} des Merkmals **12** überein.

[0043] In einem weiteren Schritt wird ein zweiter Winkel bestimmt. Dazu wird der Lichtschnitt-Sensor **8** um seine eigene Z-Achse Z_{SENS} verdreht, wobei die genannte Achse als Drehachse mit hinreichender Genauigkeit die Kante des Merkmals **12** schneidet. Sobald der flächig aufgefächerte Lichtstrahl des Lichtschnitt-Sensors **8** sich in Y-Richtung Y_{MESS} der Kante befindet, verschwindet die Sprungantwort im vom Lichtschnitt-Sensor **8** erzeugten Signals, die ansonsten aufgrund der Kante gegeben ist und die Winkellage wird erfasst, wodurch die Y-Richtung Y_{SENS} des Lichtschnitt-Sensors **8** in gewisser Übereinstimmung mit der Y-Richtung des Merkmals **12** bzw. der Kante des Referenzbauteils **11** gebracht ist.

[0044] Zur Erhöhung der Genauigkeit kann der Lichtschnitt-Sensor **8** in gleicher Richtung oder entgegen der vorherigen Richtung wiederum so lange gedreht werden, bis – diesmal bspw. um 180° verdreht – die Richtung des flächigen Lichtstrahls wiederum mit der Kante übereinstimmt, also wiederum die Sprungantwort verschwindet. Als zweite Winkellage wird die Winkellage zwischen den beiden erfassten (Y-)Winkellagen als zweite Winkellage des virtuellen TCPs **15** erfasst.

[0045] Die dritte Winkellage ergibt sich im kartesischen Koordinatensystem als Senkrechte auf die beiden vorher bestimmten Winkellagen.

Patentansprüche

[0046] Der virtuelle TCP **15** befindet sich nun sowohl hinsichtlich seiner drei Orientierungen, als auch hinsichtlich seiner Position im kartesischen Koordinatensystem deckungsgleich zum Merkmal **12** bzw. der Mess-Stelle. Diese Position wird dann durch die üblichen Dreipunkt- oder Vierpunktmethode erneut ge-teacht, wodurch eine eindeutige Bestimmung der Lage des virtuellen TCPs **15** im Roboter- oder Weltkoordinatensystem gegeben ist.

[0047] Die [Fig. 4](#) zeigt die Abbildung eines Anzeigemittels einer erfindungsgemäßen Steuerungseinrichtung. Während im linken Teil numerische Informationen angegeben sind und im unteren Bereich Meldungen, ist die erfindungsgemäße Steuerungseinrichtung dazu ausgebildet, im rechten Teil des Anzeigemittels die räumliche Lage eines virtuellen Tool-Center-Points anzuzeigen. Bei der Darstellung der [Fig. 4](#) befindet sich dieser nicht in einer räumlichen Lage eines Mess-Sensors, sondern vielmehr zu weit links und zu weit weg. Demgemäß leuchtet in der Anzeige die Kennung für "zu weit weg" und "zu weit links" auf, wodurch das Nichtvorliegen einer räumlichen Nähe des Mess-Sensors zu einer Mess-Stelle eines Referenzbauteils unter Angabe der Richtung angezeigt wird, in der der Roboter zu verfahren ist, damit der virtuelle Tool-Center-Point in der Mess-Stelle zu liegen kommt. Zur Anzeige liefert der Mess-Sensor die Lage des Merkmals relativ zu seinem Koordinatenursprung zurück. Die Anzeige wird bewirkt durch den Vergleich der gemessenen Positionen mit dem virtuellen Tool-Center-Point, wodurch die notwendige Fahrtrichtung angegeben wird. Wenn der Mess-Sensor in hinreichende räumliche Nähe zu einer Mess-Stelle eines Referenzbauteils zu liegen kommt und die Mess-Stelle demgemäß vom Mess-Sensor erfassbar ist, kann die durch die Anzeige der Mess-Stelle innerhalb der durch die Leuchtpunkte der Anzeige definierten Fläche dargestellt werden und damit eine Information, dass der virtuelle Tool-Center-Point in der Mess-Stelle (unter Berücksichtigung vorgegebener Toleranz bzw. mit hinreichender Nähe) liegt.

Bezugszeichenliste

1	Industrieroboter
2	Sockel
3	Karussell
4	Schwinge
5	Roboterarm
6	Hand
7	Flansch
8	Lichtschnitt-Sensor
9, 10	Lichtvorhang
11	Referenzbauteil
12	Merkmal
13	Platte
14	ebene Fläche
15	virtueller TCP

1. Verfahren zum Bestimmen der Lage eines virtuellen Tool-Center-Points bezüglich eines bekannten Koordinatensystems eines Roboters, der einen Mess-Sensor zur Vermessung von Objekten aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lage des virtuellen Tool-Center-Points bezüglich des bekannten Koordinatensystems des Roboters aus der bekannten Lage des virtuellen Tool-Center-Points bezüglich eines Sensor-Koordinatensystems und einer Ermittlung der Roboterachsstellungen für eine Roboterposition bestimmt wird, in welcher der virtuelle Tool-Center-Point in einer Mess-Stelle eines Referenzbauteils liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Messen der Roboterachsstellungen durch Teachern mittels in der Robotersteuerung implementierter Teach-Funktionen erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der virtuelle Tool-Center-Point auf Grundlage von Messwerten des Mess-Sensors in die Mess-Stelle des Referenzbauteils bewegt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor in eine räumliche Nähe der Mess-Stelle des Referenzbauteils gebracht wird, in der die Mess-Stelle vom Mess-Sensor erfasst wird, dass mittels mindestens eines vom Mess-Sensor gemessenen Positionswertes (Y_{MESS} , Z_{MESS}) der Mess-Stelle ein Lageunterschied zwischen virtuellem Tool-Center-Point und Mess-Stelle im Sensor-Koordinatensystem bestimmt wird, und dass auf Grundlage dieses Lageunterschieds der virtuelle Tool-Center-Point mit der Mess-Stelle in Übereinstimmung hinsichtlich der Position gebracht wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor in eine räumliche Nähe der Mess-Stelle des Referenzbauteils gebracht wird, in der die Mess-Stelle vom Mess-Sensor erfasst wird, dass mittels mindestens eines vom Mess-Sensor gemessenen Orientierungswertes (A_{MESS} , B_{MESS} , C_{MESS}) der Mess-Stelle ein Orientierungsunterschied zwischen virtuellem Tool-Center-Point und Mess-Stelle im Sensor-Koordinatensystem bestimmt wird, und dass auf Grundlage dieses Orientierungsunterschieds der virtuelle Tool-Center-Point mit der Mess-Stelle in Übereinstimmung hinsichtlich der Orientierung gebracht wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Übereinstimmung des virtuellen Tool-Center-Points mit der Mess-Stelle erreicht wird durch Ansteuern des Roboters, bis der virtuelle Tool-Center-Point in der Mess-Stelle liegt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erleichterung des manuell angesteuerten Anfahrens des virtuellen Tool-Center-Points in die Mess-Stelle eine Information ausgegeben wird, in welcher Weise der Roboter zu verfahren ist, um die Mess-Stelle zu erreichen.

Orientierung eine zweite Winkelstellung bildet, und die Winkelhalbierende zwischen erster und zweiter Winkelstellung als relevante Winkelorientierung erfasst wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

8. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Übereinstimmung des virtuellen Tool-Center-Points mit der Mess-Stelle auf rechnerischem Wege erreicht wird, in dem der Lageunterschied und/oder der Orientierungsunterschied zwischen virtuellem Tool-Center-Point und Mess-Stelle in die Positionsdaten eines Roboterprogramms einbezogen werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Übereinstimmung durch automatisiertes Ansteuern des Roboters erfolgt, bis der virtuelle Tool-Center-Point in der Mess-Stelle liegt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass als Mess-Sensor ein Lichtschnittsensor verwendet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Mess-Werte des Lichtschnittsensors mindestens zwei (Y_{MESS} , Z_{MESS}) der drei Raum-Koordinaten der Mess-Stelle im Sensor-Koordinatensystem bestimmt werden und die dritte Raum-Koordinate durch einen Schnitt einer in Richtung der dritten Raumkoordinate sich durch die Mess-Stelle erstreckende Gerade und der Ebene eines Lichtvorhangs des Lichtschnittsensors bestimmt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Mess-Werte des Lichtschnittsensors eine Senkrechte (Z_{MESS}) zur Fläche des Referenzbauteils bestimmt wird, dass eine Koordinaten-Richtung (Z_{SENS}) des Sensor-Koordinatensystems durch Ausrichten des Lichtschnittsensors zur Mess-Stelle in Übereinstimmung mit der Senkrechten (Z_{MESS}) der Fläche des Referenzbauteils gebracht wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet,
dass die Mess-Stelle sich in einer Linie oder einer Kante in der Fläche des Referenzbauteils befindet und ein ebener Lichtvorhang des Lichtschnittsensors so lange um eine Senkrechte zur Fläche des Referenzbauteils gedreht wird, bis die durch die Linie oder Kante verursachte Sprungantwort des Lichtschnittsensors verschwindet und diese Orientierung eine erste Winkelstellung bildet,
dass der Lichtschnittsensor in entgegengesetzter Richtung gedreht wird, bis die durch die Linie oder Kante verursachte Sprungantwort des Lichtschnittsensors erneut verschwindet und diese neue

Anhängende Zeichnungen

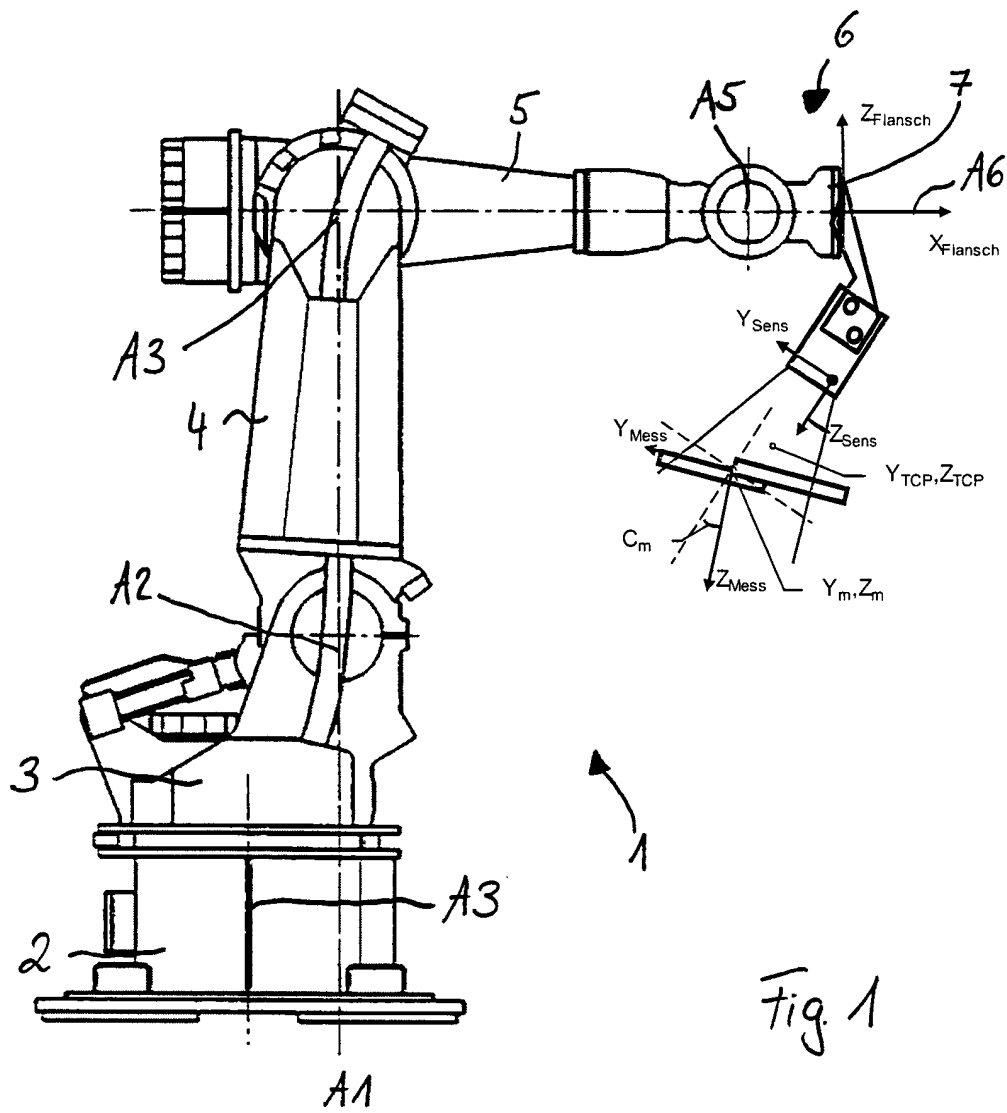


Fig. 1

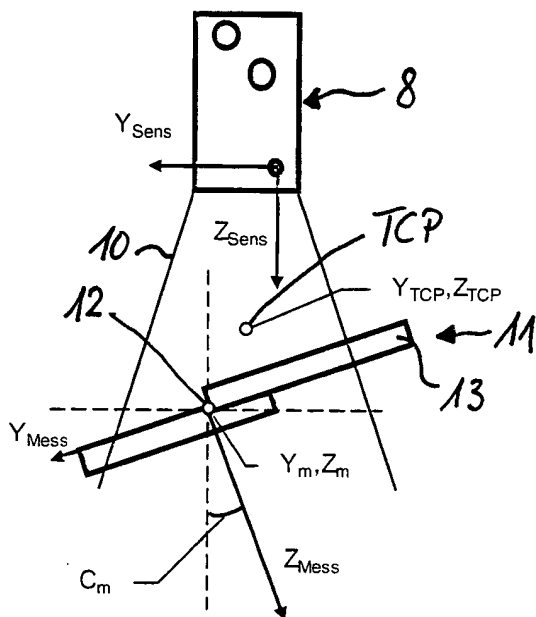


Fig. 2

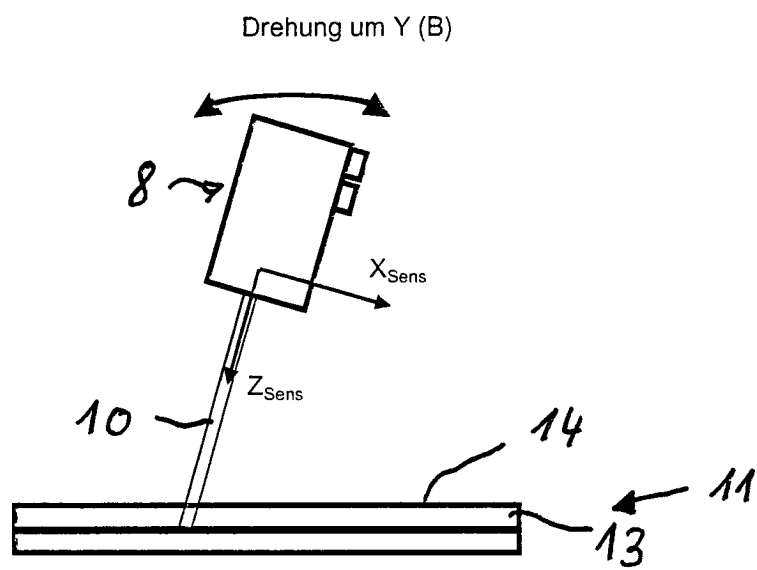


Fig. 3

Datei	Bearbeiten	Konfiguration	Anzeige	Inbetriebn.	Befehle	Technologie	Hilfe																				
10	PTP (X -1289.66, Y -2155.42, Z -667.52, A 173.78, B -0.15, C 2.51, S 2, T 10) C_PTP						100%																				
11																											
12																											
13																											
14																											
15																											
16																											
17																											
18																											
19																											
20							15																				
21							15																				
<h2 style="margin: 0;">Virtueller TCP</h2> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>zu weit links</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>zu weit weg</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>zu weit rechts</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p>zu nah</p> </div> </div>																											
<p>PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT</p> <p>KRC: R1 PROGRAM BASE Ln 18, Col 0</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>C.</th> <th>Zeit</th> <th>Nr.</th> <th>Abs.</th> <th>Meldung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>12:21:34</td> <td>1356</td> <td>KCP</td> <td>Starttaste erfordert</td> </tr> <tr> <td></td> <td>12:55:11</td> <td>1350</td> <td></td> <td>SAK erreicht</td> </tr> <tr> <td></td> <td>12:55:27</td> <td>1342</td> <td></td> <td>Arbeitsraumfehler</td> </tr> </tbody> </table>								C.	Zeit	Nr.	Abs.	Meldung		12:21:34	1356	KCP	Starttaste erfordert		12:55:11	1350		SAK erreicht		12:55:27	1342		Arbeitsraumfehler
C.	Zeit	Nr.	Abs.	Meldung																							
	12:21:34	1356	KCP	Starttaste erfordert																							
	12:55:11	1350		SAK erreicht																							
	12:55:27	1342		Arbeitsraumfehler																							
<p>Ändern <input type="checkbox"/> Cap <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> I <input type="checkbox"/> BASE</p> <p>IP= 18 T1 POV 100% Touch Up NAVIGATOR</p>																											

Fig. 4