(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2011 011 360 A1** 2012.08.16

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 011 360.6**
(22) Anmeldetag: **16.02.2011**
(43) Offenlegungstag: **16.08.2012**

(51) Int Cl.: ***G01B 11/25*** (2006.01)
G01B 11/03 (2006.01)
G01B 11/245 (2006.01)
G01B 11/00 (2006.01)
B25J 11/00 (2006.01)

(71) Anmelder:
Steinbichler Optotechnik GmbH, 83115, Neubeuern, DE

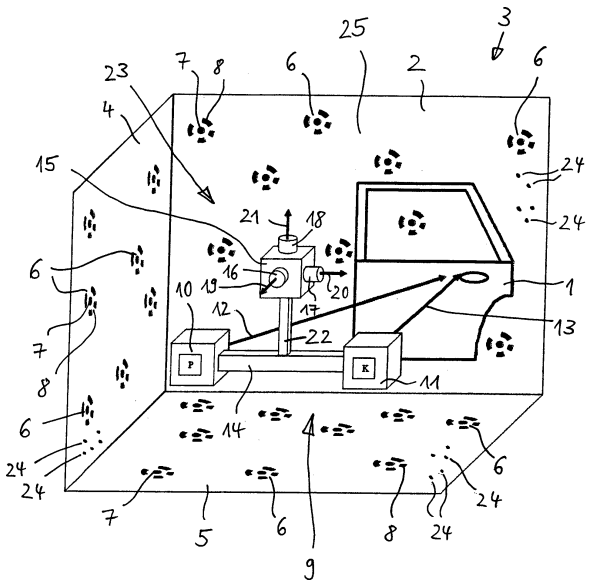
(74) Vertreter:
Rechts- und Patentanwälte Lorenz Seidler Gossel, 80538, München, DE

(72) Erfinder:
Steinbichler, Marcus, Dr., 83115, Neubeuern, DE; Mayer, Thomas, 83059, Kolbermoor, DE; Daxauer, Herbert, Walchsee, AT

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Bestimmung der 3-D-Koordinaten eines Objekts und zum Kalibrieren eines Industrieroboters**

(57) Zusammenfassung: Eine verbesserte Vorrichtung zur Bestimmung der 3D-Koordinaten eines Objekts (1) umfaßt einen Projektor (10) zum Projizieren eines Musters auf das Objekt (1), eine mit dem Projektor (10) verbundene Kamera (11) zum Aufnehmen des Objekts (1) und eine mit dem Projektor (10) und der Kamera (11) verbundene Referenzkamera (16) zum Aufnehmen einer oder mehrerer Referenzmarken (6, 24) eines Feldes (25) von Referenzmarken (einzige Figur).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bestimmung der 3-D-Koordinaten eines Objekts und ein Verfahren zur Bestimmung der 3-D-Koordinaten eines Objekts. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Kalibrieren eines Industrieroboters.

[0002] Bei einem vorbekannten Verfahren zur Bestimmung der 3D-Koordinaten eines Objekts wird das Objekt mit einem Streifenprojektionssystem aufgenommen. Das Streifenprojektionssystem umfaßt einen Projektor zum Projizieren eines Streifenmusters auf das Objekt und eine Kamera zum Aufnehmen des von dem Objekt zurückgestrahlten Streifenmusters. Die Aufnahme wird von einem Auswertesystem, das einen Rechner, insbesondere einen PC umfaßt, ausgewertet.

[0003] Da zur Bestimmung der 3D-Koordinaten des Objekts in der Regel eine einzige Aufnahme nicht ausreicht, um die Meßanforderungen zu erfüllen und/oder das Objekt vollständig zu erfassen, ist es erforderlich, das Streifenprojektionssystem im Raum an verschiedenen Aufnahmepositionen zu positionieren und die dort hergestellten Aufnahmen in ein gemeinsames, übergeordnetes Koordinatensystem, das auch als absolutes Koordinatensystem bezeichnet werden kann, zu überführen. Dieser häufig als „globale Registrierung" bezeichnete Prozeß erfordert eine hohe Genauigkeit.

[0004] Bei einem vorbekannten Verfahren dieser Art werden Aufnahmen hergestellt, die sich teilweise überlappen. Diese Aufnahmen können über eine Optimierung der Überlappungsbereiche zueinander orientiert werden. Das Verfahren ist allerdings bei größeren Objekten mit wenig Oberflächenstruktur möglicherweise nicht hinreichend genau. Auch der zusätzliche Einsatz von Meßmarken, die in den Überlappungsbereichen auf dem Objekt aufgebracht werden und die Verknüpfungspunkte bilden, bringt oftmals keine ausreichende Verbesserung.

[0005] Ferner sind Verfahren bekannt, bei denen Meßmarken verwendet werden, die auf dem Objekt und/oder auf einer oder mehreren das Objekt umgebenden Kulissen angebracht werden. Die Meßmarken werden zunächst eingemessen. Dies erfolgt vorzugsweise nach dem Verfahren der Photogrammetrie. Mit Hilfe der Meßmarken, die durch ein Streifenprojektionssystem erfaßt werden, können die verschiedenen Aufnahmen des Objekts auf die eingemessenen Punkte transformiert werden, so daß eine globale Registrierung möglich ist.

[0006] Aus EP 2 273 229 A1 ist ein Verfahren bekannt, bei dem zur Bestimmung der 3D-Koordinaten eines Objekts ein Streifenmuster von einem Projektor auf das Objekt projiziert wird. Das von dem Objekt reflektierte Streifenmuster wird von einer Kamera aufgenommen, die eine Optik und einen Flächensensor, insbesondere einen CCD-Sensor oder CMOS-Sensor umfaßt. Der Projektor und die Kamera bilden ein Streifenprojektionssystem. In der Nähe des Objekts sind mehrere Referenzkulissen angeordnet, die jeweils mehrere Referenzmarken aufweisen. Die Referenzkulissen werden zunächst vermessen. Anschließend werden die 3D-Koordinaten des Objekts durch das Streifenprojektionssystem bestimmt.

[0007] Auch bei der Bestimmung der 3D-Koordianten eines Objekts nach dem Verfahren der EP 2 273 229 A1 reicht es in der Regel nicht aus, nur eine einzige Aufnahme anzufertigen, da das Objekt oder der interessierende Bereich des Objekts größer ist als das Gesichtsfeld der Kamera. Dementsprechend ist es erforderlich, das aus dem Projektor und der Kamera bestehende Streifenprojektionssystem an verschiedenen Positionen zu positionieren. Die an der jeweiligen Position hergestellten Aufnahmen werden anschließend in ein gemeinsames, übergeordnetes Koordinatensystem überführt.

[0008] Das Verfahren nach der EP 2 273 229 A1 ist allerdings oftmals mit einem nicht unerheblichen Aufwand verbunden, insbesondere, wenn dieses Verfahren in einer automatisierten Meßanlage durchgeführt werden soll, die in einen Fertigungsprozeß integriert ist. In solchen Anlagen ist es vorteilhaft, einen Industrieroboter zur Positionierung des aus Projektor und Kamera bestehenden Streifenprojektionssystems zu verwenden. Die Positionsinformation des Roboters kann dann als Näherungswert für die Bestimmung der Lage und Orientierung des Streifenprojektionssystems verwendet werden. Die Genauigkeit dieser Roboter-Positionsinformation ist allerdings für die Zwecke der globalen Registrierung in der Regel nicht ausreichend.

[0009] Ein weiterer Nachteil entsteht dann, wenn mit dem Verfahren nach der EP 2 273 229 A1 die 3D-Koordinaten von Objekten verschiedener Art bestimmt werden sollen. In diesem Fall müssen für jede Objektart verschiedene, an die jeweilige Größe des Objekts angepaßte Kulissen aufgebaut und eingemessen werden.

[0010] Ferner kann es sein, daß aufgrund der Plazierung der Referenzkulissen das Objekt, dessen 3D-Koordinaten bestimmt werden sollen, nicht mehr oder nicht mehr ausreichend zugänglich ist. Durch die Referenzkulissen können die Bewegungswege des Roboters eingeschränkt werden. Ferner können durch die Referenzkulissen Teile des Objekts verdeckt werden. Auch die Beschickung des von den Referenzkulissen umgebenen Bereichs mit neu zu bestimmenden Objekten kann sich schwierig gestalten.

[0011] Aufgabe der Erfindung ist es, eine verbesserte Vorrichtung und ein verbessertes Verfahren zur Bestimmung der 3D-Koordinaten eines Objekts vorzuschlagen.

[0012] Bei einer Vorrichtung zur Bestimmung der 3-D-Koordinaten eines Objekts wird diese Aufgabe durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Die Vorrichtung umfaßt einen Projektor zum Projizieren eines Musters auf das Objekt, eine mit dem Projektor verbundene Kamera zum Aufnehmen des Objekts und eine mit dem Projektor und der Kamera verbundene Referenzkamera zum Aufnehmen einer oder mehrerer Referenzmarken eines Feldes von Referenzmarken. Das von dem Projektor projizierte Muster ist insbesondere ein Streifenmuster. Besonders geeignet ist eine Weißlicht-Streifenprojektion. Die Kamera umfaßt vorzugsweise einen Flächensensor, insbesondere einen CCD-Sensor, einen CMOS-Sensor oder sonstigen Flächensensor. Vorteilhaft ist es, wenn die Kamera eine Optik umfaßt. Die Kamera kann mit dem Projektor unmittelbar oder mittelbar verbunden sein. Sie ist derart ausgerichtet, daß sie das vom Objekt abgestrahlte Muster aufnehmen kann. Die Referenzkamera ist mit dem Projektor und der Kamera unmittelbar oder mittelbar verbunden. Ihre Lage und Orientierung ist gegenüber dem Projektor und der Kamera fixiert. Der Projektor, die Kamera und die Referenzkamera bilden ein Meßsystem zur Bestimmung der 3D-Koordinaten des Objekts.

[0013] Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0014] Nach einer vorteilhaften Weiterbildung umfaßt die Vorrichtung eine oder mehrere weitere Referenzkameras. Die eine oder mehreren weiteren Referenzkameras sind in ihrer Lage und Orientierung gegenüber dem Projektor, der Kamera und der ersten Referenzkamera fixiert. Sie können unmittelbar oder mittelbar mit dem Projektor und/oder der Kamera und/oder der Referenzkamera verbunden sein. Vorteilhaft ist es, wenn die Richtung der optischen Achse der weiteren Referenzkamera oder der weiteren Referenzkameras von der Richtung der optischen Achse der Kamera und/oder der (ersten) Referenzkamera und/oder der weiteren Referenzkameras verschieden ist. Im allgemeinen ist die erzielbare Genauigkeit um so größer, je mehr Referenzkameras verwendet werden und/oder je unterschiedlicher deren optische Achsen und damit Blickrichtungen verteilt sind. In bestimmten Fällen kann es vorteilhaft sein, wenn die optischen Achsen der Referenzkameras senkrecht zueinander stehen. Beispielsweise können drei Referenzkameras vorhanden sein, deren optische Achsen senkrecht zueinander stehen. Es sind allerdings auch andere Ausgestaltungen möglich.

[0015] Die Referenzkameras können an einem Kameramodul vorgesehen sein. Sie können an dem Kameramodul lösbar oder unlösbar befestigt sein.

[0016] Nach einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung umfaßt die Vorrichtung eine Auswerteeinrichtung zum Ermitteln der Lage und/oder der Orientierung des Projektors und/oder der Kamera und/oder der einen oder mehreren Referenzkameras. Die Auswerteeinrichtung kann von einem Computer, insbesondere einem PC gebildet werden. Die Ermittlung der Lage oder Lagen und/oder der Orientierung oder Orientierungen kann im Wege der Bündelblockausgleichung erfolgen.

[0017] Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zur Bestimmung der 3D-Koordinaten eines Objekts, die eine der obengenannten Vorrichtungen zur Bestimmung der 3D-Koordinaten eines Objekts und einen Industrieroboter zum Positionieren dieser Vorrichtung umfaßt.

[0018] Vorteilhaft ist es, wenn die Vorrichtung ein Feld von Referenzmarken umfaßt. Die Referenzmarken können an einer oder mehreren Wänden angebracht sein. Es ist allerdings auch möglich, die Referenzmarken auf andere Weise anzubringen. Die Wände, an denen die Referenzmarken angebracht sind, können eine Meßzelle für das Objekt bilden. Die Meßzelle kann geschlossen oder offen sein.

[0019] Bei einem Verfahren zur Bestimmung der 3D-Koordinaten eines Objekts wird die Aufgabe der Erfindung dadurch gelöst, daß das Objekt vor einem Feld von Referenzmarken positioniert wird, das Objekt vollständig oder teilweise mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung aufgenommen wird und eine oder mehrere Referenzmarken eines Feldes von Referenzmarken von einer oder mehreren Referenzkameras aufgenommen wird.

[0020] Vorteilhaft ist es, wenn weitere Teile des Objekts aufgenommen werden. Vorzugsweise überlappen sich einige oder alle Aufnahmen der Teile des Objekts.

[0021] Die Erfindung betrifft schließlich ein Verfahren zum Vermessen eines Feldes von Referenzmarken, bei dem eine erfindungsgemäße Vorrichtung von einem Industrieroboter in mehreren Positionen positioniert wird, eine oder mehrere oder alle Referenzmarken von der Vorrichtung in diesen Positionen aufgenommen werden und die Positionen der Referenzmarken aus diesen Aufnahmen bestimmt werden. Hierdurch ist es möglich, die Positionen der Referenzmarken nach Lage und Orientierung zu bestimmen.

[0022] Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Kalibrieren eines Industrieroboters. Dabei han-

delt es sich vorzugsweise um einen mehrachsigen Industrieroboter.

[0023] Aufgabe der Erfindung ist es, ein verbessertes Verfahren zum Kalibrieren eines Industrieroboters vorzuschlagen.

[0024] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die Merkmale des Anspruchs 10 gelöst. Nach dem Verfahren wird eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Bestimmung der 3D-Koordinaten eines Objekts von dem Industrieroboter in mehreren vorgegebenen Positionen positioniert. Diese Positionen können nach ihrer Lage und/oder Orientierung vorgegeben sein. In diesen Positionen werden eine oder mehrere oder alle Referenzmarken eines Feldes von Referenzmarken von der Vorrichtung aufgenommen. Aus diesen Aufnahmen werden die Positionen des Industrieroboters bestimmt. Die Positionen des Industrieroboters können nach ihrer Lage und/oder Orientierung bestimmt werden. Bei den vorgegebenen und bestimmten Positionen des Industrieroboters kann es sich um die Positionen des äußersten Arms des Industrieroboters handeln. Die Positionen des Industrieroboters, die aus den Aufnahmen bestimmt worden sind, werden mit den vorgegebenen Positionen des Industrieroboters verglichen. Dieser Vergleich liefert ein Maß für die Abweichungen der tatsächlichen Positionen des Industrieroboters von den vorgegebenen Positionen. Dieses Maß kann bei zukünftig vorzugebenden Positionen des Industrieroboters als Korrekturwert berücksichtigt werden. Es ist auch möglich, aus mehreren Korrekturwerten für verschiedene vorgegebene Positionen eine Korrekturmatrix zu bilden, die auch für dazwischen liegende Positionen Korrekturwerte liefert, beispielsweise aufgrund einer Interpolation. Die Interpolation kann mit verschiedenen geeigneten Funktionen durchgeführt werden.

[0025] Die Aufgabe der Erfindung wird bei einem Verfahren zum Kalibrieren eines Industrieroboters nach einem weiteren Vorschlag durch die Merkmale des Anspruchs 11 gelöst. Bei diesem Verfahren wird eine Vorrichtung zur Bestimmung der 3D-Koordinaten eines Objekts mit einem Projektor zum Projizieren eines Musters auf das Objekt und einer mit dem Projektor verbundenen Kamera zum Aufnehmen des Objekts von einem Industrieroboter in mehreren vorgegebenen Positionen positioniert. In diesen Positionen wird ein Referenzkörper von der Vorrichtung aufgenommen. Bei dem Referenzkörper kann es sich insbesondere um eine Kugel handeln. Aus den Aufnahmen werden die Positionen des Industrieroboters bestimmt. Diese Positionen werden mit den vorgegebenen Positionen des Industrieroboters verglichen. Es ist möglich, eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Bestimmung der 3D-Koordinaten eines Objekts zu verwenden. In diesem Fall werden die eine oder die mehreren Referenzkameras nicht benötigt. Im übrigen wird auf die Ausführungen zum oben beschriebenen ersten Verfahren zum Kalibrieren eines Industrieroboters verwiesen.

[0026] Eine weitere Lösung der Aufgabe, ein verbessertes Verfahren zur Bestimmung der 3D-Koordinaten eines Objekts vorzuschlagen, ist im Anspruch 12 angegeben. Bei diesem Verfahren zum Bestimmen der 3D-Koordinaten eines Objekts wird eine Vorrichtung zur Bestimmung der 3D-Koordinaten eines Objekts mit einem Projektor zum Projizieren eines Musters auf das Objekt und einer mit dem Projektor verbundenen Kamera zum Aufnehmen des Objekts von einem Industrieroboter, der nach einem erfindungsgemäßen Verfahren kalibriert worden ist, positioniert. Das Objekt wird in dieser Position von der Vorrichtung zur Bestimmung der 3D-Koordinaten eines Objekts aufgenommen.

[0027] Dieses Verfahren ermöglicht es, ausschließlich die Position des Roboters zur globalen Registrierung der jeweiligen Aufnahme zu verwenden. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn es nicht möglich ist, daß die eine oder die mehreren Referenzkameras eine ausreichende Anzahl von Referenzmarken aufnehmen können. Dies kann insbesondere dann der Fall sein, wenn die 3D-Koordinaten im Innenraum eines Objekts, beispielsweise einer Karosserie, bestimmt werden sollen.

[0028] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachstehend anhand der beigefügten Zeichnung im einzelnen erläutert. In der Zeichnung zeigt die

[0029] einzige Figur eine Vorrichtung zur Bestimmung der 3D-Koordinaten eines Objekts in einer perspektivischen Darstellung.

[0030] Der in der Zeichnung gezeigte Meßaufbau dient dazu, die 3D-Koordinaten der Vorderseite eines Objekts **1**, nämlich einer Kraftfahrzeugtür (Rohbautür) zu bestimmen. Das Objekt **1** ist vor einer hinteren Wand **2** einer Meßzelle **3** positioniert. Die Meßzelle **3** umfaßt die hintere Wand **2**, die linke Seitenwand **4** und die Bodenwand **5**. Die Meßzelle **3** umfaßt ferner eine rechte Seitenwand, eine Rückwand und eine Deckenwand (in der Zeichnung nicht dargestellt).

[0031] An den Wänden der Meßzelle **3** sind Referenzmarken **6** angeordnet, die in sich kodiert sind, und Referenzmarken **24**, die nicht in sich kodiert sind, die aber derart räumlich zueinander angeordnet sind, daß diese räumliche Anordnung eine Kodierung beinhaltet. Die Referenzmarken **6**, **24** bilden ein Feld **25** von Referenzmarken. Jede in sich kodierte Referenzmarke **6** umfaßt ein unveränderliches, nicht kodierendes Element und ein veränderliches, kodierendes Element. Das nicht kodierende Element wird von einem Kreis **7** gebildet, der sich in der Mitte der kodierten Referenzmarke **6** befindet. Das kodierende Ele-

ment wird von Segmentabschnitten **8** gebildet. Entgegen der Darstellung in der Zeichnung ist das kodierende Element **8** bei jeder kodierten Referenzmarke **6** verschieden. Durch die verschiedenen kodierenden Elemente **8** ist eine eindeutige Identifikation jeder kodierten Referenzmarke **6** möglich.

[0032] In der Meßzelle **3** ist ein Streifenprojektionssystem **9** angeordnet. Das Steifenprojektionssystem **9** umfaßt einen Projektor **10** und eine Kamera **11**. Von dem Projektor **10** wird ein Muster, insbesondere ein Streifenmuster, auf das Objekt **1** projiziert, wie durch den Pfeil **12** angedeutet. Die Kamera **11** nimmt das von dem Objekt **1** entsprechend seiner räumlichen Oberfläche zurückgestrahlte Streifenmuster auf, wie durch den Pfeil **13** angedeutet. Der Projektor **10** und die Kamera **11** sind durch ein Gestänge **14** miteinander verbunden. Sie sind in ihrer Lage und Orientierung zueinander fixiert.

[0033] Mit dem Streifenprojektionssystem **9** ist ein Kameramodul **15** verbunden. Das Kameramodul **15** umfaßt eine erste Referenzkamera **16**, eine zweite Referenzkamera **17** und eine dritte Referenzkamera **18**. Die optische Achse **19** und damit die Blickrichtung der ersten Referenzkamera **16** ist auf die Rückwand der Meßzelle **3** gerichtet, die optische Achse **20** und damit die Blickrichtung der zweiten Referenzkamera **17** ist auf die rechte Seitenwand der Meßzelle **3** gerichtet und die optische Achse **21** und damit die Blickrichtung der dritten Referenzkamera **18** ist auf die Deckenwand der Meßzelle **3** gerichtet. Die rechte Seitenwand, die Rückwand und die Deckenwand der Meßzelle sind ebenfalls mit Referenzmarken **6**, **24** versehen.

[0034] Das Kameramodul **15** ist in seiner Lage und Orientierung gegenüber dem Streifenprojektionssystem **9** fixiert. Es ist über ein Gestänge **22** mit dem Gestänge **14** des Streifenprojektionssystems **9** verbunden. Das Streifenprojektionssystem **9** und das Kameramodul **15** bilden ein Meßsystem **23**.

[0035] In einem ersten Meßdurchlauf werden die Positionen der Referenzmarken **6**, **24** der Meßzelle **3** erfaßt und gespeichert. In diesem Meßdurchlauf befindet sich vorzugsweise kein Objekt **1** in der Meßzelle **3**. Die Bestimmung der Positionen der Referenzmarken **6**, **24** erfolgt vorzugsweise im Wege der Photogrammetrie. Dabei werden Aufnahmen der Referenzmarken **6**, **24** aus verschiedenen Kamerapositionen hergestellt. Dies kann durch die Kamera **11** erfolgen. Es ist allerdings auch möglich, die Photogrammetrie der Referenzmarken **6**, **24** unabhängig von dem Streifenprojektionssystem **9** durchzuführen. In beiden Fällen ist es möglich, aber nicht zwingend, die Kamera durch einen Industrieroboter zu positionieren.

[0036] Nach der Bestimmung der Positionen der Referenzmarken **6**, **24** können die 3D-Koordinaten von Objekten bestimmt werden. Hierzu wird das Objekt **1** wie aus der Zeichnung ersichtlich in der Meßzelle **3** positioniert. Der Projektor **10** projiziert ein Streifenmuster auf die Oberfläche des Objekts **1**, die Kamera **11** nimmt das reflektierte Streifenmuster auf und eine oder mehrere oder alle Referenzkameras **16**, **17**, **18** nehmen Referenzmarken **6**, **24** des Feldes **25** von Referenzmarken auf.

[0037] Bei der Verwendung von nur einer Referenzkamera ist es im allgemeinen erforderlich, bei einer Aufnahme mindestens drei kodierende Referenzmarken **6** zu erfassen. Bei der Verwendung von drei Referenzkameras ist es im allgemeinen erforderlich, daß jede Referenzkamera mindestens eine kodierende Referenzmarke **6** erfaßt.

[0038] In einer Auswerteinrichtung, insbesondere in einem Computer, insbesondere in einem PC (in der Zeichnung nicht dargestellt) wird aus der oder den Aufnahmen der Referenzmarken **6**, **24**, die von der oder den Referenzkameras **16**, **17**, **18** hergestellt worden sind, die Lage und Orientierung des Meßsystems **23** bestimmt. Hierdurch ist es möglich, aus dem Aufnahmen der Kamera **11** die 3D-Koordinaten des Objekts **1** zu bestimmen.

[0039] Wenn das Objekt **1** größer ist als das Gesichtsfeld der Kamera **11**, müssen von dem Objekt **1** mehrere Aufnahmen gemacht werden. Diese Aufnahmen können einander teilweise überlappen. Aufgrund der Aufnahmen der Referenzmarken **6**, **24** durch eine oder mehrere Referenzkameras **16**, **17**, **18** ist es möglich, für jede einzelne Aufnahme eines Teiles des Objekts **1** durch die Kamera **11** die 3D-Koordinaten der zugehörigen Teiloberfläche des Objekts **1** als Absolut-Koordinaten zu bestimmen.

[0040] Die Vorrichtung umfaßt ferner eine Auswerteeinrichtung zum Ermitteln der Lage und Orientierung des Meßsystems **23**, also des Projektors **10**, der Kamera **11** und der Referenzkameras **16**, **17**, **18**. Auch diese Auswerteeinrichtung kann von einem Computer, insbesondere einem PC gebildet werden (in der Zeichnung nicht dargestellt).

[0041] Das Meßsystem **23** kann von einem Industrieroboter positioniert werden (in der Zeichnung nicht dargestellt).

[0042] Durch die Erfindung werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zur globalen Registrierung eines Objekts geschaffen. Eine Meßzelle, in der ein Robotersystem operieren kann, ist mit Referenzmarken bestückt. Das Feld von Referenzmarken kann einmalig photogrammetrisch eingemessen werden. Die einzelnen Meßaufnahmen zur Bestimmung der 3D-Ko-

ordinaten des Objekts können in das Koordinatensystem der Referenzmarken überführt werden.

[0043] Eine oder mehrere, in verschiedene Raumrichtungen blickende Referenzkameras **16**, **17**, **18** werden mechanisch fest mit dem Streifenprojektionssystem **9** verbunden und mittels einer geeigneten Kalibrierung in ein gemeinsames Koordinatensystem mit diesem gebracht. Diese Kalibrierung kann dadurch erfolgen, daß das Streifenprojektionssystem **9** und das Kameramodul **15** gleichzeitig, vorzugsweise mehrfach, jeweils eine Teilmenge der Referenzmarken messen. In einer photogrammetrischen Bündelblockausgleichung können dann gemeinsam die äußeren bzw. relativen Orientierungen der Referenzkameras **16**, **17**, **18** des Kameramoduls **15** sowie von Projektor **10** und Kamera **11** des Streifenprojektionssystems **9** ermittelt werden.

[0044] Bei der Vermessung des Objekts **1**, also der Bestimmung der 3D-Koordinaten des Objekts **1**, erfolgt die exakte Bestimmung der Position und Orientierung des Streifenprojektionssystems **9** über das Kameramodul **15** und die Referenzmarken **6**, **24**, vorzugsweise im Verfahren einer photogrammetrischen Bündelblockausgleichung. Mit Hilfe dieser Informationen können die einzelnen Meßaufnahmen des Objekts **1** in ein gemeinsames Koordinatensystem überführt werden.

[0045] Des weiteren ist eine Nachvermessung des Feldes **25** von Referenzmarken innerhalb der Meßzelle **3** möglich. Dies kann mit Hilfe eines Roboterprogramms und des Meßsystems **23** erfolgen. Dabei gehen die aus der Erstvermessung bekannten. Koordinaten der Referenzmarken **6**, **24** als Näherungswerte in die Bündelblockausgleichung ein.

[0046] Ferner ist es möglich, das Meßsystem **23** zum Kalibrieren eines Industrieroboters einzusetzen. Wenn die Positionen der Referenzmarken **6**, **24** erfaßt und gespeichert sind, ist die Position des Industrieroboters mit Hilfe des Feldes **25** von Referenzmarken und mit Hilfe des Meßsystems **23** sehr exakt erfaßbar. Es ist allerdings auch möglich, den Industrieroboter mit Hilfe einer Anmessung eines Referenzkörpers, beispielsweise einer Kugel, aus verschiedenen Positionen des Industrieroboters anzumessen.

[0047] In beiden Fällen ergeben sich die erforderlichen Kalibrierinformationen des Roboters aus einem Vergleich der Transformationen der Referenzmessungen mit den manuell vorgegebenen Positionen im Roboterkoordinatensystem.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- EP 2273229 A1 [**0006**, **0007**, **0008**, **0009**]

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Bestimmung der 3D-Koordinaten eines Objekts (**1**) mit einem Projektor (**10**) zum Projizieren eines Musters auf das Objekt (**1**), einer mit dem Projektor (**10**) verbundenen Kamera (**11**) zum Aufnehmen des Objekts (**1**) und einer mit dem Projektor (**10**) und der Kamera (**11**) verbundenen Referenzkamera (**16**) zum Aufnehmen einer oder mehrerer Referenzmarken (**6**, **24**) eines Feldes (**25**) von Referenzmarken.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine oder mehrere weitere Referenzkameras (**17**, **18**).

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzkameras (**16**, **17**, **18**) an einem Kameramodul (**15**) vorgesehen sind.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Auswerteeinrichtung zum Ermitteln der Lage und/oder der Orientierung des Projektors (**10**) und/oder der Kamera (**11**) und/oder der einen oder mehreren Referenzkameras (**16**, **17**, **18**).

5. Vorrichtung zur Bestimmung der 3D-Koordinaten eines Objekts, umfassend eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4 und einen Industrieroboter zum Positionieren dieser Vorrichtung.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch ein Feld (**25**) von Referenzmarken.

7. Verfahren zur Bestimmung der 3D-Koordinaten eines Objekts (**1**), dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt (**1**) vor einem Feld von Referenzmarken (**6**, **24**) positioniert wird, das Objekt (**1**) vollständig oder teilweise mit einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5 aufgenommen wird und eine oder mehrere Referenzmarken (**6**, **24**) eines Feldes (**25**) von Referenzmarken von einer oder mehreren Referenzkameras (**16**, **17**, **18**) aufgenommen werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß weitere Teile des Objekts (**1**) mit einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5 aufgenommen werden.

9. Verfahren zum Vermessen eines Feldes von Referenzmarken (**6**, **24**), dadurch gekennzeichnet, daß eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4 von einem Industrieroboter in mehreren Positionen positioniert wird, daß eine oder mehrere oder alle Referenzmarken (**6**, **24**) von der Vorrichtung in diesen Positionen aufgenommen werden und daß die Positionen der Referenzmarken (**6**, **24**) aus diesen Aufnahmen bestimmt werden.

10. Verfahren zum Kalibrieren eines Industrieroboters, dadurch gekennzeichnet, daß eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4 von dem Industrieroboter in mehreren vorgegebenen Positionen positioniert wird, eine oder mehrere oder alle Referenzmarken (**6**, **24**) eines Feldes (**25**) von Referenzmarken vor der Vorrichtung in diesen Positionen aufgenommen werden und die Positionen des Industrieroboters aus diesen Aufnahmen bestimmt und mit den vorgegebenen Positionen verglichen werden.

11. Verfahren zum Kalibrieren eines Industrieroboters, dadurch gekennzeichnet, daß eine Vorrichtung zur Bestimmung der 3D-Koordinaten eines Objekts (**1**) mit einem Projektor (**10**) zum Projizieren eines Musters auf das Objekt und einer mit dem Projektor (**10**) verbundenen Kamera (**11**) zum Aufnehmen des Objekts (**1**) von dem Industrieroboter in mehreren vorgegebenen Positionen positioniert wird, ein Referenzkörper von der Vorrichtung in diesen Positionen aufgenommen wird und die Positionen des Industrieroboters aus diesen Aufnahmen bestimmt und mit den vorgegebenen Positionen verglichen werden.

12. Verfahren zum Bestimmen der 3D-Koordinaten eines Objekts, dadurch gekennzeichnet, daß eine Vorrichtung zur Bestimmung der 3D-Koordinaten eines Objekts (**1**) mit einem Projektor (**10**) zum Projizieren eines Musters auf das Objekt (**1**) und einer mit dem Projektor verbundenen Kamera (**11**) zum Aufnehmen des Objekts (**1**) von einem Industrieroboter, der nach einem Verfahren der Ansprüche 10 oder 11 kalibriert worden ist positioniert wird und das Objekt von der Vorrichtung aufgenommen wird.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

