

# Kalibrierung kamerageführter Industrieroboter

Schnelles und kostengünstiges Verfahren für hohe Genauigkeit bei kamerageführten Robotern

Der Einsatz von Industrierobotern ist heute Standard in der Produktion. Besonders flexibel sind Roboter, die mit Kameras (2D-Kameras oder 3D-Tiefenkameras) ausgestattet sind. Auf Basis der Kamerabilder und spezieller Bildverarbeitungssysteme können Objekte erkannt und deren Lage im Raum bestimmt werden, um sie anschließend sicher zu greifen oder zu verarbeiten. Industrieroboter verlieren über die Zeit jedoch an Genauigkeit, weil mechanische Verschleißteile die ursprüngliche Kalibrierung des Herstellers überholen. Bei Anwendungen, die eine hohe Genauigkeit erfordern, ist eine regelmäßige Roboterkalibrierung daher essenziell. Durch die Kalibrierung wird die Robotergeometrie vollständig bestimmt und das kinematische Modell anhand der ermittelten Parameter korrigiert. Ein neues Kalibrierungsverfahren, entwickelt vom KIT und der MVtec Software GmbH, nutzt die am Roboter bereits zur Objekterkennung oder Lagebestimmung vorhandene Kamera. Die Kalibrierung läuft vollautomatisch, kommt ohne teure Spezialhardware aus und lässt sich inline (d.h. ohne Ausbau des Roboters) durchführen.

## Kamerageführte Industrieroboter

In einer Ausführungsvariante von Industrierobotern ist die Kamera am Ende des Roboterarms, dem End-Effektor, montiert und liefert von dort aus Bilder des umliegenden Arbeitsraumes. Mithilfe von

Bildverarbeitungsverfahren können so Objekte in den Kamerabildern erkannt und deren Lage bestimmt werden. Ist die Lage der Kamera relativ zum eingesetzten Robotertool (z.B. Greifer) bekannt, kann folglich die Objektlage relativ zum Roboter berechnet werden. Dadurch kann der Roboter das Objekt zielsicher greifen oder verarbeiten. Im Gegensatz zu Robotern, die „blind“ einer vorgegebenen Bewegung auf Basis einer festen Programmierung folgen, sind kamerageführte Roboter deutlich flexibler. Sie können auf geänderte Objektlagen und neue Objekte reagieren – ein entscheidender Vorteil bei Anwendungen im Bereich Industrie 4.0.

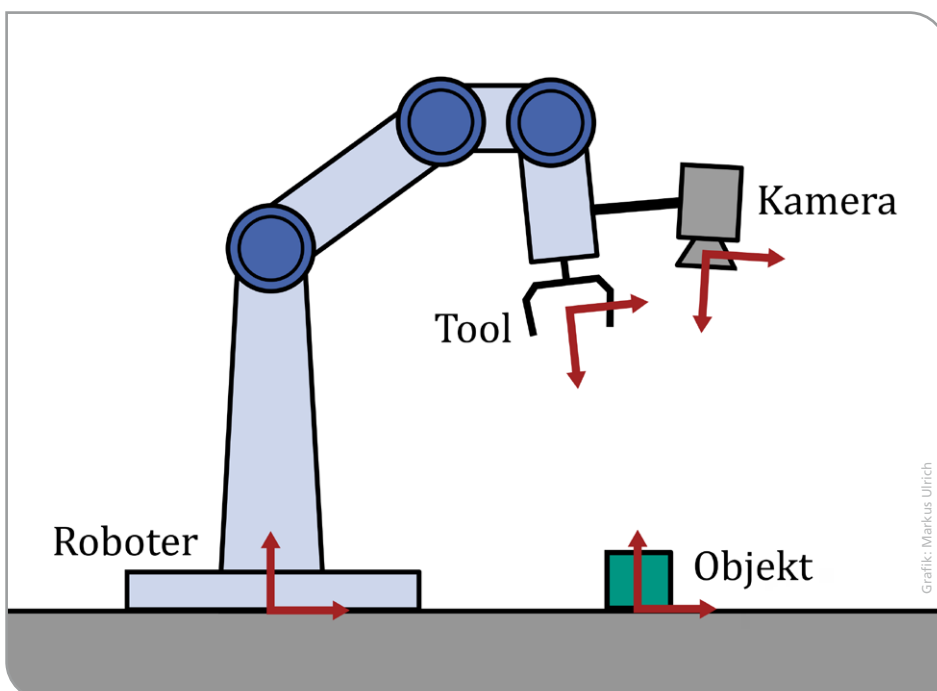
## Bedeutung der Kalibrierung

Überall dort, wo Bauteile im Submillimeterbereich positioniert, montiert oder inspiziert werden müssen, spielt die exakte Kenntnis der Robotergeometrie eine zentrale Rolle. Durch Verschleiß des Roboters oder Veränderung der Umgebungsbedingungen kann sich die Robotergeometrie ändern. Mithilfe der Roboterkalibrierung wird die Geometrie (d.h. die kinematischen Parameter) des Roboters bestimmt und das kinematische Modell entsprechend korrigiert. Die Genauigkeit, mit der ein Roboter eine Aufgabe ausführen kann, hängt deshalb wesentlich von der Güte seiner Kalibrierung ab. Eine regelmäßige, exakte Kalibrierung ist besonders bei kamerageführten Robotern essenziell, da es bei diesen neben

der Präzision (Wiederholbarkeit) auch auf Genauigkeit (Annäherung des gemessenen an den tatsächlichen Wert) ankommt.

## Grenzen bestehender Verfahren

In der industriellen Praxis wird Roboterkalibrierung meist durch herstellende Unternehmen oder externe Dienstleistungsfirmen durchgeführt. Viele etablierte Ansätze zur Roboterkalibrierung benötigen teure Spezialhardware (z. B. Lasertracker) und sind aufgrund vieler manueller Arbeitsschritte zeitaufwändig. Häufig muss der Roboter aus der Produktion genommen und extern kalibriert werden. Dadurch entstehen erhebliche Ausfallzeiten und Kosten. Zudem sind diese Verfahren oft proprietär und kaum bedingungslos auf andere Roboter übertragbar.



Prinzip eines kamerageführten Industrieroboters

## Neuentwickeltes Verfahren: Bildverarbeitung als Schlüssel

Das neue Verfahren ersetzt Spezialhardware durch das Kamerasystem, das bei allen kamerageführten Robotern ohnehin vorhanden ist. Mit diesem Kamerasystem nimmt der Roboter aus mehreren Positionen einen definierten Kalibrierkörper (z.B. Platte mit Punktmuster) auf. Aus diesen Bilddaten lassen sich mithilfe der Algorithmen des Bildverarbeitungssystems die zugrunde liegenden geometrischen Parameter des Roboters – etwa Längen der Armsegmente und Winkelbeziehungen – hochgenau bestimmen. Die Kalibrierung optimiert die kinematischen Parameter durch Minimierung der geometrischen Distanz zwischen den von der Kamera gemessenen Merkmalen und den bekannten Merkmalen des Kalibrierkörpers. Das Ergebnis ist eine deutliche Verbesserung der Genauigkeit des Roboters.



Roboterkalibrierung: Bildaufnahme des Kalibrierkörpers.

## Vorteile für die industrielle Praxis

Die Kalibrierung läuft rein softwarebasiert und benötigt weder teures Equipment noch spezielles Fachwissen. Ein Kalibriermuster im Arbeitsbereich genügt. Innerhalb weniger Minuten ist der Prozess abgeschlossen, ohne dass der Produktionsfluss wesentlich beeinflusst wird. Damit lassen sich Verschleiß oder geometrische Veränderungen frühzeitig erkennen und die Genauigkeit bleibt langfristig stabil. Unternehmen haben die Möglichkeit zur vollautomatischen Wiederholung der Kalibrierung – etwa in regelmäßigen Intervallen oder anlassbezogen – ohne dass zusätzliche Serviceaufträge nötig wären. Der Ansatz erlaubt zudem eine simultane Kalibrierung des Gesamtsystems: Die relative Lage der Kamera zum End-Effektor (Hand-Auge-Kalibrierung) sowie die Kameraparameter können ebenfalls mitkalibriert werden. Die einfache und schnelle Kalibrierlösung ist auf unterschiedliche Robotermodelle übertragbar. Gleichzeitig liefert die Kalibrierung Zuverlässigkeitsaussagen zu den Ergebnissen, sodass der Erfolg der Kalibrierung beurteilt werden kann.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (IPF)  
Machine Vision Metrology (MAV)

Prof. Dr.-Ing. Markus Ulrich  
Englerstraße 7, Geb. 20.40  
76131 Karlsruhe  
Tel.: +49 721 608-42315  
E-Mail: markus.ulrich@kit.edu  
Web: www.ipf.kit.edu



MVTec Software GmbH

Arnulfstraße 205  
80634 München  
Tel.: +49 89 457 695 0  
E-Mail: info@mvtec.com  
Web: www.mvtec.com



Karlsruher Institut für Technologie (KIT) · Präsident Professor Dr. Jan S. Hesthaven · Kaiserstraße 12 · 76131 Karlsruhe