

Griff in die (Trick-)Kiste: Roboter kalibriert Kamera

3D-Bildverarbeitungssysteme steuern Roboter im Automobil-Rohbau



Werden einem Roboter die zu handhabenden Teile nicht in einer vorab bekannten oder vorab berechenbaren Lage präsentiert, so muss die aktuelle Teilelage mit einer geeigneten Sensorik erfasst werden. Bildverarbeitungssysteme sind die richtige Wahl in allen Fällen, wo einfache Anwesenheits- oder Abstandssensoren nicht ausreichen oder wo aufgrund der Variantenvielfalt Flexibilität gefordert ist. Das Spektrum der Aufgaben reicht dabei von der einfachen Positionserkennung im Zweidimensionalen bis zum Griff in die Kiste mit all seinen verschiedenen Schwierigkeitsstufen.

Über erfolgreiche Lösungsansätze für den Griff in die Kiste wird schon seit einem Viertel-Jahrhundert berichtet. Eine alte Idee besteht darin, die Teile blind oder aufgrund nur sehr grober Hinweise aus einer Bildanalyse mittels Magnetgreifer [1] oder Sauggreifer [2] zu fassen, mechanisch zu isolieren und dann im isolierten Zustand mittels Bildverarbeitung genauer zu lokalisieren. Heute teilweise so gehandhabt, ist die Lösung jedoch nur in wenigen Sonderfällen realisierbar. Als Griff in die Kiste sollen im Folgenden Lösungen angesprochen werden, bei denen das 3D-Lokalisieren direkt in der Kiste stattfindet – wie es für die meisten Teile erforderlich ist. Diverse ältere Ansätze zum modellbasierten Erkennen berührender und überlappender Teile [3] führten schon früh in diese Forschungsrichtung, doch blieb der breite Erfolg bisher aus, und so manche Million wurde – kritisch besehen – in den Sand gesetzt.

Vom Modewort zum Unwort – und wieder zurück

So ist es nicht verwunderlich, wenn „Griff in die Kiste“, für eine kurze Zeit in Förderanträgen als Schlüsselwort zur Mittelgenehmigung geeignet war („anerkannt schwierig“), und dann den Weg nahm zum Unwort („generell unlösbar“) – und wieder zurück. Vision

Tools geht unbeeinflusst von solchen Modeströmungen den pragmatischen Ansatz der zielgerichteten, schrittweisen Lösung zunehmend komplizierter, realer Aufgabenstellungen aus der industriellen Praxis.

Die verschiedenen Bildverarbeitungsansätze dazu lassen sich wie folgt gliedern:

- Teileerkennung aufgrund von Höhenbildern. Abstandsbilder sind – so man sie zuverlässig gewinnen kann – grundsätzlich einfacher auszuwerten als Grauwert- oder Farbbilder. Je nach technischen Randbedingungen (Umfeld, Werkstückoberfläche) verwendet man Time-of-Flight-Systeme, Lasertriangulation oder die verschiedenen Ansätze mit Streifenprojektion, z. B. Quotientenbild-Stereo (INSPECT Nr. 04/2006, S. 13-15).
- Merkmalsbasierte Teileerkennung in Grauwert- oder Farbbildern. Als Merkmale werden typischerweise verwendet: Löcher, Ecken oder Kanten, aber auch spezielle Formen.

Die verschiedenen Komplexitätsstufen zur 3D-Lageerkennung sind selbsterklärend aus der Abbildung 1 zu entnehmen.

Im folgenden werden zwei industriell realisierte Beispiele geschildert; sie sind merkmalsbasiert und sind unterschiedlichen Komplexitätsstufen zugeordnet: Beispiel 1 ist die Teileentnahme aus

Sonderbehältern (Globale Lageerkennung; Stufe a in Abb. 1), Beispiel 2 ist die konsequente Weiterentwicklung auf Basis der dort verwendeten praxisbewährten Konzepte. (Griff in die Kiste bei großen, relativ flachen Teilen, Stufe d in Abb.1).

3D-korrigierte Entnahme aus Sonderbehältern

Vom Presswerk kommende Karosserieteile werden zu jeweils zehn Stück in Spezialbehältern bereitgestellt. Der Handhabungsroboter bildet das Zentrum im Bearbeitungsdreieck Spezialbehälter, Klebe- und Schweißstation. Er fasst die Teile mit mehreren Spanneinheiten, nimmt sie aus dem Container und schwenkt sie zur stationären Klebestation. Nach dem Aufbringen der Klebraupen legt er das Teil in einer Schweißvorrichtung für die Folgebearbeitung ab. Da der Arbeitsgang Kleben sehr eng toleriert ist, wird verständlich, welche hohe Wertigkeit der exakten Teilaufnahme als Voraussetzung für die Führungsbewegung mit sechs Freiheitsgraden an der Klebestation zukommt.

Trotz Mehrfachabstützung der labilen Blechteile lassen sich transportbedingte Lageveränderungen nicht vermeiden. Dies führte immer wieder zu Störungen beim Entnahmeroboter und seinen Greifeinrichtungen. Um die gewünschte Vereinfachung, Sicherheit

und Kostenreduzierung zu erreichen und die Anpassung an wechselnde Teile einschließlich Eichvorgang durch die Schichtarbeiter selbst vornehmen zu können, entschied man sich für ein von Vision Tools vorgeschlagenes Konzept, das hinsichtlich Genauigkeit, Schnelligkeit und Wirtschaftlichkeit ganz neue Möglichkeiten versprach und vor allem durch die einfache Systemkalibrierung ohne mechanische Hilfsmittel überzeugte.

Die Referenzen für die Greifer und damit die „Zielpunkte“ für die greifermontierten Kameras sind verschiedene, vom Presswerkzeug erzeugte Merkmale (i. a. Löcher; Abb. 4). Die Kamera erfasst die Referenz-Merkmale innerhalb eines Kubus mit 100 mm Seitenlänge. In diesem Suchfenster wird die geforderte Positioniergenauigkeit der Seitenteile von $\pm 0,5$ mm für den nachfolgenden Klebevorgang gewährleistet.

Bei dieser Lösung von VisionTools kommen drei oder mehr Kameras zum Einsatz, die in Vorhalteposition in Abständen von 200–400 mm aus unterschiedlichen Richtungen auf die verschiedenen Merkmale gerichtet sind. Diese müssen zweidimensional eindeutig lokalisierbar sein und z. B. runde, rechteckige oder langlochförmige Geometrien aufweisen, aber auch 90°-Ecken oder gekrümmte Kanten lassen sich nutzen. Der Roboterarm stoppt in Vorhalteposition vor dem Behälter und die Kameras nehmen die Bilder der Referenzmerkmale auf. Daraus wird die neue Position für den Greifer berechnet und an den Roboter übertragen, der dann mit den korrigierten Werten das Teil ergreift. Sollte sich aufgrund starker Verschiebungen auf dem Transportweg ein Merk-



Abb. 2: 3D-Lageerkennung bei unbekannt gestapelten Teilen (Standardsituation). Das System funktioniert auch für „wild“ abgelegte Teile.

mal außerhalb des Suchfensters befindet, bricht der Roboter den Greifvorgang nach drei Versuchen ab. Unliebsame Kontakte und Materialbeschädigungen wie bei der früheren Lösung gehören damit der Vergangenheit an.

Roboter als Kalibrierhilfe

Herkömmliche Kameralösungen benötigen Merkmale mit bekannter Geometrie am Objekt, um dessen Position im Raum

sicher bestimmen zu können. Sie erfordern zudem eine Kamerakalibrierung mit zusätzlichen, präzisen und robusten mechanischen Hilfsmitteln. Im Gegensatz dazu geschieht hier das Kalibrieren der Kameras und das Einlernen der Merkmale mit Hilfe des Roboters in einem automatischen Vorgang durch das System selbst. Auf Knopfdruck wird der Greifer mit der Bildaufnahmeeinrichtung nach einem vorgegebenen Muster automatisch bewegt, wobei nach jedem Schritt Bilder aufgenommen und ausgewertet werden. Daraus lassen sich alle für den Automatikbetrieb notwendigen Systemparameter berechnen. Ein besonderer Kalibrierkörper ist nicht erforderlich und die 3D-Geometrie der Merkmale braucht nicht programmiert zu werden.

Bereits während der Planungsphase einer Station erfolgt die Simulation der Roboterbewegungen einschließlich der Greifvorgänge mit Hilfe von CAD-Daten des Bauteils. Dank dieser Vorarbeit und der Einbindung der zuständigen Instandhaltung konnte schon das erste System schnell in Betrieb genommen und von den Mitarbeitern nach kurzer Einführung sowohl bedient als auch geeicht werden.

Das Bildverarbeitungssystem ist schnell: Es dauert weniger als 500 ms, die Bilder einzulesen, die Berechnungen durchzuführen und die Daten an den Ro-

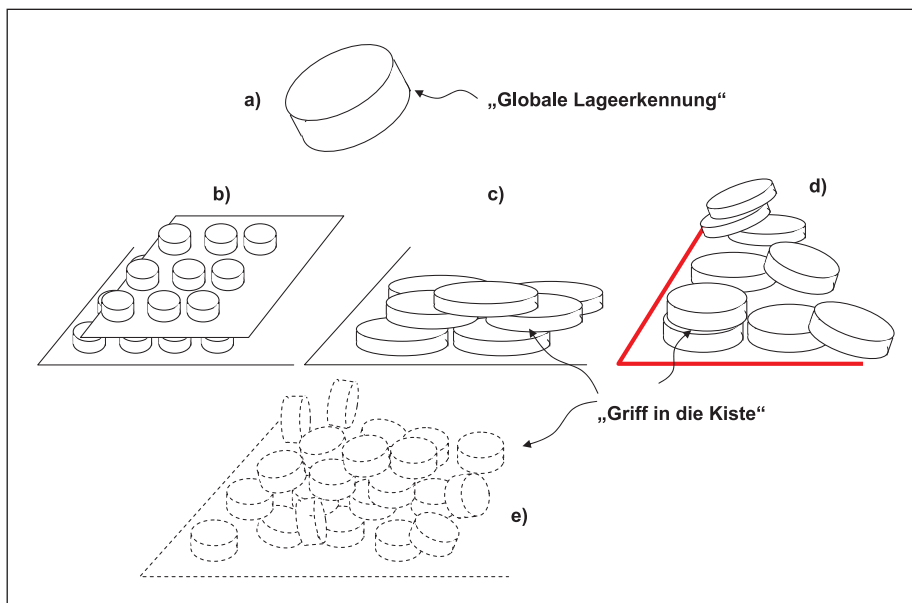


Abb. 1: Komplexitätsstufen der 3D-Lageerkennung: von der globalen Lageerkennung eines Einzelteils (a) bis zum uneingeschränkten Griff in die Kiste (e). Realisiert: d.

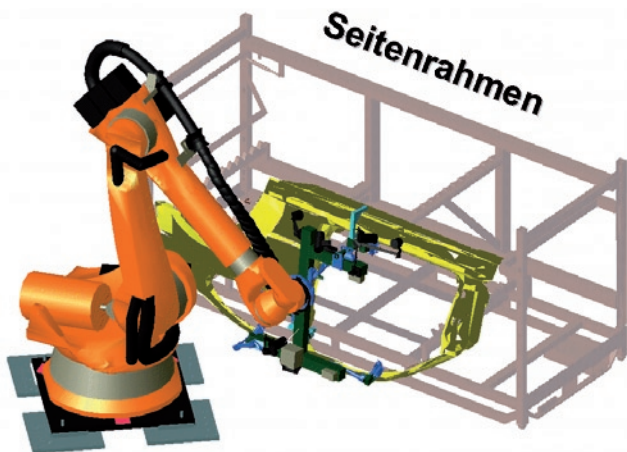


Abb. 3: Auszug aus der 3D-Bewegungssimulation: der Roboter entnimmt mit der Greifrichtung (gelb) die Seitenrahmen aus dem Container und schwenkt sie nach links zur Klebestation (nicht sichtbar). 3 Kameras auf der Greifrichtung (schwarz), zwei oben, eine unten, gewährleisten das exakte Positionieren.

boter zu übertragen. Dazu ist es sehr genau: Die gesamte Wiederholgenauigkeit beträgt $\pm 0,5$ mm. Es ist industrietauglich und, da keine Kalibrier-Hilfsmittel benötigt werden, auch äußerst bedien- und umrüstfreundlich. So ist das Kalibrieren sehr einfach, da das System selbst mit dem Menüfenster „Kamerajustage“ die notwendigen Hilfestellungen gibt. Nach der Kalibrierung werden die Merkmale automatisch eingelernt und gespeichert.

Das System ist seit Jahren in unterschiedlichen Varianten im Serienbetrieb, je nach Situation mit Kamera am Greifer oder mit fest montierten Kameras; im ersten Falle wird zum Kalibrieren und Einlernen der Greifer samt Kameras vor einem Serienteil bewegt, im zweiten Fall das Serienteil vor den Kameras. Dank der Selbstkorrektur des Roboters muss deutlich weniger in die Pflege der Spezialbehälter investiert werden. Auch der Aufwand für die Nacharbeit der Aufnahmen und Halterungen für das Transportgut konnte erheblich gesenkt werden.

Griff in die Kiste – realisiert

In diesem Beispiel werden regellos in Kisten gestapelte Rohbauteile mit dem Roboter aus einer Kiste genommen und zielgenau in eine Bearbeitungsstation gelegt. Die gestapelten Teile liegen mit zunehmender Stapelhöhe schräg (s. Abb. 2), so dass eine echte 3D-Lageerkennung mit allen 6 Freiheitsgraden erforderlich ist. Das System ist nicht auf diese Situation beschränkt, es funktioniert auch für wahllos in die Kiste geworfene Teile, wie Laborexperimente gezeigt haben.

Es handelt sich um relativ flache Blechteile mit Löchern und Sicken. Diese sind eine im Automobil-Rohbau häufig vorkommende Teileklasse und somit wirtschaftlich sehr interessant.

Die Grundkonzepte der Bildauswertung entsprechen denen des vorgenannten Beispiels. Der Roboter dient als Kalibrierhilfe; hier wird zusätzlich ein am Endeffektor des Roboters willkürlich befestigtes Kalibrierkreuz (siehe Abb. 4) verwendet. Wiederum sind keine mechanischen Hilfsmittel wie Kalibrierplatten oder dergleichen erforderlich.

Standardsoftware von Mono-3D bis Quasi-Stereo

Die Teilegeometrie braucht nicht vorab bekannt zu sein (z.B. aus CAD-Daten); das Einlernen der Teilegeometrie geschieht durch einfaches Vorzeigen. Dieser Ansatz ist nicht nur einfach in der Handhabung, er ist auch grundsätzlich günstiger, da aus CAD-Daten nicht erkennbar ist, welche Merkmale bildverarbeitungstechnisch zuverlässig sind und welche nicht. Die Bildauswertzeit beträgt etwa 1 Sekunde.

Das erste System befindet sich seit mehr als einem Jahr im Serienbetrieb. Die 3D-Erkennung ist in die Bildverarbeitungssoftware Vision Tools V60 integriert, eine Standardsoftware, die in der Automobilindustrie gute Verbreitung gefunden hat. Aufgrund des objektorientierten Ansatzes von Vision Tools V60 ist es gelungen, mit einem einheitlichen Konzept die wesentlichen merkmalsbasierten Konstellationen abzudecken: Mono-3D (1 Kamera), Stereo (2 oder mehr Kameras mit gleichen Merkmalen im Bild), Quasi-Stereo (2 Kameras mit verschiedenen Merkmalen im Bild).

Der Griff in die Kiste, Forschungsgegenstand seit Jahrzehnten, ist nun nicht nur für einen ganz speziellen Fall, sondern für eine große, praxisrelevante Teileklasse und Aufgabenstellung industriell gelöst. Themen der Greiftechnik und der Bahnplanung wurden hier nicht erörtert; dies soll an anderer Stelle nach-

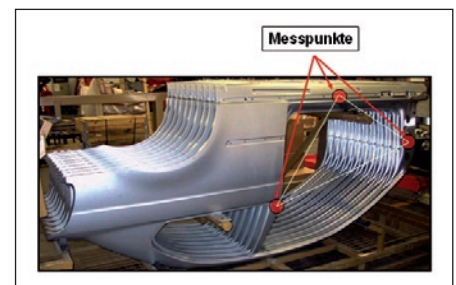


Abb. 4: Die Karosserie-Seitenteile werden in Spezialbehältern angeliefert. Nach dem Quasi-Stereo-Verfahren „schauen“ schräg zueinander orientierte Kameras auf unterschiedliche Merkmale.

geholt werden. Die geschilderten Prinzipien sind auch für Anwendungen mit bewegten Teilen und bekanntem Bewegungsvektor einsetzbar, bei nur grob bekanntem Bewegungsvektor und bei entsprechend schneller Auswertung auch für das adaptive Nachführen („Visual Servoing“).

Literatur

(frühe Veröffentlichungen zu ‚Griff-in-die-Kiste‘)

- [1] H. Geisselmann: Sensor-Roboter-System zum Vereinzeln und Ordnen von Werkstücken. FhG-Berichte 2-1980 S. 26-28.
- [2] J.R.Birk, R.B.Kelley, H.A.S. Martins: An Orienting Robot for Feeding Workpieces Stored in Bins. IEEE S.M.C. Feb. 1981 S. 151-160
- [3] W.A. Perkins: A Model-Based Vision System for Industrial Parts. IEEE Trans. Comp. Feb. 1978 S. 126-143

Bildnachweis: BMW AG, München, Forschungs- und Innovationszentrum

► Autor

Dr.-Ing. Hermann Tropf
Vision Tools Bildanalyse Systeme GmbH,
Waghäusel
Tel.: 07254/9351-0
Fax: 07254/9351-20
info@vision-tools.com
www.vision-tools.com