

Entwicklung eines flexiblen, vollautomatischen Kommissionierroboters

Development of a flexible, fully automated picking robot

*Kim Schwäke, Ilja Dick
Rainer Bruns, Stephan Ulrich*

*Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik (MTL)
Fakultät für Maschinenbau
Helmut-Schmidt-Universität
Universität der Bundeswehr, Hamburg*

Kurzfassung: Die Automatisierung logistischer Prozesse ist ein Schlüsselement in der Entwicklung des Zukunftsprojektes „Industrie 4.0“. Der Automatisierungsgrad des Kommissionierprozesses ist auf Grund seiner hohen Komplexität, die auf das Greifen unterschiedlicher Objekte in verschiedenen Einsatzumgebungen zurückzuführen ist, im Gegensatz zu anderen Unternehmensbereichen wie der Produktion noch sehr gering. Der vorliegende Beitrag befasst sich mit dem Aufdecken einer Marktlücke für einen flexiblen, vollautomatischen Kommissionierroboter und dessen ersten Entwicklungsschritten. Dabei wird sowohl auf die mechanischen Komponenten als auch auf die Bildverarbeitung und Steuerung eingegangen.

[Schlüsselwörter: Automatische Kommissionierung, Greiftechnik, elastische Greifer, Bildverarbeitung]

Abstract: The automation of logistic processes is a key element in the development of the future project "Industry 4.0". The degree of automation of the commissioning process is still very low, in contrast to other divisions such as production. This is attributable to its high complexity, which is due to the grasping of various objects in different operational environments. The present paper deals with the identification of a market gap for a flexible, fully automatic picking robot and its first development steps. The mechanical components as well as image processing and control are discussed.

[Keywords: Automatic picking, gripping technique, elastic grippers, image processing]

1 EINLEITUNG

Etwa die Hälfte aller manuellen Tätigkeiten in Warenverteilzentren entfällt auf die Kommissionierung der Waren. Kommissioniervorgänge sind hochkomplex; sie erfordern ausgeprägte kognitive Fähigkeiten und flexible Greifwerkzeuge, so dass in diesem Teilbereich der Logistik

der Einsatz von Menschen bisher noch weitgehend unverzichtbar ist. Zwar sind eine Vielzahl von Assistenzsystemen, Hilfsmitteln und ergonomisch optimierten Arbeitsflächen für die menschlichen Kommissionierer entwickelt worden, einer umfassenden Automatisierung hat sich die Kommissionierung bisher jedoch im Gegensatz zu anderen logistischen Funktionen wie dem Transport, der Lagerung und der Sortierung weitgehend entzogen. In der Forschung sind in den letzten Jahren allerdings verstärkt Anstrengungen unternommen worden, Konzepte und Systeme zur flexiblen (Voll-) Automatisierung der Kommissionierung zu entwickeln. Den Mittelpunkt dieser Betrachtungen bilden die benötigten technologischen Komponenten, wie die Bildverarbeitung zur Identifikation und Lagebestimmung der Artikel sowie die Greifsysteme.

2 STAND DER TECHNIK

Der aktuelle Automatisierungsgrad des Kommissionierprozesses ist im Vergleich zu anderen Unternehmensbereichen wie der Produktion gering. Auf Grund der sich verbessernden Beschaffungskonditionen für die technologischen Komponenten sowie die Sensortechnik und Bildverarbeitungshard- und -software und entsprechenden Algorithmen, werden eine Vielzahl unterschiedlicher Automatisierungslösungen angeboten.

2.1 AUTOMATISIERTE KOMMISSIONIERUNG

Automatische Kommissioniersysteme stellen die geförderten Artikel selbstständig ohne menschliches Eingreifen zusammen. Es existiert eine Vielzahl von Angeboten dieser Systeme. Generell können sie in Kommissionierroboter (KoRob) und –automaten untergliedert werden. Die Klasse der KoRob lässt sich nach dem Mobilitätsgrad weiterhin in stationäre und mobile KoRob einteilen. Während erstere als (De-) Palettierzellen oder Pickzellen bezeichnet werden, finden sich unter den mobilen KoRob Portalroboter, schienengeführte und autonome Roboter.

2.2 SYSTEMKOMPONENTEN

Die KoRob setzen sich aus mehreren Komponenten und Schnittstellen zusammen. Sie bestehen grundsätzlich aus einem Roboter, einem Endeffektor bzw. einem Greifer, einem Fahrzeug, der Sensorik und einer Steuerung. Die Sensorik beinhaltet u.a. das Lageerkennungssystem, das zur Erkennung und Bestimmung der Position und Lage des aufzunehmenden Objektes sowie des Ablageortes dient, um daraufhin die korrekte Greifaktion auszuführen. Das Handling der zu kommissionierenden Waren führt der Roboter aus, nachdem der Greifer möglichst schonend die Verbindung zwischen Roboter und Gut hergestellt hat. Die Bewegungen des Roboters und Greifers werden von der Steuerung geplant auf Grundlage der sensorischen Daten, geplant. Die Schnittstellen ermöglichen eine Verbindung zu der umgebenden Lager- und Fördertechnik sowie mit der Informationstechnologie des Unternehmens [MAR13].

2.3 SENSORIK

Aus dem Bereich der Fertigungs- und Produktionsmesstechnik ist eine Vielzahl an taktilen und berührungslosen Messverfahren bekannt. In der Kommissionierung können sinnvollerweise nur berührungslose Messverfahren angewandt werden. Neben den induktiven, kapazitiven und den Ultraschallsensoren sind insbesondere die optischen Messverfahren von Interesse.

Optische Systeme bestehen prinzipiell aus Sendeeinheit, optischen Strahlen und Empfangseinheit. Die Sendeeinheit ist dabei je nach Messverfahren optional. Die Empfangseinheit wandelt optische Strahlen in elektrische Signale. Die dafür verwendeten Detektoren können in die Gruppe der Quantendetektoren und der thermischen Detektoren eingeteilt werden. Bei thermischen Detektoren, wie z.B. pyroelektrische IR-Sensoren, verursacht die Strahlungsleistung eine Temperaturerhöhung. Bei Quantendetektoren erzeugt die Strahlungsleistung bewegliche Ladungsträger, die registriert und in elektrische Signale umgewandelt werden. Für die optische 3D-Messtechnik sind hier insbesondere die CCD- und CMOS-Sensoren von großer Bedeutung.

Beim Detektieren der optischen Strahlen können folgende Eigenschaften des Lichts als Informationskanäle dienen: örtliche Helligkeitsverteilung, Abstrahlcharakteristik, Intensität, Spektrum, Phase, Kohärenz, Polarisation und Zeitverhalten. Für die Beleuchtung gilt generell die Anforderung, dass natürliches Fremdlicht möglichst weitgehend unterdrückt werden soll. Die Bildaufnahme selbst kann im Hell- oder Dunkelfeld erfolgen. Bei der Hellfeldaufnahme erfasst die Kamera das von der Oberfläche spiegelnd reflektierte Licht unter dem Winkel α der Lichtquelle (vgl. Abbildung 1 (a)). Bei der Dunkelfeldaufnahme wird hingegen das diffus reflektierte bzw. am Objekt gestreute Licht z.B. durch eine Kameraanordnung senkrecht zum Objekt erfasst (vgl. Abbildung 1 (b)).

Eine aus Anwendersicht praktikable Einteilung von optischen 3D-Messverfahren kann nach dem Winkel (γ) zwischen der Sende- und Empfangseinheit vorgenommen werden. Hierbei spricht man bei $\gamma = 0^\circ$ von Verfahren mit koaxialer Antastung und bei $\gamma \gg 0^\circ$ von Verfahren nach dem Triangulationsprinzip (vgl. Abbildung 1 (c) und (d)) [Bau08]. Demnach gehören Verfahren der Interferometrie, Laufzeitmessung, konfokale Abtastung und Autofokus basierenden Prinzipien zu den Verfahren der koaxialen Abtastung. Die Punktriangulation, die Streifenprojektion und die Fotogrammetrie werden den triangulationsbasierenden Verfahren zugeordnet.

Typische Vertreter der optischen Messsysteme sind Laserscanner, Time-of-Flight-Kameras sowie Stereokameras, die in Verbindung mit einem Pattern-Generator arbeiten können.

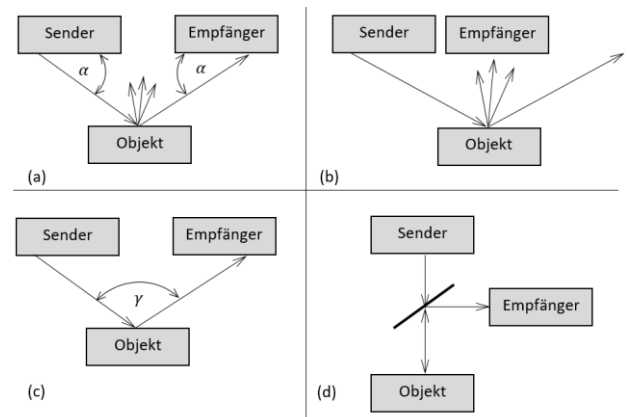


Abbildung 1. (a) Hellfeldaufnahme, (b) Dunkelfeldaufnahme, (c) Verfahren nach dem Triangulationsprinzip (d) Verfahren mit koaxialer Antastung (in Anlehnung an Fraunhofer IOF)

2.4 ROBOTER

In der VDI-Richtlinie 2860 sind Industrieroboter definiert als „universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolge und Wegen bzw. Winkeln frei (d. h. ohne mechanischen bzw. menschlichen Eingriff) programmierbar und gegebenenfalls sensorgeführt sind. Sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausrüstbar und können Handhabungs- und/oder Fertigungsaufgaben ausführen [VDI90].

In der Kommissionierung werden in Abhängigkeit von der Einsatzumgebung Portal-, SCARA-, Vertikal-Knickarm- oder Parallelkinematik-Roboter verwendet.

Portalroboter bezeichnen aufgeständerte Robotersysteme, die durch zwei oder drei lineare Hauptachsen einen kubischen Greifraum aufspannen. Dabei können weite Verfahrswege und hohe Tragfähigkeiten realisiert werden.

SCARA-Roboter (Selective Compliance Assembly Robot Arm) oder Horizontal-Knickarmroboter haben eine serielle Kinematik mit typischerweise vier Freiheitsgraden, die nur eine Handhabung in planparallelen Flächen zulässt. Der Arbeitsraum eines SCARA-Roboters ähnelt einer Nieren-Form. Durch ihre Bauart bieten SCARA-Roboter eine hohe Steifigkeit in vertikaler Richtung, können jedoch nur geringere Kräfte in xy-Richtung aufnehmen. Nachteil dieser Bauart ist es, dass sich die Positionsfehler am Ende der Kette addieren.

Vertikal-Knickarmroboter sind Roboter mit einer seriellen Kinematik aus fünf oder sechs angetriebenen Achsen. Dadurch werden beliebige Bewegungen in alle Raumrichtungen ermöglicht. Vertikal-Knickarmroboter benötigen für jeden Gelenkarm einen eigenen Antrieb, welcher die Achse durch sein Eigengewicht belastet, wodurch die Nutzlast sinkt. Durch das Gewicht der Antriebe sowie das sich addierende Spiel der Gelenke bieten Vertikal-Knickarmroboter im Vergleich zu SCARA- oder Parallelkinematik-Robotern eine geringere Geschwindigkeit, Dynamik und Wiederholgenauigkeit. Vorteile von Vertikal-Knickarmrobotern sind ihre Flexibilität und universelle Einsetzbarkeit. Knickarmroboter sind ausgereifte Produkte, die in vielfältiger Umgebung eingesetzt und in großer Stückzahl produziert werden.

Bei Parallelkinematik-Robotern wird die Greiferplattform von drei bis sechs parallel angeordnete Linearachsen oder Gelenkarmen geführt, die in einer festen Basis gelagert sind. Durch die parallele Anordnung bilden die Achsen eine geschlossene kinematische Kette, was gegenüber Vertikal- oder Horizontal-Knickarmrobotern eine höhere Wiederholgenauigkeit und Steifigkeit der Konstruktion ermöglicht. Jedoch steht auf Grund der maximalen Reichweite von 1,5 m nur einen relativ begrenzten Arbeitsraum mit einer zylindrischen Kontur zur Verfügung. Delta-Roboter werden typischerweise bei schnellen Pick-and-Place-Anwendungen mit teilgeordneten Erzeugnissen auch mit Fließbandverfolgung für Handhabungs-, Montage- und Verpackungsaufgaben eingesetzt [MAR13].

2.5 GREIFER

Das Greifen ist ein hochkomplexer Vorgang und stellt eine große Herausforderung in der Robotik dar, die in den letzten Jahren in den Fokus der Forschung rückte. Dadurch entstanden neuartige, oft bionische Ansätze zur Lösung der Greifaufgabe. Im Gebiet der Soft-Robotik begannen Forscher, die Anpassungsfähigkeit nachgiebiger Materialien für die Problemlösung auszunutzen. Ein einhergehender Vorteil bei der Verwendung nachgiebiger Materialien ist eine sicherere Interaktion mit der Umwelt und Menschen sowie Bewältigung von dynamischen Aufgaben wie dem physikalischen Kontakt oder dem Greifen unbekannter Objekte.

Dem entgegen steht die traditionelle harte Robotik, in der die Maschine-Objekt-Interaktion durch die Anwendung komplexer und präziser Kontrollsysteme oder die Veränderung von Stellgliedsteifigkeiten vorgenommen wird. In der Literatur sind zahlreiche Beispiele für harte Robotergreifer zu finden.

Für das Kommissionieren von unterschiedlichen Artikeln mit komplexen Geometrien und Oberflächeneigenschaften ist insbesondere der Fingergreifer von Interesse. Der Fingergreifer kann mechanisch, pneumatisch oder hydraulisch betrieben werden und versucht das Funktionsprinzip der menschlichen Hand nachzubilden. Er greift Objekte form- und/oder kraftschlüssig mit zwei oder mehr Greiforganen, welche aus gelenkig miteinander verbundenen mechanischen Gliedern bestehen. Ein Beispiel für einen mechanischen Gelenkfingergreifer mit drei Greiforganen ist die Stanford/JPL-Hand und für fünf Finger die Shadow Hand C5. Die traditionellen Greifer sind auf Grund der mechanischen Eigenschaften ihrer harten Komponenten hinsichtlich ihrer Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Formen und Größen eingeschränkt. Die Verwendung harter Materialien und anspruchsvoller Mechanismen werden diese Greifer oft sehr voluminös. Zudem ist eine komplexe Steuerung notwendig, um die Greifaufgabe durchführen zu können.

Im Gegensatz dazu werden in der Soft-Robotik nachgiebige und/oder flexible Materialien verwendet, die während der Interaktion hohen Verformungen ausgesetzt sein können. Diese Eigenschaft in Kombination mit den morphologischen Merkmalen des Greifers erlaubt ihm, sich durch passive Verformung an die Form des zu greifenden Objektes anzupassen. Infolgedessen werden einige Steuerungsaufgaben aus der traditionellen Robotik von den physikalischen Eigenschaften des Greifers übernommen. Diese Systeme sind unteraktuiert, d.h. die Anzahl der Freiheitsgrade der Finger ist größer als die Anzahl der notwendigen Aktoren.

Die in der Literatur zu findenden Soft-Gripper werden hydraulisch oder pneumatisch betrieben. Wie die Greifer der Firma Soft Robotics bestehen einige Endeffektoren aus einem oder mehreren Faltenbalgaktoren, die sich bei Druckänderung im Innern verformen. Andere Aktoren bestehen aus zylindrischen Balgaktoren, die teilweise faserverstärkt sind. Die Verformung kann eine Biegung oder Längung bzw. Verkürzung des Aktors darstellen. Wird eine parallele Faltenbalgkonstruktion eingesetzt, ist die benötigte Steuerung der Ventile sehr aufwendig und die Konstruktion wird auf Grund der eingesetzten Komponenten voluminöser [MAN15].

2.6 HERAUSFORDERUNG

Obwohl bereits eine Vielzahl unterschiedlicher Kommissioniersysteme existiert, sind ganzheitliche KoRob zur Zusammenarbeit mit dem Menschen noch zu entwickeln. Die Forderung nach einer breiten Einsetzbarkeit rückt die

mobilen KoRob in den Fokus der Industrie. Die derzeit auf dem Markt verfügbaren Systeme sind in der Lage, Artikel mit einer annähernd quaderförmigen Geometrie nach dem Prinzip Person-zu-Ware zu kommissionieren. Andere Anbieter spezialisieren sich auf Ware-zu-Person-Systeme, in denen autonome Fahrzeuge Warenregale zur kommissionierenden Person bringen. Eine automatisierte mobile Lösung zum Kommissionieren von Einzelartikeln und Gebinden unterschiedlicher Geometrien und Oberflächeneigenschaften ist derzeit nicht verfügbar. Dabei wird hier eine möglichst kostengünstige und anpassbare Lösung gesucht, die eine wirtschaftliche Automatisierung des Kommissionierprozesses erlaubt.

Eine Kernkomponente zum Kommissionieren verschiedener Artikel ist das Greifsystem. Als wesentlicher Bestandteil dieses Greifsystems hat der Endeffektor, der Greifer, eine große Bedeutung. Auf dem aktuellen Markt sind keine erschwinglichen Greifsysteme mit universeller Einsetzbarkeit verfügbar. Ein typisches Handelswarensortiment kann nicht ohne starke Einschränkungen, Beschädigungen oder Verluste gegriffen werden und die Interaktion mit dem Menschen ist aufgrund der starren Bauweise und unzureichender Sensorik der Roboter stark beschränkt. In dieser Forschungslücke positioniert sich dieses Projekt. Der zu entwickelnde flexible, vollautomatische KoRob muss mit dem Menschen vergleichbare Eigenschaften aufweisen, um in der bestehenden Umgebung eingesetzt werden zu können. Auf Grund der hohen Bewegungsflexibilität wird für den Roboter ein Vertikal-Knickarmroboter ausgewählt. Die Greifer sollen eine große Anzahl an Artikeln unterschiedlicher Größen, Geometrien, Festigkeiten und Oberflächenbeschaffenheiten aufnehmen können. Hierzu werden im weiteren Verlauf des Projekts von der Biologie inspirierte pneumatische und hydraulische Greiffinger betrachtet.

3 ENTWICKLUNG EINES FLEXIBLEN, VOLLAUTOMATISCHEN KOROB

3.1 EINSATZUMGEBUNG

Der KoRob soll in einer vollautomatisierten Kommissionierzone eingesetzt werden, in der dezentral mit statischer Bereitstellung kommissioniert wird. Für die Installation des KoRob sind nur geringe Veränderungen in der traditionellen Kommissionierumgebung notwendig, weshalb der Automatisierungsgrad des Lagers skalierbar ist.

Für die Entwicklung wird auf beiden Seiten des Gangs in der Kommissionierzone ein Regal mit einer Länge von 5 m aufgebaut, das auf zwei Ebenen Artikel sortenrein in Bereitstellungseinheiten lagert. Vorerst werden die Artikel zur besseren Greifbarkeit und Bestimmung der Objekte durch Trays in der Bereitstellungseinheit positioniert.

Aus einem Sortiment wurden im Rahmen einer Voruntersuchung [ISE13] mit Hilfe einer Clusteranalyse fünf

Kategorien von Artikeln bestimmt, aus denen exemplarische Vertreter gegriffen werden sollen. Diese Cluster sind namentlich:

- Cluster 1: Quaderförmige, wenig nachgiebige Artikel
- Cluster 2: Zylindrische, leichte Artikel
- Cluster 3: Flache, leichte Artikel mit komplexer Geometrie
- Cluster 4: Quaderförmige, große Artikel
- Cluster 5: Flache, kleine Artikel
- Cluster 6: Konvolute Artikel

Die Artikel weisen ein maximales Gewicht von 2 kg, eine minimale Kantenlänge von 10 mm und eine maximale Objektgröße von (400x300x120) mm³ auf.

3.2 BILDVERARBEITUNGSSYSTEM

Die in der Kommissionierpraxis am besten bewährte Lösung arbeitet mit optischen Sensoren in Kombination mit einer hoch entwickelten Bildverarbeitung; der Mensch. Dieses Prinzip soll auch bei dem zu entwickelnden KoRob Anwendung finden.

Üblicherweise ist der Lagerort eines Artikels in einer Datenbank hinterlegt, sodass die Bildverarbeitung auf die Bereitstellungseinheiten beschränkt werden kann. Sowohl die Bereitstellungseinheiten (Kommissionierboxen) als auch das Regal muss zwecks Kollisionsvermeidung als Hindernis erkannt und bei der Bewegungsplanung berücksichtigt werden. Da die Bildverarbeitung stets lokal erfolgt, wird das Messsystem am Roboterarm, nahe des Endeffektors positioniert. Zum Erkennen der zu greifenden Objekte und der Bestimmung von Position und Lage wird eine Stereokamera mit einem Pattern-Generator verwendet. Der Pattern-Generator ermöglicht es, Objekte mit wenig Textur und mit einer ebenen Fläche zu erfassen. Die Raumkoordinaten in [mm] erhält man aus der Disparität des linken und rechten Kamerabildes. Zusammen mit den Kalibrierdaten der Kamera wird daraus eine PointMap erstellt.

In einer Bereitstellungseinheit i werden n_i sortenreine Artikel gelagert. Um die einzelnen Objekte voneinander abzugrenzen, muss die aufgenommene Szene segmentiert werden. Dies kann z.B. anhand von Kantendetektion im 2-dimensionalen Bild oder anhand von Höhenunterschieden in einer Punktwolke geschehen. Der so erfasste, interessierende Bereich kann nun auf Merkmale (z.B. SIFT-Merkmale) untersucht werden, die mit denen des zu greifenden Artikels übereinstimmen. Anhand der übereinstimmenden Treffer und deren Verteilung im zuvor angelegten Template des Artikels und der Kameraaufnahme, kann die Lage des Objektes berechnet werden. Die Greifposition (vgl. Abbildung 2, roter Punkt) wird relativ zu den gefundenen Merkmalen ermittelt.

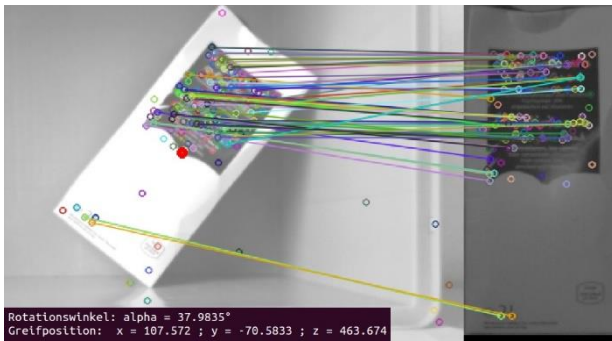


Abbildung 2. Bestimmung der Greifposition eines Objektes

Beim Arbeiten mit Punktwolken wird für jeden Punkt ein Normalenvektor in Abhängigkeit seiner Nachbarn bestimmt. Eine vom Objekt angelegte Punktwolke kann in die aufgenommene Kameraszene eingepasst werden, sodass eine größtmögliche Übereinstimmung der Normalenvektoren vorliegt. Für eine gefundene Lösung können die Rotationsmatrix und der Translationsvektor für das Objekt direkt ermittelt werden (vgl. Abbildung 3).

Diese Methode setzt voraus, dass die zu kommissionierenden Artikel bekannt sein müssen, was sich mit der Situation in einem Lager deckt. Von diesen Artikeln wird im Vorfeld eine Datenbank/ Templates angelegt. Diese besteht aus Grauwertbilddaufnahmen und 3D-Punktwolken, die aus unterschiedlichen Perspektiven aufgenommen werden. Im ersten Ansatz wird die Greifposition experimentell ermittelt und auf die Templates übertragen.

Beide Ansätze haben ihre Stärken und Schwächen. Um das breite Spektrum der gewählten Artikel abdecken zu können, werden beide Ansätze, in Abhängigkeit des Artikels, parallel verfolgt.

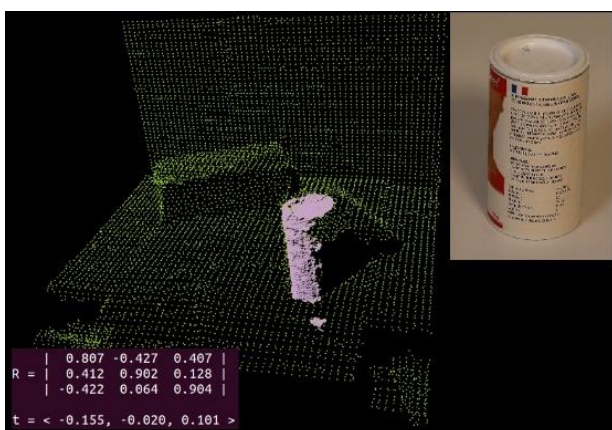


Abbildung 3. Punktwolke mit Rotationsmatrix und Translationsvektor

3.3 ROBOTER

Wegen der hohen Flexibilität und universellen Einsetzbarkeit wird für den KoRob der UR10, ein

Leichtbau-Knickarm-Roboter der Firma Universal Robots eingesetzt. Der Greifroboter kann eine Traglast von bis zu zehn Kilogramm aufnehmen und ermöglicht einen Arbeitsradius von rund 1300 mm, womit sich größere Abstände überbrücken lassen, wie sie oft im Bereich der Kommissionierung vorkommen. Der Roboter ist zur Vergrößerung des Arbeitsbereiches auf einem schienengeführten Fahrzeug montiert, das mittels Linienführung positioniert wird. Der kollaborierende Roboter wurde zur Zusammenarbeit mit Menschen entwickelt, so dass kein Sicherheitsabstand eingehalten werden muss. Durch eine eingebaute Kraftregelung unterbricht der Roboter seine Bewegung, sobald er auf ein Hindernis stößt. Darüber hinaus kann die Arbeitsgeschwindigkeit des Roboters angepasst werden, um die Sicherheit bei der Interaktion mit dem Menschen zu vergrößern.

3.4 GREIFER

Eine wichtige Komponente in der Automatisierung der Logistik ist die Bereitstellung geeigneter Greifer. Deren Effizienz trägt maßgeblich zur Wirtschaftlichkeit der Automatisierung bei. An Greifer für die automatische Kommissionierung werden andere Anforderungen gestellt, als an die bereits erprobten Endeffektoren, die in der Produktion und Fertigung eingesetzt werden. Zu nennen sind hier die preisgünstige Herstellung, ein universelles Greifvermögen bei skalierbaren Abmessungen und einem anpassbaren Leistungsspektrum.

Auf Grund der vorhergehenden Clusteranalyse wurde der Fingergreifer als die geeignetste Greiferart für das ausgewählte Artikelspektrum identifiziert. Der Greifer ist modular aufgebaut und lässt sich durch das Baukastenprinzip (siehe Abbildung 4) an seine Einsatzumgebung mit unterschiedlichen Größen, Kraftbereichen und Oberflächenbeschaffenheiten anpassen. Einzelne Komponenten des Greifers wie Aktoren, Verbindungselemente, Versteifungen und ggf. Sensoren sowie Zusatzelemente sind leicht austauschbar.

Die Soft-Gripper bestehen aus zwei bis vier identischen Fingern, die mit einem festen Rahmen, der Handbasis, verbunden sind. Wie die Aktoren ist auch die Handbasis austauschbar, um eine angepasste Anordnung der Finger zueinander vornehmen zu können. Eine Nutzung des Zusatzelements Vakuumsauger ist ebenfalls durch Einsatz bestimmter Konfigurationen möglich. Die Finger bestehen aus einem bis drei anisotropen Aktoren, deren Entwicklung auf der Grundlage von [ULR12] basiert. Durch den Einsatz von Aktoren aus speziellen Silikonem und dem Verzicht auf klassische Gelenke sowie Schmiermittel können die Soft-Gripper auch im Lebensmittelumfeld eingesetzt werden.

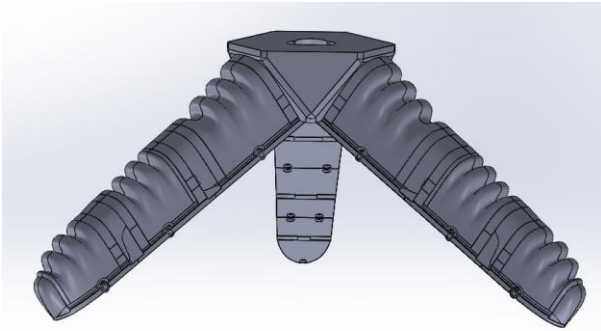


Abbildung 6. Beispielhafter Aufbau des hydraulisch betriebenen Endeffektors als 3-Finger-Greifer

Die folgenden Schritte der Entwicklung sehen die Fertigung und Erprobung der Endeffektoren vor. Dabei wird neben der Erfüllung der Greifaufgabe auch die Greifsicherheit untersucht. Dazu werden für ein bestimmtes Sortiment von Artikeln Greifpunkte und -positionen bestimmt, die angefahren werden müssen. Anschließend wird die Steuerung des Greifers in die Gesamtsteuerung des Systems integriert.

3.5 FAHRZEUG

Das Fahrzeug ist ein fahrerloses Transportfahrzeug. Für den Versuchsaufbau, zur Erprobung des KoRob wird jedoch das Fahrzeug zunächst zwischen den Kommissionierregalen mechanisch geführt. Das Fahrzeug besitzt vier Räder, von denen zwei angetrieben werden.

Auf dem Fahrzeug wird der Roboterarm mit dem Endeffektor montiert. Vor dem Roboterarm wird eine Kommissionierablage bereitgestellt, die zur Aufnahme der gepickten Artikel dient. Weiterhin werden der Rechner zur Bildverarbeitung und Steuerung des Gesamtsystems sowie die Kontrolleinheit des Roboters mitgeführt.

Die Druckluft- und Energieversorgung erfolgt extern, wobei selbst aufrollende Kabel- und Schlauchtrommeln auf dem Fahrzeug mitgeführt werden. Diese Maßnahme soll zu einem die Reibung der Schläuche und Kabel am Boden verhindern und zum anderen die Vorlage für ein autonom fahrendes Fahrzeug liefern. Des Weiteren werden aus eben diesen Gründen Batterien in den unteren Teil des Fahrzeugs integriert. Diese dienen auch zum Abpuffern der Verbrauchsspitzen während der Beschleunigung des Fahrzeugs.

3.6 ROBOT OPERATING SYSTEM (ROS)

Die Steuerung des KoRob wird mit dem Robot Operating System (ROS) realisiert. ROS ist ein freies Software-Framework zum Entwickeln von Robotersystemen. Es besteht aus Tools, Bibliotheken sowie Konventionen, die das Schreiben von Robotersoftware vereinfachen. Der Grundgedanke dabei ist der der Arbeitsteilung. Für spezifische Aufgaben werden Stand-Alone-Lösungen entwickelt, deren Zusammenwirken von

der ROS-Grundstruktur koordiniert wird. Dies geschieht mittels einer serviceorientierten Architektur. Einzelne Programme werden in ROS-Knoten gepackt. Diese können ihre spezifischen Informationen zu einem Topic publishen und/oder subscriben. Die Knoten führen dies aus, ohne eine Rückmeldung darüber, ob es Abonnenten zu ihrem Topic gibt. Ein ROS-Master-Knoten registriert alle aktiven Knoten und erstellt einen Kommunikationsgraphen.

Die Kernelemente von ROS zur Entwicklung des KoRob sind das Simulationstool Gazebo, das Visualisierungstool RViz sowie Bibliotheken für die Bildverarbeitung in 2D, die OpenCV (Open Source Computer Vision Library), in 3D die PCL (Point Cloud Library) und die OMPL (Open Motion Planning Library) für die Bewegungsplanung des Roboterarms. Hierbei handelt es sich um eigenständige Projekte, die im ROS-Framework integriert sind.

Die Ablaufsteuerung der einzelnen Komponenten wird in Form eines Zustandsautomaten realisiert. Diese wird ebenfalls als ein ROS-Knoten ausgeführt. In Abhängigkeit von Prozessstatusinformationen wird z.B. das Verfahren des Fahrzeuges oder die Bildverarbeitung veranlasst.

4 ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Beitrag wurden die ersten Schritte der Entwicklung eines flexiblen, vollautomatischen Kommissionierroboters vorgestellt. Dieser soll für ein ausgewähltes Artikelspektrum in definierten Zonen eines Lagers die Kommissionierung übernehmen. Dabei wird der KoRob so ausgelegt, dass in den definierten Zonen sowohl der Kommissionierroboter als auch ein menschlicher Kommissionierer, ohne große Umbaumaßnahmen, arbeiten können.

Bei der Entwicklung wird in den Bereichen Bildverarbeitung und Robotersteuerung weitestgehend auf vorhandene Technologien zurückgegriffen und diese an die gestellten Anforderungen angepasst. Das konstruierte Fahrzeug kann im Weiteren mit Sensorik ausgestattet werden, sodass eine Schienenführung nicht mehr benötigt wird. Das Kernelement für das sichere Greifen bildet die Entwicklung eines modularen Fingergreifers. Dieser wird als ein Soft-Gripper, ohne mechanische Stellglieder, ausgeführt. Durch die Variation der Greiferbasis, der Anordnung und Größe der Aktoren, sowie der Materialien für die Kontaktfläche, erhält man einen Aktorbaukasten, der für ein breites Artikelspektrum eingesetzt werden kann.

LITERATUR

- [ISE13] Isermann, Jan; Ulrich, Stephan; Bruns, Rainer: Generierung von Konstruktionsmerkmalen zur Entwicklung eines bioinspirierten Kommissionier-Greifers für die Intralogistik mittels Clusteranalyse. In: tagungsband zum 9. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik e.V. (WTL), S. 177-188, Dortmund, 2013
- [Bau08] Bauer, Norbert: *Handbuch zur Industriellen Bildverarbeitung, Qualitätssicherung in der Praxis*. In: Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2008
- [MAN15] Manti, Mariangela; Hassan, Taimoor; Passetti, Giovanni; D'Elia, Nicolò; Lasci, Cecilia; Cianchetti, Matteo: *A Bio-inspired Soft Robotic Gripper for Adaptable and Effective Grasping*. In: Soft Robotics, Vol. 2, Num. 3, New York, 2015
- [MAR13] Martini, Andreas; Stache, Ulrich; Trenker, Florian: *Automatische Kommissionierung: Neue Lösungen für ein altes Problem*. Siegen, 2013
- [SOF17] Ulrich, Stephan; Klitsch, Christopher, Kaben, Erik: *Soft-Gripping*. [<http://soft-gripping.com/#> (21.07.2017)] Potsdam
- [ULR12] Ulrich, Stephan; Bruns, Rainer; Freyer, Holger: *Complex Motions with Anisotropic Elastomeric Actuators*. In: *ACTUATUR 2012*. [Messe Bremen, Januar 2012]
- [VDI90] Richtlinie VDI 2860: *Montage- und Handhabungstechnik*, Düsseldorf, 1990

Ilja Dick, M.Sc., Research Assistant at the Institute of Machine Elements and Technical Logistics, Helmut-Schmidt-University, Hamburg.

Address: Institute of Machine Elements and Technical Logistics, Helmut-Schmidt-University, Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg, Germany, E-Mail: ilja.dick@hsu-hh.de

Kim Schwäke, M.Sc., Research Assistant at the Institute of Machine Elements and Technical Logistics, Helmut-Schmidt-University, Hamburg.

Address: Institute of Machine Elements and Technical Logistics, Helmut-Schmidt-University, Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg, Germany, E-Mail: kim.schwaeke@hsu-hh.de