



9. Roboter in der Intralogistik – Wie man mit künstlichen Bilddaten echte Probleme löst

Prof. Dr. Tobias Kaupp, Prof. Dr.-Ing. Volker Willert

Ausgangslage: Wie sind wir auf dieses Problem gestoßen?

Logistikunternehmen haben eine ganze Reihe an Problemen: Kommissioniertätigkeiten im Warenlager sind nicht wertschöpfend, was einen enormen Kostendruck verursacht. Die menschliche Arbeitskraft ist aktuell der größte Kostenblock im Warehousing. Hinzu kommt ein genereller Arbeitskräftemangel, vor allem für schwere, nicht ergonomische Aufgaben, wie sie in einem Lagergang und gäbe sind. Ein weiterer Punkt sind steigende Flexibilitätsanforderungen, d.h. eine stabile Abdeckung der Logistikarbeiten in Krisenzeiten wie Corona sowie der Ausgleich von saisonalen Schwankungen wie dem Weihnachtsgeschäft.

Die Automatisierung der Intralogistik-Tätigkeiten ist ein vielversprechender Ansatz, der die genannten Probleme abfedern kann. Automatisierung gibt es bereits im großen Stil, wie beispielsweise in Form von fest mit den Regalen verbauten Systemen. Diese benötigen große Vorabinvestitionen und sind wenig flexibel und schwer erweiterbar, da sie eine fixe Kapazität haben. Eine alternative Möglichkeit ist der Einsatz von mobilen Pickrobotern, die sich autonom im Warenlager bewegen und selbstständig Pakete aus den Regalen holen können. Diese fahrerlosen Transportsysteme haben den Vorteil, dass man die Anzahl der Fahrzeuge je nach Bedarf hoch- und runterskalieren und auch im Mischbetrieb mit menschlichen Pickern einsetzen kann.

Genau so ein System ist schon seit geraumer Zeit bei Linde Material Handling (LMH) aus Aschaffenburg in der Vorentwicklung (siehe Abb. 1–2). LMH ist ein Automatisierungsspezialist für Logistik, der den steigenden Bedarf der Logistikunternehmen nach einem roboter-gestützten Kommissioniersystem decken möchte.

LMH hatte dazu einen Forschungspartner gesucht und wurde am **Center für Robotik (CERI)** schnell fündig.

Die gemeinsame Forschungsfrage:

Wie entwickelt man einen mobilen Pickroboter, der unter realen Bedingungen eines Warenlagers voll autonom diverse Warentypen erkennen, greifen und aufladen kann?

Es wurde vereinbart, einen gemeinsamen Forschungsantrag bei einem Programm des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie zu stellen und die Arbeiten folgendermaßen aufzuteilen. LMH führt eine Anforderungsanalyse mit seinen Kunden durch und baut einen Demonstrator auf, der aus einer spezialisierten Roboterkinematik inklusive innovativem Greifsystem besteht. Außerdem übernimmt LMH die globale Steuerung des Systems und entwickelt ein Sicherheitskonzept, damit das System bei Pilotkunden direkt zum Einsatz kommen kann.

Das CERI fokussiert sich auf Perzeptionsaufgaben, d. h. die robuste, kamerabasierte Erkennung und Greifpunktbestimmung diverser Warentypen unter realen Umgebungsbedingungen. Dies erfordert umfangreiche Kompetenzen im Bereich des Maschinellen Sehens und Lernens, die am CERI von Prof. Dr.-Ing. Volker Willert hervorragend abgedeckt werden.

„Als Linde auf uns zukam, war ich sofort begeistert von der Aufgabenstellung. Meine jahrelangen Erfahrungen als Unternehmer in der Mobilrobotik, kombiniert mit der fachlichen Expertise von Kollege Willert, waren ideale Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung.“

Prof. Dr. Tobias Kaupp

Forschung und Methodik: Was ist eigentlich „augmented virtuality“?

Für das menschliche Auge erscheint die Erkennung von Kartonagen simpel, doch für künstliche autonome Erkennungssysteme ist es keine leichte Aufgabe. Wenn sich hunderte Kartons dicht an dicht, ohne erkennbare Zwischenräume, auf einer Palette stapeln, versagen klassische Algorithmen häufig. Unterschiedliche Texturen, wechselnde Lichtverhältnisse, starke perspektivische Verzerrungen und die schiere Vielfalt an Aufdrucken und Maßen machen die automatisierte Vereinzelung – das sogenannte Depallettieren – zu einer technologischen Herausforderung.

Um diese Hürden zu nehmen, wurde auf spezielle RGB-D-Kameras gesetzt. Diese Geräte liefern nicht nur ein herkömmliches Farbbild (RGB), sondern generieren simultan für jeden Bildpunkt eine Information über dessen Tiefe (D). Das Ergebnis ist eine 3D-Punktwolke, die den Raum plastisch abbildet.

Damit das System auch bei eng gepackten Stapeln die Orientierung behält, wird die Kamera in einem 40-Grad-Winkel schräg von oben auf die Palette gerichtet. Dieser „schräge Top-Down-View“ sorgt für möglichst

gute Sichtbarkeit der Kanten und Tiefenstrukturen auch bei engen und tiefen Ansichten in Lagerregalen. Der Erkennungsprozess erfolgt dabei in mehreren Schritten: Zuerst wird die Palette im Raum anhand der Punktwolke Daten lokalisiert, dann wird die oberste Lage auf der Palette bestimmt, um den Suchbereich der greifbaren Kartonagen einzugrenzen.

Das Herzstück der Erkennung ist die Kombination aus Klassifikation (Was ist das?) und Instanzsegmentierung (Welche Bildpunkte gehören zu welchem speziellen Karton?) mit einem für diese Aufgabenkombination entworfenen Neuronalen Netz. Das Netz wurde bereits von der Community entwickelt und in diesem Projekt für die spezielle Aufgabe der Kartonagerkennung trainiert. Nach erfolgreichem Training identifiziert das System im 2D-Farbbild zunächst die einzelnen Produkte. Danach erfolgt eine Rückprojektion der gefundenen Segmente in den Raum und die erkannten 2D-Flächen werden mit der 3D-Punktwolke abgeglichen. Danach wird eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt: Stimmen die gefundenen Segmente mit den bekannten Abmessungen der Kartonage überein? So werden Fehlgriffe bei Fremdprodukten auf sortenreinen Paletten vermieden. Danach lässt sich die exakte 6D-Pose bestimmen – also die präzise Position und Ausrichtung des Kartons im Raum (siehe Abb. 3, untere Reihe).

Abbildung 1:
Konzept eines
mobilen Pickroboters
für Kommissionier-
aufgaben



Abbildung 2:
Im Projekt entwickelter
Versuchsträger im
realen Kundenumfeld.

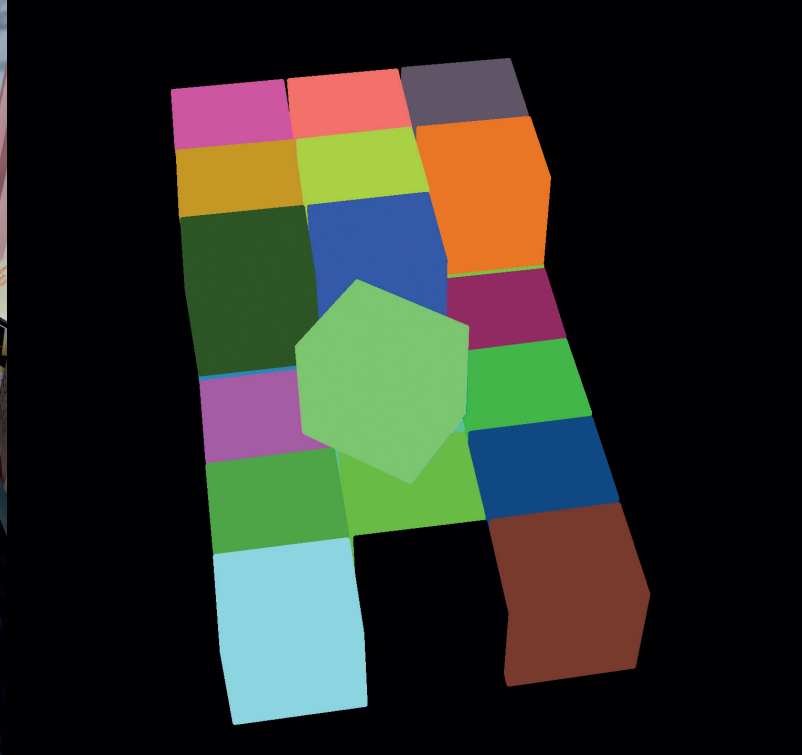


Abbildung 3:

Lernen und Inferenz der Paketerkennung

Obere Reihe: In einer Simulationsumgebung generierte Bilddaten inklusive echter Texturen (links) und die automatische Segmentierung (rechts) als Grundlage für das Maschinelle Lernen

Untere Reihe:

Paketerkennung und Greifpunktbestimmung im Echtzeitbetrieb

Abbildung 4: Anwendung der Objekterkennungs- Pipeline auf Sackware

Oben:
Die Erkennung
von realen Säcken
in Echtzeit

Unten:
Mit KI generierte
Bilder von Säcken
inklusive Labels und
Segmentierung als
Input für Lern-
algorithmen



Aber wie trainiert man ein neuronales Netz erfolgreich, damit es Kartonagen auf dicht gepackten Paletten möglichst fehlerfrei erkennen kann? Ein neuronales Netz ist nur so gut wie seine Trainingsdaten. Da es jedoch fast unmöglich ist, tausende Produkte manuell in allen erdenklichen Szenarien mit unterschiedlichsten Anordnungen zu fotografieren und per Hand zu „labeln“ (zu erfassen, wo genau welche Produkte im Bild sind), fokussierte dieses Forschungsprojekt auf die Augmentierte Virtuality, eine Methode der Computergraphik, um 2D-Bilddaten aus synthetisch generierten 3D-Welten zu erzeugen und sie mit realer Bildinformation anzureichern, um künstlich möglichst photorealistische Bilddaten zu erhalten. Für die produktspezifische Unterscheidung von Kartonagen sind die aufgedruckten Texturen das entscheidende Merkmal. Daher wurden reale Texturen echter Kartonagen auf synthetisch generierte 3D-Modelle „geklebt“. Dazu wurde eine automatisierte Verarbeitungspipeline sowohl für das Abfotografieren von realen Texturen aus allen sechs unterschiedlichen Ansichten einer Kartonage als auch die automatisierte Erzeugung von Monopaletten mit typischen Packmustern (möglichst dicht gepackte Anordnungen von Kartonagen auf einer Palette) entwickelt. Der Vorteil: Das System generiert automatisch perfekte Labels und kann Lichtsituationen, Packmuster und Perspektiven flexibel variieren (siehe Abb. 3, obere Reihe). Für dieses Projekt wurden über 100.000 synthetische Bilder erzeugt. Ergänzt wurde dieser riesige Datensatz durch rund 2.300 reale Aufnahmen aus den Warenlagern von LMH's Pilotkunden. Das Resultat ist ein hochflexibles System, das für eine Vielzahl unterschiedlicher Pro-

dukte eine hohe Erkennungsrate auch bei schwierigen Lichtverhältnissen und eine zentimetergenaue Lagebestimmung liefert.

Ergebnis und Transfer: Was kam raus und wie geht es weiter?

Die Ergebnisse des geförderten Forschungsprojekts waren so vielversprechend, dass LMH seinen Kunden Rossmann davon überzeugen konnte, ein Pilotprojekt im echten Lagerbetrieb durchzuführen. LMH hat dafür das CERI direkt beauftragt, die Robustheit und Performance des entwickelten Erkennungssystems zu untersuchen und zu optimieren. Dazu waren unsere Mitarbeiter bei Pilotkunden vor Ort, um weitere Daten aufzunehmen und das integrierte Gesamtsystem gemeinsam mit LMH-Ingenieuren zu testen.

„Wir sind schon stolz darauf, dass unsere Forschungsergebnisse so schnell in ein reales Produkt einfließen, und verfolgen gespannt, wie das Pilotprogramm bei Rossmann abläuft!“

Prof. Dr.-Ing. Volker Willert

Eine weitere Anwendung für die entwickelte Pipeline ließ nicht lange auf sich warten. Die Firma Kräuter Mix aus Abtswind hatte das CERI um Unterstützung gebeten, manuelle Handlingprozesse für ihre Sackwaren zu automatisieren, um die Mitarbeiter weiter zu entlasten. Bisher werden die bis zu 30 kg schweren

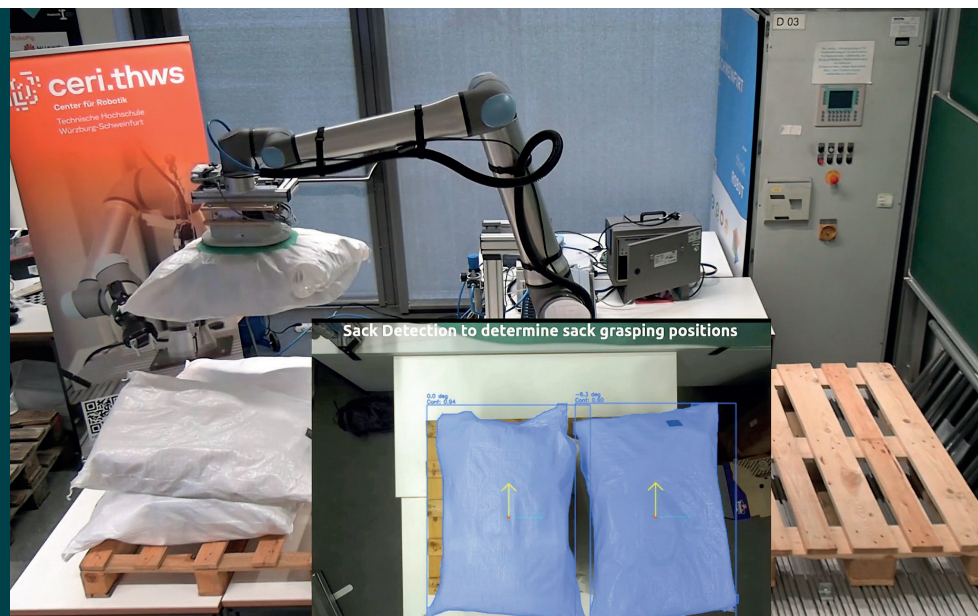
Säcke manuell depalettieren und der Inhalt in Verarbeitungsanlagen bzw. Aufgabebunker geschüttet – eine körperlich anstrengende Aufgabe.

Die Säcke bestehen aus unterschiedlichem Material (Papier, Plastik) und sind – anders als Pakete – „forminstabil“, d.h. sie sind nicht starr und verformen sich beim Anheben, insbesondere, wenn die Säcke nicht ganz gefüllt sind. Trotz der anders gearteten Problemstellung konnte das CERI die Grundstruktur der entwickelten Pipeline nutzen, um auch Sackware verlässlich zu erkennen und Greifpunkte zu berechnen. Auch hier werden zunächst mit Hilfe von KI künstliche Bilder und Labels von Säcken generiert, die dann zum Lernen des Objekterkennungssystems genutzt werden (siehe

Abb. 4). Erkennung und Greifpunktberechnung funktionieren bereits und das CERI ist derzeit dabei, die Robustheit des Systems an einem Laboraufbau zu testen und Sonderfälle zu identifizieren (siehe Abb. 5). Was als Aufgabe noch aussteht, ist das physische Greifen der Säcke mit einem entsprechenden industriellen Greifsystem.

Fazit: Das CERI hat gezeigt, dass die entwickelte Pipeline, basierend auf künstlich erzeugten Bilddaten und angereichert mit echten Bilddaten, einen vielversprechenden Ansatz für eine robuste Objekterkennung darstellt. Das CERI freut sich auf weitere Handlingaufgaben aus der Produktion und Logistik, die mit der entwickelten Pipeline plus Roboterarm gelöst werden können!

Abbildung 5:
CERI – Laboraufbau:
Depalettierungssystem
für Sackware im
Robustheits-Test



Short Facts:

Leitung

Prof. Dr. Tobias Kaupp
Prof. Dr.-Ing. Volker Willert

Standort & Kontakt

Campus Konrad Geiger
ceri.thws.de
robotik.fe@thws.de

Thema

Robotik aller Art

(Spezial-)gebiete

**Roboter-gestützte Produktion
und Intralogistik**
Robotik in der Landwirtschaft
Robotik im Gesundheitswesen
Autonomes Fliegen
**Mensch-Roboter-Interaktion
und Kollaboration**
Mixed Reality in der Robotik