

Perspektiven autonomer Inventarisierung

Transparente Lagerprozesse mittels autonomer Systeme

Torsten Hildebrandt, Lutz Frommberger, Diedrich Wolter, Christian Zabel, Bernd Scholz-Reiter und Christian Freksa,
Universität Bremen

Dipl.-Wirt.-Inf. Torsten Hildebrandt arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Bremen, Fachgebiet Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme.

Dipl.-Inform. Lutz Frommberger ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachbereich Mathematik/Informatik an der Universität Bremen und arbeitet im Sonderforschungsbereich SFB/TR 8 „Spatial Cognition“.

Dr. Diedrich Wolter ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachbereich Mathematik/Informatik an der Universität Bremen. Er ist Projektleiter des Projekts „R3-[Q-Shape]“ im Sonderforschungsbereich SFB/TR 8 „Spatial Cognition“.

Dipl.-Inf. Christian Zabel ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Bremen, Fachgebiet Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme.

Prof. Dr.-Ing. Bernd Scholz-Reiter leitet das Fachgebiet Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme (PSPS) an der Universität Bremen und ist Sprecher des Sonderforschungsbereichs 637 „Selbststeuerung logistischer Prozesse“.

Prof. Christian Freksa, Ph.D., leitet die Arbeitsgruppe „Cognitive Systems“ an der Universität Bremen. Er ist Sprecher des Sonderforschungsbereichs SFB/TR 8 „Spatial Cognition“.

Sogenannte chaotische Lagerhaltungssysteme gewinnen in der wirtschaftlichen Anwendung zunehmend an Bedeutung. Aufgrund ihrer hohen Dynamik und der damit verbundenen Unsicherheit über ihre Be-

standsführung stellen sie hohe Anforderungen an logistische Prozesse. Das im Folgenden vorgestellte Projekt führt Methoden zusammen, um sich diesen Anforderungen durch den Einsatz eines autonomen Inventurroboters stellen zu können. Dabei kommen Ansätze der kognitiv inspirierten Künstlichen Intelligenz zum Tragen, die es dem Roboter ermöglichen, in unbekanntem Umgebungen zielstrebig zu handeln. Trotz stetiger Veränderung der Umgebung wird der Roboter in die Lage versetzt, robuste Informationen über den Ist-Zustand von z.B. Lagerbereichen, ihrer räumlichen Lage und der dort gelagerten Waren zu erfassen. Die erfasste Information ist von Natur aus grob, dient aber dennoch als wertvolle Grundlage für die Analyse und Optimierung intralogistischer Prozesse.

Die Verfügbarkeit aktueller Zustandsinformationen stellt in Lagersystemen einen wesentlichen Faktor dar, um ihr Verhalten analysieren und optimieren zu können. Durch umfangreiche technische und organisatorische Systeme und Regelungen wurde und wird versucht, diese Informationen hinsichtlich Art, Menge, Ort und ggfs. Qualität gelagerter oder umgeschlagener Waren für betriebliche Prozesse und den effizienten Einsatz logistischer Planungs- und Steuerungssysteme stets aktuell verfügbar zu halten. Die meist manuell durchgeführten Handling- und Erfassungsarbeitsgänge sind jedoch unzuverlässig. Statt die eigentliche Lager-

funktion des Schutzes vor Unsicherheit bzgl. der genauen Verläufe von ein- und ausgehenden Materialflüssen zu erfüllen [1], ergibt sich eine zusätzliche Unsicherheitsquelle, die durch höhere Sicherheitsbestände ausgeglichen werden muss.

Obwohl das hier vorgestellte System in breitem Rahmen zur Analyse und Optimierung intralogistischer Systeme eingesetzt werden kann, wird im Folgenden die Lagerlogistik und hier speziell die chaotische Lagerhaltung als Beispiel verwendet. Bei chaotischen Lagerhaltungssystemen gibt es kein festes inneres Ordnungssystem des Lagers, im Gegensatz zur Fixplatzlagerung besteht keine bestimmte Zuordnung von Artikeln zu Stellplätzen. Bei Ein- und Auslagerungsprozessen ist es dort im Allgemeinen Aufgabe des Lagerpersonals, einen geeigneten Stellplatz zu finden.

In chaotischen Lagern ist eine schnelle und flexible Ein- und Auslagerung unter guter Ausnutzung der vorhandenen Lagerfläche gewährleistet. Allerdings führt diese hohe Dynamik zu geringerer Übersichtlichkeit, die eine kurzfristige Bestandsaufnahme bzw. eine zeitnahe Bestandsführung erschwert. Demzufolge ist die informationstechnische Verknüpfung der Waren mit ihrem aktuellen Standort eine Voraussetzung zum Betrieb eines chaotischen Lagers.

Das Vorhandensein solcher Daten und ihre Entwicklung im Zeitverlauf ergibt eine detailgetreue Abbildung des Lagers und erlaubt einem Logistikexperten Optimierungen der operativen

Kontakt:

Universität Bremen
Fachgebiet PSPS
Postfach 33 05 60
28335 Bremen
Tel.: 0421 / 218-5645
E-Mail: hil@biba.uni-bremen.de
URL: <http://www.ips.biba.uni-bremen.de/psps>

Prozesse z.B. durch Anpassungen im Lagerlayout, oder durch Modifikationen der Ein-/Auslagerungsstrategien: so muss das chaotische Lager im Beispiel nicht die beste Lösung darstellen, evtl. ist eine Mischung aus chaotischer Lagerung und Fixplatzlagerung (häufig umgeschlagene Teile erhalten feste Lagerplätze nahe des Eingangs, der Rest wird chaotisch eingelagert) unter den konkreten Randbedingungen die bessere Lösung. Derartige Entscheidungen setzen jedoch ein valides Modell des Systems voraus, das mit bisherigen Mitteln, wenn überhaupt, jedoch nur mit hohem Aufwand und Kosten ermittelt werden kann.

Als technologische Lösung verspricht insbesondere die Einführung RFID (Radio Frequency Identification)-basierter Identifikationstechnologien seit einigen Jahren eine deutliche Verbesserung der Prozesstransparenz (siehe z.B. [3]) und ist grundsätzlich geeignet automatisch Daten der erforderlichen Qualität und Quantität zu erfassen. Hierzu werden die zu erfassenden Objekte mit in der Regel passiven Tags versehen, die ihre eindeutige Identifikation ermöglichen. Die RFID-Einführung geht jedoch meist mit umfangreichen organisatorischen und technologischen Änderungen einher; Prozesse werden in der Regel zu so genannten geführten Prozessen umgestaltet, die Materialflüsse haben entlang genau definierter Punkte (z.B. durch RFID-Gates hindurch) zu erfolgen. Eine genaue Lokalisation der getaggten Objekte ist hierbei nur an den Standorten der RFID-Lesegeräte möglich. Derartige starre Prozesse sind nicht geeignet, die erforderlichen Daten zu liefern; der hohe Aufwand verbietet sich zudem, soll das erstellte System nicht auch später operativ weiter genutzt werden.

Eine genauere Erfassung der Position von Waren erfordert Lösungen, die in der Lage sind, die Positionen von RFID-Tags auch außerhalb fester Leser-Standorte zu bestimmen. Beispielsweise kann auf Lösungen wie mit RFID-Lesern bestückten und gleichzeitig permanent lokalisierbaren Flurförderfahrzeugen, etwa Gabelstapler, zurückgegriffen werden [4]. Dieser Ansatz erfordert aber

neben einem Positionierungssystem und der Ausrüstung der Flurförderfahrzeuge mit der entsprechenden Technik, die ausschließliche Beschränkung auf Be- und Entladevorgänge mit Hilfe der genannten Flurförderfahrzeuge. Lagerbewegungen mit sonstiger, nicht präparierter Umschlagtechnik und fehlerhafte Eingaben führen jedoch sofort zu einem inkonsistenten Datenbestand.

Lösungsansatz

Im Folgenden soll eine Lösung vorgestellt werden, die im geschilderten Einsatzszenario einsetzbar ist und ohne die genannten Einschränkungen auskommt. Sie basiert auf dem Einsatz eines mit RFID-Lesern ausgestatteten autonomen Roboters, der in der Lage ist, basierend auf unpräzisem Hintergrundwissen Inventurvorgänge durchzuführen.

Sein Einsatz in Distribution und Kommissionierung aber auch in Produktionsbereichen oder im Rahmen der Entsorgungslogistik ist an keine bestimmte Organisationsform der logistischen Prozesse oder das Vorhandensein bestimmter IT-Systeme geknüpft und reicht von komplett manuellen Systemen bis hin zu teilautomatisierten Prozessen. Dies macht ihn neben der direkten Unterstützung operativer Prozesse (wie der eben geschilderte Anwendungsfall in chaotischen Lagern oder z.B. die Automatisierung von Suchfahrten) für den temporären Einsatz insbesondere im Vorfeld von Prozessverbesserungen zur automatischen und genauen Aufnahme des Ist-Zustands sehr interessant.

Im Gegensatz zu stationären RFID-Lesern ist ein mobiles System in der Lage, die Position von RFID-Tags im Raum relativ exakt zu bestimmen [6, 7]. Möglich und wünschenswert ist ebenso der Einsatz zur Erfassung unbekannter Lager, von denen nur grobes Hintergrundwissen (etwa Layoutzeichnungen oder Wissen aus vorherigen Fahrten) vorhanden ist. Chaotische Lagerhaltungssysteme können stets zu einem gewissen Grad als unbekannt angesehen werden: Die hohe Dynamik

und unüberwachte, manuelle Lagerprozesse führen dazu, dass jede Momentaufnahme des Lagers nur eine kurze Zeit Gültigkeit hat. Die Genauigkeit von Informationen ist also sowohl räumlich als auch zeitlich begrenzt. Dies stellt erhöhte Anforderungen an die Repräsentation des Zustands des Lagers.

Herausforderung für Raumrepräsentation und Navigation

Gängige Verfahren zur zielgerichteten Navigation von Robotern basieren auf exaktem Wissen über die Umgebung und detailliertem Kartenmaterial. Als größte Herausforderung in der autonomen Roboternavigation in nicht präparierten Umgebungen wird die Verarbeitung unsicheren Wissens angesehen, denn alle Wahrnehmungen eines Roboters sind von Natur aus mit verschiedensten Messfehlern behaftet. Es gibt zwei prinzipielle Ansätze, sich der Herausforderung zu stellen [5]: durch ausgereifte stochastische Schätzer Sensordaten auf Detailebene exakt zu rekonstruieren oder durch qualitative Abstraktion zu einer von sich aus sicheren, wenn auch gröberen Ebene zu gelangen.

In der vorliegenden Umgebung ist Detailwissen nicht gegeben. Die Position von Paletten und Regalen ist variabel und gelagertes Material selbst kann als Hindernis Teil der Umgebung werden. Allerdings ist eine Information auf diesem Detailgrad auch nicht von Nöten, wenn nicht sogar hinderlich. Vielmehr ist es erstrebenswert, dass der autonome Roboter in der Lage ist, ausgehend von allgemeiner, unsicherer Information ein gleichsam variables und robustes Verhalten zu zeigen. Das betrifft einerseits die Frage nach dem kurzfristigen Navigationsverhalten des Roboters als auch die der mittelfristigen Pfadplanung unter Einbeziehung der logistischen Fragestellung.

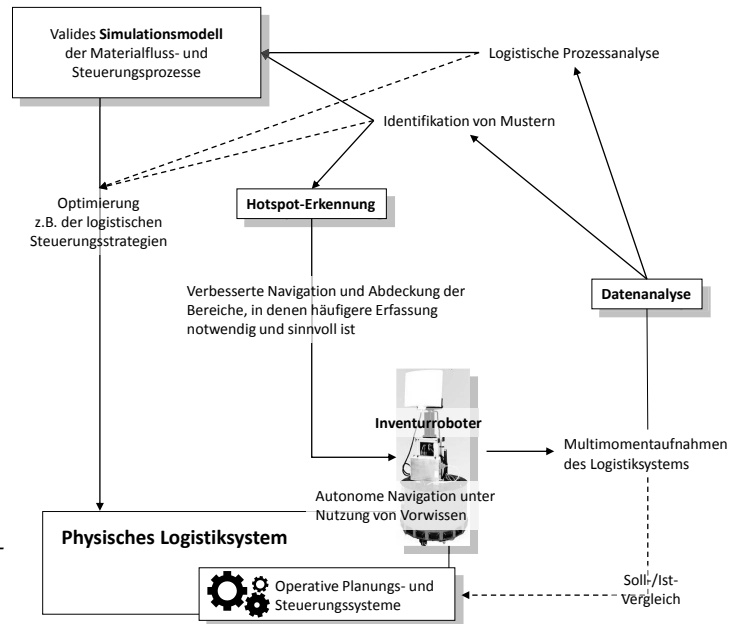
Mit dem Umgang und der Repräsentation von unsicherem Wissen beschäftigt sich insbesondere der Forschungszweig der kognitiv inspirierten

Künstlichen Intelligenz (KI). Ausgehend davon, dass auch der Mensch nur über unpräzises und lückenhaftes Wissen über seine Umgebung verfügt und dennoch in der Lage ist, geeignet und hocheffizient mit ihr zu interagieren, werden Konzepte der menschlichen Wahrnehmung auf maschinelle Prozesse übertragen. Statt der Speicherung exakter metrischer Daten operiert die kognitiv inspirierte KI auf einer höheren Abstraktionsebene mit Objekten und Relationen zwischen diesen Objekten. Dies ermöglicht nicht zuletzt auch eine einfache Kommunikation mit Menschen, da auch der Mensch mit diesen Konzepten arbeitet. Für die Navigation eines autonomen Roboters bedeutet es den Übergang vom metrischen zum symbolischen Planen.

Eine weitere Besonderheit des gegebenen Szenarios ist, dass eingelagerte Güter nicht beliebige Hindernisse darstellen, sondern aufgrund ihrer dem RFID-Tag entnehmbaren Produktzuordnung selbst eine Semantik tragen, die wertvolle Information zur Optimierung der Routenplanung bereitstellt. Dies erweitert die Fragestellung der Pfadplanung vom simplen Errechnen eines kürzesten Weges zwischen zwei Punkten zu einer Optimierungsaufgabe unter Einbeziehung mehrerer Parameter. Die interne Raumrepräsentation des Roboters wird zu einer semantischen Karte, in der nicht nur Hindernisse und Fahrwege, sondern auch Kontextwissen über enthaltene Entitäten gespeichert sind. Dies ermöglicht Schlussfolgerungen über geometrisches Wissen hinaus.

Ein plötzlich auftauchendes Hindernis aus Kaffeepackungen beispielsweise kann als dort abgestellte Palette interpretiert werden und dementsprechend als variables Hindernis angenommen werden, das mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit nach einiger Zeit wieder verschwunden sein wird. Basierend auf solchen Informationen können ebenso Schlussfolgerungen über die Lagerumgebung selbst gezogen werden, bspw. über den Grad der Dynamik in bestimmten Bereichen oder Einlagerungsstrategien der (menschlichen)

Bild 1: Einsatzmöglichkeiten des Inventurroboters.



Nutzer. All dies wiederum ermöglicht Rückkopplungen auf das Verhalten des Roboters selbst.

Logistische Einsatzmöglichkeiten

In Bild 1 ist schematisch dargestellt, welche Möglichkeiten sich durch die Nutzung des Roboters ergeben. Diese sollen im Folgenden anhand des Beispiels der chaotischen Lagerhaltung dargestellt werden. Die Ausgangssituation besteht darin, dass ein Unternehmen die Optimierung seines Lagers plant, in dem palettierte Güter gelagert und mittels Gabelstaplern bewegt werden. Das Lager wird als chaotisches Lager geführt; die Entscheidungen, wo Waren ein- oder umgelagert werden, werden von den Gabelstaplerfahrern getroffen und anschließend in einem Lagerverwaltungssystem manuell eingegeben. Dieses Vorgehen stellte sich als zu fehleranfällig heraus und soll nun verbessert werden. Darüber hinaus soll untersucht werden, welche weiteren Optimierungsmaßnahmen außer einer Vermeidung von Suchzeiten identifiziert werden können, etwa um die Ein- und Auslagerungszeiten zu verkürzen sowie die Lagerbestände und damit –kosten zu reduzieren. Das Unternehmen beauftragt eine Unternehmensbe-

ratung, die mittels Inventurroboter in der Lage ist, das Lager und dessen Ist-Prozesse detailliert und automatisiert zu erfassen.

Im unteren Teil von Bild 1 findet sich das physische Logistiksystem (im Beispiel also das Lager), in dem der Inventurroboter sich autonom bewegen kann. Operative Entscheidungen im Logistiksystem werden im Subsystem „Operative Planungs- und Steuerungssysteme“ getroffen. Ob und mit welchen IT-Systemen diese Entscheidungen getroffen werden, ist für den Einsatz des Roboters unerheblich. Für den Einsatz des Geräts selbst ist zunächst nur dafür zu sorgen, dass die zu erfassenden Paletten mit RFID-Tags versehen werden. Wäre das bestehende System bereits RFID-unterstützt, würde auch dieser Schritt entfallen.

In einer anschließenden Phase der Datenerhebung erfolgt prozessbegleitend, also ohne dass in die bestehenden Prozesse und Systeme eingegriffen wird, eine Erfassung des Ist-Zustands des Lagers. Der Roboter erfasst während seiner Fahrten den jeweils angetroffenen Ist-Zustand des Systems. Hierdurch ergeben sich Multi-Momentaufnahmen des Logistiksystems. Diese können einerseits direkt im Rahmen eines Soll-/Ist-Vergleichs zur Überprüfung der It. Lagerverwaltungssoftware



Bild 2: Der Roboter (hier noch ohne RFID-Reader und -Antenne) bei Fahrversuchen in einer nachgestellten Lagerumgebung.

erwarteten und tatsächlich angetroffenen Bestände verwendet werden.

Das eigentliche Potenzial liegt jedoch in weitergehenden Analysen dieser Multi-Momentaufnahmen, um hiermit einerseits eine logistische Prozessanalyse durchzuführen und andererseits darin Muster zu identifizieren. Bei der Analyse der Prozesse wird z.B. ermittelt, wie der Materialfluss im Lager ist, welche Waren ein- und ausgelagert werden und wie sich Kennzahlen wie die Umschlagshäufigkeit für einzelne Waren darstellen. Beispiele für zu identifizierende Muster sind etwa: „die Gasse zwischen Regalen A und B wird immer als Einbahnstraße genutzt“, „Produkt A wird immer in der Nähe des Eingangs eingelagert“. Derart qualitative Beschreibungen sollen aus einer geeigneten Raumrepräsentation direkt ablesbar sein. Karten, die verschiedene Abstraktionsebenen verbinden, dienen als Datenstruktur. Als eine weitere Art von Muster lassen sich Bereiche im Lager identifizieren, die sich sehr häufig ändern. Diese in der Abbildung als Hotspots benannten Bereiche sind wiederum für die Navigation des Roboters relevant, da hier häufiger eine Erfassung stattfinden muss, um Ein- und Auslagerungen zuverlässig erfassen zu können.

Die Simulation von Logistiksystemen ist oftmals das einzige praktikable Werkzeug, um unter den dort gegebenen komplexen Abläufen und Wechselwirkungen, z.B. in einem Lager die geeignetste Ein- und Auslagerungsstrategie identifizieren zu können. Dies setzt jedoch ein valides Simulationsmodell voraus, welches die Realität hinreichend genau wiedergibt. Ein solches aus den Daten operativer Logistiksysteme zu erstellen, ist jedoch aufgrund nicht ausreichender Datenqualität meist gar nicht oder nur sehr schwer möglich. Unter Einsatz des Inventurroboters und dem daraus gewonnenen Wissen bzgl. Prozessen sowie den identifizierten Mustern lassen sich solche Simulationsmodelle jedoch gut erstellen. Durch den automatisierten Datenerfassungs- und Auswertungsprozess ist es darüber hinaus möglich, auch verhältnismäßig lange Zeiträume kostengünstig zu erfassen.

Ein so erstelltes Simulationsmodell kann der Ausgangspunkt für viele verschiedene Optimierungsansätze sein, etwa die bereits angesprochene Auswahl der geeignetsten Lagerhaltungsstrategie (welche Waren werden festen Lagerplätzen zugeordnet, welche chaotisch

eingelagert) oder zur Durchführung einer simulationsgestützten Layout-Planung.

Wurden vielversprechende Optimierungsmöglichkeiten ermittelt, müssen diese im realen System eingeführt und erprobt werden. Auch hierbei erweist sich der Inventurroboter als sehr nützlich, ermöglicht er doch ebenfalls eine Erfassung der nun veränderten Prozesse und Strukturen. Wurden die neuen Prozesse korrekt umgesetzt? Darüber hinaus ergibt sich eine effektive Kontrolle der realisierten Verbesserungen. Aus der Simulation heraus lässt sich erneut grobes Wissen extrahieren, das als Vorwissen für den Roboter dienen kann: Beispielsweise können neue Layoutzeichnungen und simulativ ermittelte Hotspots direkt in die Raumrepräsentation des autonomen Systems eingehen und so dessen Adaption an die geänderten Verhältnisse unterstützen.

Hardwarebeschreibung und Testaufbau

In ersten Experimenten wurden Testfahrten in einer nachgestellten Lagerumgebung durchgeführt. Bild 2 zeigt die benutzte Pioneer 3-AT Roboterplattform der Firma MobileRobots Inc. Er verfügt über vier Räder, die durch ein Differentialgetriebe angetrieben werden. Der Pioneer 3-AT ist für die Verwendung in unebenem Terrain ausgelegt und somit für Lagerumgebungen mit oft unebenem Untergrund geeignet. Mittelfristig sollte jedoch auf eine andere Roboterplattform umgestiegen werden, da die starren Achsen des Pioneer 3-AT keine ausreichende Wendigkeit für die gegebene Umgebung ermöglichen.

Der Roboter ist ausgestattet mit einem 2D-Laserscanner der Firma SICK an der Frontseite. Er dient zur Erfassung von Entfernungswerten zu Hindernissen und somit zur Erstellung von Hinderniskarten zur Navigation. Zusätzlich erlaubt ein weiterer auf ca. 1,50m Höhe montierter Laserscanner auf einer Schwenk-Neige-Einrichtung die Erfassung von 3D-Entfernungsdaten, was als Zusatzinformation zur

Abstand des Roboters zum Referenzpunkt [m]	100 % Sendeleistung	50 % Sendeleistung
1	0,5 - 1 m (bis zu 2 m)	0,5 (bis zu 1,5 m)
2	0,5 - 1 m (bis zu 2 m)	0,5 - 1 m (bis zu 1,5 m)
3	0,25 - 1 m (bis zu 2 m)	0,25 - 0,5 m (bis zu 0,75 m)
4	0,25 - 0,5 m (bis zu 0,75 m)	0,25 m
Fazit:	Streuung bis zu 1 (2) Meter	Streuung bis zu 1 (1,5) Meter

Bild 3: Streuung der RFID-Reader-Antenne.

Lokalisierung von RFID-Tags im Raum dienen kann.

Parallel zu den Fahrversuchen erfolgten Experimente zur Charakterisierung der Kombination aus RFID-Reader und -Antenne. Bild 3 stellt ausgewählte Ergebnisse der Experimente zur Bestimmung der Charakteristika des verwendeten UHF-Readers (RFS2300 der Firma RUIFU) dar. Hierbei wurde bei einer Antennenhöhe von 1,2 m untersucht, wie sich der Erfassungsbereich der Antenne für verschiedene Abstände zwischen Roboter und zu erfassendem Objekt entwickelt. Darüber hinaus wurden verschiedene Sendeleistungen getestet, wodurch sich Rückschlüsse auf die Entfernung zwischen Antenne und erfasstem Objekt ziehen lassen. Die in der Tabelle angegebenen Werte geben die seitlichen Abstände (einseitig von der Hauptblickrichtung der Antenne aus betrachtet) wieder, in denen eine Erfassung möglich war. Diese Werte geben den Bereich an, in dem eine permanente Erfassung erfolgte, die größeren Entfernungen in Klammern sind der Wert, in dem zumindest gelegentlich Objekte erfasst wurden.

Fazit

Der vorliegende Beitrag stellt ein Projekt zur Entwicklung eines autonomen Inventurrobotersystems für intralogistische Systeme vor, der derzeit in Kooperation der Arbeitsgruppen „Kognitive Systeme“ und „Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme“ an der

Universität Bremen entwickelt wird. Am Beispiel eines chaotischen Lagers wurde sein Nutzen für die logistische Prozessoptimierung vorgestellt. Die Kombination von Methoden aus der kognitiv inspirierten KI mit Methoden zur logistischen Prozessanalyse und -optimierung ermöglicht eine Art „minimalinvasiven Eingriff“ in ein bestehendes Logistiksystem, um zuverlässig dessen Ist-Zustand prozessbegleitend zu erfassen, Optimierungsmöglichkeiten abzuleiten und die praktische Wirksamkeit dieser Optimierungen überprüfen zu können.

Der Einsatz von Methoden aus der kognitiv inspirierten KI ermöglicht einen effizienten Umgang mit unsicherem Wissen auf einer hohen Abstraktionsstufe. Daten aus der Lokalisierung von RFID-Tags der Produkte können mit räumlicher Information aus den Navigationsdaten des Roboters verknüpft werden und ergeben so ein Gesamtbild des aktuellen Ist-Zustands des Lagers. Aktuelle Arbeiten thematisieren diese Datenintegration. Mittelfristig stellen die geeignete Aufbereitung der so gewonnenen Daten als Ausgangspunkt sowohl für die logistische Prozessanalyse und -optimierung als auch für die Adaption der Inventurstrategien des autonomen Systems den Gegenstand unserer Arbeiten dar. Langfristig soll darüber hinaus untersucht werden, welche Anpassungen und weitergehenden Datenauswertungen nötig sind, um in den verschiedenen logistischen Einsatzszenarien des Systems sein vollständiges Potenzial erschließen zu können.

Literatur

- [1] Pfohl, H.-Chr.: Logistiksysteme, 6. Aufl. Berlin u.a. 2000.
- [2] Martin, H.: Transport- und Lagerlogistik. Braunschweig Wiesbaden 1995.
- [3] Finkenzeller, K.: RFID-Handbuch. Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten, 3. Aufl. München, Wien 2002.
- [4] Scholz-Reiter, B.; Gorltd, C.; Hinrichs, U.; Tervo, J.T.; Lewandowski, M.: RFID-Einsatzmöglichkeiten und Potentiale in logistischen Prozessen. MRC Technologie und Trendanalysen, BIBA-IPS 2007.
- [5] Wolter, D.: Spatial Representation and Reasoning for Robot Mapping - A Shape-Based Approach. Volume 48 of Springer Tracts in Advanced Robotics. Berlin u.a. 2008.
- [6] Hähnel, D.; Burgard, W.; Fox, D.; Fishkin, K.P.; Philipose, M.: Mapping and localization with RFID technology. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2004, S. 1015-1020.
- [7] Joho, D.; Plagemann, Chr.; Burgard, W.: Modeling RFID Signal Strength and Tag Detection for Localization and Mapping. In: Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), 2009, S. 3160-3165.

Schlüsselwörter:

Autonomie, Roboter, Inventur, RFID, Lagerlogistik

Perspectives of Autonomous Stocktaking – Transparent Warehouse Processes using Autonomous Systems

So-called chaotic storages get increasingly important in commercial use. Their high dynamics and resulting uncertainty about storage levels result in high requirements on logistic processes. The project presented in this paper combines methods to meet these requirements by the use of an autonomous stocktaking robot. It uses approaches from the field of cognitive inspired Artificial Intelligence, enabling the robot to act purposefully in an unknown environment. Even if the environment is constantly changing, the robot is able to acquire robust information about the current state of e.g., storage areas, their position and goods stored in them. The information gathered is of coarse granularity but is still be a valuable basis for the analysis and optimisation of intra-logistic processes.

Keywords: autonomy, robot, stocktaking, RFID, warehouse logistics