

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
24. Oktober 2019 (24.10.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/201873 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B25J 9/16 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/059704

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. April 2019 (15.04.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 109 320.9
19. April 2018 (19.04.2018) DE

(71) Anmelder: YUANDA ROBOTICS GMBH [DE/DE];
Carl-Buderus-Straße 7, 30455 Hannover (DE).

(72) Erfinder: ANGERSTEIN, Nico; Leineinsel 27, 30519
Hannover (DE). DAGEN, Matthias; Herzog-Heinrich-Weg 5, 30989 Gehrden (DE). KOTLARSKI, Jens;
Von-Roden-Weg 3, 30989 Gehrden (DE). OELTJEN, Ju-
lian; An der Lutherkirche 19, 30167 Hannover (DE). ORT-
MAIER, Tobias; Auf der Pferdekoppel 5, 30966 Hem-
mingen (DE). SCHOOB, Andreas; Goebenstraße 6, 30161
Hannover (DE).

(74) Anwalt: HOLZ, Christian; Osterstraße 27, 30159 Hanno-
ver (DE).

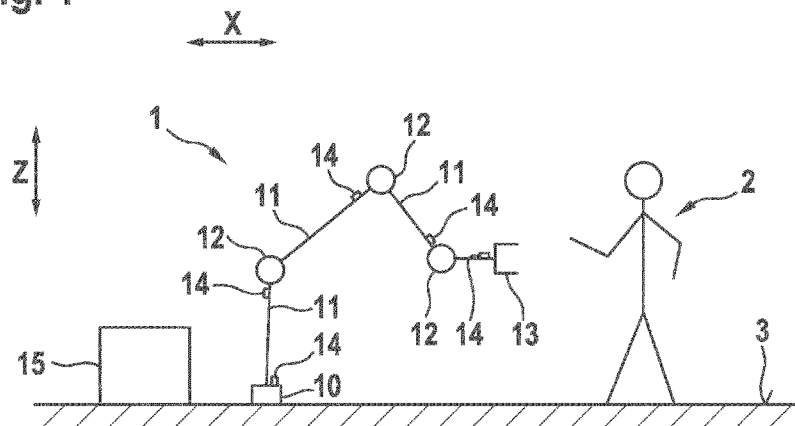
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP,
KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,
LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI,
SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(54) Title: METHOD FOR ASCERTAINING AN INTENTION OF A PARTNER WITH RESPECT TO MULTI-LINK ACTUATED
KINEMATICS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ERKENNUNG EINER INTENTION EINES PARTNERS GEGENÜBER EINER
MEHRGLIEDRIGEN AKTUIERTEN KINEMATIK

Fig. 1



(57) Abstract: The present invention relates to a method for ascertaining an intention of a partner (2) with respect to multi-link actuated kinematics (1), having at least the steps of: recording (100) several acceleration values, preferably three Cartesian acceleration values, of at least one link (11) of the kinematics (1), and classifying (500) the acceleration values in view of an intention of the partner (2) with respect to the kinematics (1).

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung einer Intention eines Partners (2) gegen-
über einer mehrgliedrigen aktuierten Kinematik (1), mit wenigstens den Schritten: Erfassen (100) mehrerer Beschleunigungswerte,
vorzugsweise von drei kartesischen Beschleunigungswerten, wenigstens eines Glieds (11) der Kinematik (1), und Klassifizieren (500)
der Beschleunigungswerte hinsichtlich einer Intention des Partners (2) gegenüber der Kinematik (1).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2019/201873 A1

Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

BESCHREIBUNG

Verfahren zur Erkennung einer Intention eines Partners gegenüber einer mehrgliedrigen aktuierten

5 Kinematik

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung einer Intention eines Partners gegenüber einer mehrgliedrigen aktuierten Kinematik gemäß des Patentanspruchs 1, ein Computerprogrammprodukt mit einem Programmcode zur Ausführung eines derartigen Verfahrens gemäß des Patentanspruchs 14 sowie eine mehrgliedrige aktuierte Kinematik zur Ausführung eines derartigen Verfahrens gemäß des
10 Patentanspruchs 15.

Bereits seit längerem werden Roboter als technische Apparaturen dazu verwendet, dem Menschen mechanische Arbeit abzunehmen. Roboter werden mittlerweile in vielen verschiedenen Bereichen eingesetzt. So sind in der Industrie insbesondere Knickarmroboter weit verbreitet, um insbesondere Aufgaben in der Montage, in der Fertigung, in der Logistik sowie beim Verpacken und Kommissionieren zu übernehmen. Ein Knickarmroboter ist üblicherweise eine 6-achsige Maschine mit einem kubischen Arbeitsraum, weshalb Knickarmroboter sehr flexibel eingesetzt werden können. Je nach Anwendung kann das Werkzeug, welches als Endeffektor dient, gewechselt werden. Ferner ist die Programmierung des Knickarmroboters an die Anwendung anzupassen. An sich kann der Knickarmroboter jedoch unverändert eingesetzt werden, was ihn sehr anpassungsfähig machen kann.

15 In den letzten Jahren haben sich die Roboter und insbesondere die Knickarmroboter dahin entwickelt, z.B. bei der Montage unmittelbar mit Personen zusammenzuarbeiten. Hieraus hat sich der Begriff des kollaborativen Roboters oder kurz Cobot (aus dem Englischen: collaborative robot) entwickelt. Es kann sowohl auf mechanische Abgrenzungen wie z.B. Gitterwände verzichtet werden, welche bisher üblich waren, um den Arbeitsraum des Roboters von der Umgebung zu trennen, in der sich Personen sicher
25 aufhalten können, als auch auf Lichtschranken, Lichtgitter und dergleichen, welche zumindest ein Betreten des Arbeitsraums des Roboters durch eine Person erkennen können. Vielmehr können sich Personen frei gegenüber dem Roboter bewegen.

Dies erfordert aus Sicherheitsgründen zugunsten der Personen, dass der Roboter einen Kontakt mit einer Person oder auch mit einem anderen Objekt wie z.B. einem anderen Antriebssystem, einem Werkstück, einem Werkzeug und dergleichen sicher erkennen und ggfs. durch ein Stoppen seiner Antriebe
30

hierauf reagieren kann, um die Sicherheit der Personen bzw. des Objekts sowie die eigene Sicherheit zu gewährleisten.

Zur Vermeidung einer Kollision mit einer Person oder mehreren Personen kann es auch hilfreich sein, wenn ein Roboter bereits im Vorhinein eine drohende Kollision erkennen und diese z.B. durch Ausweichen vermeiden kann. Diesbezüglich kann auch davon gesprochen werden, dass ein Roboter eine Absicht oder eine Intention einer Person erkennen und hierauf reagieren kann.

So ist aus der US 2017/0190051 A1 ein trainierter Klassifikator zur Verwendung mit einem Navigationsalgorithmus zur Verwendung mit mobilen Robotern bekannt, um sichere und effiziente Trajektorien zu berechnen. Ein Offline-Lernprozess wird verwendet, um einen Klassifikator für den Navigationsalgorithmus oder für den Bewegungsplaner zu trainieren. Nach Abschluss des Trainings können die Klassifikatorfunktionen bei Menschen in einem mit dem Roboter geteilten Raum die Absichten der Menschen, den Roboter am Abfahren seiner aktuellen Trajektorie zu hindern, genau erkennen. Im Betrieb kann der trainierte Klassifikator mit einer Regression basierend auf vergangenen Trajektorien von z.B. Menschen verwendet werden, um vorherzusagen, wohin sich die Menschen in der Zukunft bewegen werden und ob die Menschen wahrscheinlich Hindernisse für den mobilen Roboter darstellen. Der Planungsalgorithmus oder Bewegungsplaner erzeugt Trajektorien auf der Grundlage von Vorhersagen menschlichen Verhaltens, die es dem mobilen Roboter ermöglichen, sicherer und effizienter zwischen Menschenmengen zu navigieren.

Der Klassifikator wird derart realisiert, dass ein menschlicher Bewegungspfad sensorisch erfasst und dessen weiterer Verlauf vorausberechnet wird. Unter Berücksichtigung des eigenen aktuellen Bewegungspfads des mobilen Roboters wird vom Klassifikator ein Wert ausgegeben, welcher die Wahrscheinlichkeit repräsentiert, dass die Person, welche ihrem vorausberechneten Bewegungspfad folgt, den Bewegungspfad des mobilen Roboters blockiert. Basierend auf diesem Wert der Klassifikator-Ausgabe wird seitens des Bewegungsplaners ein sicherer und effizienter Bewegungspfad für den mobilen Roboter berechnet.

Die Vorausberechnung eines menschlichen Bewegungspfads im zweidimensionalen Raum und die hierauf abgestimmte Bewegung eines mobilen Roboters stellt eine vergleichsweise einfache Aufgabe dar, so dass die hierzu verwendeten Verfahren nicht auf die dreidimensionalen Bewegungen von Menschen und mehrachsigen bzw. mehrgliedrigen Robotern wie z.B. Knickarmrobotern übertragbar sind. Auch kann ein aus einer sensorisch erfassten Bewegung eines Menschen vorausberechneter weiterer Bewegungspfad nicht als erkannte Intention bezeichnet werden, da es sich hierbei lediglich um den weiteren Verlauf einer bereits begonnenen Bewegung handelt.

Die DE 10 2007 062 473 A1 betrifft ein Verfahren zur Betätigung einer Tür oder Klappe, insbesondere einer Fahrzeughür, mit wenigstens zwei kinematischen Freiheitsgraden, der wenigstens ein Aktuator zur motorischen Unterstützung einer Öffnungs- und bzw. oder Schließbewegung und bzw. oder eines Ent- oder Verriegelungsvorgangs zugeordnet ist. Zur Ansteuerung des wenigstens einen Aktuators werden
5 die Signale wenigstens einer Sensoreinrichtung ausgewertet. Die DE 10 2007 062 473 A1 betrifft auch eine entsprechende Tür, insbesondere eine Fahrzeughür.

Zu den Sensoren gehört eine optische Erfassungseinrichtung in Form einer Kamera mit nachgeschalteter Bildauswerteeinrichtung sowie ein mechanischer Sensor und bzw. oder ein druckempfindlicher Sensor. Hierdurch kann eine Kontaktsituation zwischen einer Person und der Tür erfasst werden, ggfs. über den
10 druckempfindlichen Sensor, auch, wie stark ein Benutzer an der Tür zieht oder drückt. Auch können durch die Kamera und bzw. oder durch z.B. induktive Sensoren eine Erkennung einer sich anbahnenden Interaktion zwischen Benutzer und Tür erfasst werden. Weitere Sensoren zur Erfassung des Bewegungszustands der Tür aufgrund von Positions-, Geschwindigkeits- und bzw. oder Beschleunigungswerten können vorgesehen sein.

Auf diese Weise können die den Benutzer unterstützenden Servokräfte des Aktuators derart angepasst werden, dass die Charakteristik der Bedienung der Tür weitgehend erhalten bleibt, auch bei Änderung der physikalischen Parameter. Das Ziel hierbei ist die weitgehende Konstanthaltung der Charakteristik der Tür für den Benutzer. Verschiedenste dieser Sensorwerte können dabei auch dazu verwendet werden, eine Intention des Benutzers zu erkennen. Die Intentionserkennung kann dann, vorzugsweise in
15 Kombination mit einer Kollisionsvermeidung, bei der Pfadplanung berücksichtigt werden.

Nachteilig ist hierbei, dass eine vergleichsweise aufwendige Sensorik verwendet werden muss, um die erforderlichen Messdaten zur Umsetzung des Verfahrens der DE 10 2007 062 473 A1 zur Verfügung zu stellen. Auch wird bei der DE 10 2007 062 473 A1 ein System mit lediglich zwei Freiheitsgraden sowie ein vergleichsweise einfacher Bewegungsablauf betrachtet, so dass das verwendete Verfahren nicht auf die
25 dreidimensionalen Bewegungen von Menschen und mehrachsigen Robotern wie z.B. Knickarmrobotern übertragbar ist.

Somit ist eine Intentionserkennung im Bereich der Mensch-Roboter-Kollaboration bisher nicht bekannt. Diese ist jedoch wünschenswert, um sowohl das Programmieren als auch den Betrieb von Robotern und insbesondere von Knickarmrobotern zu erleichtern und bzw. oder zu beschleunigen. Dies gilt insbesondere für kollaborative Roboter.
30

Derartige Überlegungen spielen auch bei Automatisierungsanlage eine Rolle, welche hinsichtlich der Beweglichkeit der angetriebenen Glieder zueinander den Robotern vergleichbar sind und für vergleichbare Aufgaben eingesetzt werden können. Gemeinsam können Automatisierungsanlagen sowie Roboter

und insbesondere Knickarmroboter als Antriebssysteme oder auch als mehrgliedrige aktuierte Kinematiken bezeichnet werden.

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zur Erkennung einer Intention eines Partners gegenüber einer mehrgliedrigen aktuierten Kinematik bereitzustellen. Dieses Verfahren soll möglichst einfach, kostengünstig und bzw. oder schnell ausgeführt werden können. Insbesondere soll dieses Verfahren auf eine mehrgliedrige aktuierte Kinematik mit mehr als zwei Freiheitsgraden angewendet werden können. Insbesondere soll dies für Roboter und ganz besonders für Knickarmroboter ermöglicht werden. Dabei sollen insbesondere die Bedienung, die Steuerung und bzw. oder die Programmierung einer mehrgliedrigen aktuierten Kinematik, ganz besonders eines Roboters, vereinfacht werden.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1, durch ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Patentanspruchs 14 sowie durch eine mehrgliedrige aktuierte Kinematik mit den Merkmalen des Patentanspruchs 15 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Somit betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Erkennung einer Intention eines Partners gegenüber einer mehrgliedrigen aktuierten Kinematik. Eine mehrgliedrige aktuierte Kinematik kann jegliche mechanische Konstruktion sein, welche mittels entsprechender Antriebe Bewegungen im Raum ausführen kann. Insbesondere weist eine derartige Kinematik wenigstens zwei Freiheitsgrade auf, vorzugsweise jedoch mehr als zwei Freiheitsgrade und besonders vorzugsweise sechs Freiheitsgrade. Unter einem Freiheitsgrad ist die Zahl der voneinander unabhängigen Bewegungsmöglichkeiten eines Systems zu verstehen. Hierzu kann die Kinematik mehrere Glieder aufweisen, welche mittels Antrieben gegenüber einander linear und bzw. oder rotatorisch bewegt werden können. Als Antriebe können hydraulische, pneumatische sowie elektrische Antriebe verwendet werden, wobei elektrische Antriebe z.B. aufgrund der einfachen Energiezufuhr über elektrische Leitungen auch über mehrere Glieder der Kinematik hinweg zu bevorzugen sind. Die Glieder können starre Körper darstellen, welche untereinander beweglich miteinander verbunden sein können; dies kann vorzugsweise über Gelenke und insbesondere über Drehgelenke umgesetzt werden. Die Kinematik kann insbesondere ein Roboter und ganz besonders bevorzugt ein Knickarmroboter sein, da derartige Kinematiken vielfältig und flexibel einsetzbar sein können. Als Kinematik kommen jedoch auch andere Vorrichtungen der Automatisierungstechnik in Betracht. Die räumliche Lage eines einzelnen Gliedes der Kinematik sowie eines Endeffektors der Kinematik kann als Pose bezeichnet werden, welche die Kombination von Position und Orientierung des Gliedes bzw. des Endeffektors darstellt.

Unter einem Partner können sowohl Lebewesen als auch Gegenstände verstanden werden, mit denen ein Zusammenwirken der mehrgliedrigen aktuierten Kinematik – kurz: Kinematik – erfolgen kann. Insbesondere können dies als Lebewesen Personen sein, deren Sicherheit von der Kinematik beachtet sowie

gewährleistet werden muss und die mit der Kinematik zusammenarbeiten und bzw. oder die Kinematik bedienen und bzw. oder programmieren können. Auch können die Gegenstände insbesondere Werkstücke sein, welche von der Kinematik bearbeitet, gehandhabt und dergleichen werden sollen, ebenso wie andere Kinematiken, mit denen die Kinematik zusammenarbeiten soll.

- 5 Unter einer Intension ist eine Absicht, ein Vorhaben, ein Ziel und dergleichen eines Einwirkens des Partners auf die Kinematik bzw. eines Zusammenwirkens des Partners mit der Kinematik bzw. eines Kontakts des Partners mit der Kinematik zu verstehen, um z.B. eine Bewegung auszuführen, welche insbesondere ein Bestandteil einer Aufgabe und insbesondere einer sich wiederholenden Aufgabe sein kann. Mit anderen Worten kann die Art und Weise eines Kontakts des Partners mit der Kinematik, um auf den Bewegungszustand der Kinematik einzuwirken, als die Intention, Absicht und dergleichen des Partners verstanden werden. Die Intention, Absicht und dergleichen des Partners kann auch als dessen bewusstes Handeln angesehen werden, um den Bewegungszustand der Kinematik zu beeinflussen bzw. zu verändern. Durch dieses Wirken bzw. Einwirken des Partners erfolgt eine Veränderung des Bewegungszustands der Kinematik, welche, wie nachfolgend erläutert werden wird, sensorisch erfasst, klassifiziert und hierdurch als Intention, Absicht und dergleichen des Partners erkannt werden kann. Insbesondere kann erkannt bzw. dazwischen unterschieden werden, ob es sich bei dem Einwirken des Partners auf die Kinematik um einen erwünschten Kontakt als Intention oder um einen unerwünschten Kontakt als Intention handelt. Entsprechend kann die Intention eines Gegenstands z.B. als weitere Kinematik insbesondere dessen einprogrammierte Bewegung sein, durch welche ein, insbesondere erwünschter oder unerwünschter, Kontakt mit der Kinematik entstehen kann.

Die Aufgabe kann ein Einzelschritt einer übergeordneten komplexeren Anwendung sein.

Das Verfahren weist wenigstens die Schritte auf:

- Erfassen mehrerer Beschleunigungswerte, vorzugsweise von drei kartesischen Beschleunigungswerten, wenigstens eines Glieds der Kinematik, und
- Klassifizieren der Beschleunigungswerte hinsichtlich einer Intention des Partners gegenüber der Kinematik.

Das Erfassen der mehreren Beschleunigungswerte eines Glieds der Kinematik kann mittels Beschleunigungssensoren erfolgen. Die Beschleunigungssensoren können vorzugsweise kapazitiv oder piezoelektrisch arbeitend umgesetzt werden, da diese Messprinzipien erprobt sind und kostengünstig umgesetzt werden können. Es kann pro zu erfassender Beschleunigungsrichtung jeweils ein einachsig messender Beschleunigungssensor verwendet werden. Vorzugsweise kann ein einziger mehrachsiger Beschleunigungssensor verwendet werden, welcher mehrere Beschleunigungswerte in unterschiedlichen Richtungen erfassen kann. Dies kann die Messung vereinfachen, da lediglich ein Sensor verwen-

det und ausgelesen werden muss. Auch können mittels eines mehrachsigen beschleunigungssensors die einzelnen Richtungskomponenten der Messung wie z.B. in den drei kartesischen Raumrichtungen direkt vom Sensor zur Verfügung gestellt werden, so dass auf ein anschließendes Kombinieren und Umrechnen von drei einzeln erfassten Beschleunigungswerten verzichtet werden kann. Dies kann
5 die Auswertung vereinfachen und beschleunigen sowie die Qualität der erfassten Beschleunigungswerte verbessern. In beiden Fällen werden die Beschleunigungswerte vorzugsweise in allen drei Raumrichtungen des kartesischen Koordinatensystems erfasst.

Das Klassifizieren kann mittels mathematischer Methoden bzw. mittels mathematischer Modelle erfolgen, welche in der Lage sind, aus erhaltenen Daten wie hier den mehreren Beschleunigungswerten eine
10 Einteilung bzw. Klassifikation in unterschiedliche Kategorien vorzunehmen, welche in diesem Fall unterschiedlichen Intentionen des Partners der Kinematik entsprechen. Hierdurch kann eine Intentionserkennung mit hoher Qualität und Verlässlichkeit umgesetzt werden. Weitere Vorteile werden weiter unten noch beschrieben. Ein Klassifizieren kann durch einen Klassifikator durchgeführt werden, welcher vorzugsweise als Software-Funktion umgesetzt sein kann.

Dabei können mittels des Klassifizierens z.B. unerwünschte Kontakte wie z.B. Kollisionen sowie erwünschte Kontakte wie z.B. Nutzereingaben, die Übergabe von Objekten wie z.B. Werkstücken und anderen Gegenständen seitens einer Person oder einer anderen Kinematik klassifiziert und hierdurch erkannt werden. Auch kann aus der Klassifikation der Beschleunigungswerte z.B. ein Stillstand der Kinematik erkannt werden. Ferner kann z.B. durch das Klassifizieren ein unerwünschtes Verhalten z.B. aufgrund
20 von fehlerhaften Modellparametern wie z.B. ein Abdriften im Gravitationskompensationsmodus aufgrund einer fehlerhaft parametrisierten Last am Endeffektor erkannt werden. Dabei kann vorzugsweise zunächst eine „grobe“ Klassifizierung zwischen unerwünschtem und erwünschtem Kontakt vorgenommen werden. Diese beiden Kontaktarten können jeweils genauer unterschieden werden, indem das Klassifizieren entsprechend differenzierend angelegt wird. Ferner kann das Klassifizierungsergebnis dazu
25 verwendet werden, mittels eines übergeordneten Klassifizierens komplexere Abläufe und Handlungen dem Klassifizierungsergebnis zuzuordnen, wie weiter unten noch beschrieben werden wird.

Der vorliegenden Erfindung liegt dabei die Erkenntnis zugrunde, dass Beschleunigungssensoren vergleichsweise kostengünstig sind, beispielsweise im Vergleich zu Achsmomentensensoren. Somit können die Daten, auf denen das nachfolgende Klassifizieren erfolgt, vergleichsweise kostengünstig zur Verfügung
30 gestellt werden. Dies kann die Umsetzung des erfindungsgemäßen Verfahrens begünstigen und die Verbreitung des Einsatzes des erfindungsgemäßen Verfahrens fördern, da die hierzu erforderlichen Sensorwerte vergleichsweise kostengünstig zur Verfügung gestellt werden können.

Vorteilhaft ist bei der Verwendung von Beschleunigungssensoren auch, dass diese z.B. als Mikrochip vergleichsweise kompakt umgesetzt werden können, so dass derartige Beschleunigungssensoren, ob

einachsig oder mehrachsig messend, kombiniert mit Elektroniken angeordnet werden können, welche z.B. zum Betrieb elektrischer Antriebe zur Aktuierung der Glieder bzw. der Gelenke ohnehin vorhanden sind. Beispielsweise können Beschleunigungssensoren auf der Motorcontroller-Platine eines elektrischen Antriebs bzw. eines Antriebsmoduls eines Glieds untergebracht werden, so dass die Beschleunigungen einfach, kompakt und bzw. oder kostengünstig sowie relativ nahe an der Achse des Gelenks erfasst werden können.

Das Ergebnis des Erkennens einer Intention des Partners kann vielfältig genutzt werden. Beispielsweise kann eine Darstellung eines grafischen Human-Machine-Interfaces der Kinematik an die erkannte Intention angepasst werden, indem dort Informationen angezeigt und bzw. oder Eingabemöglichkeiten angeboten werden, welche die erkannte Intention berücksichtigen. Auch können Hilfe-Texte und bzw. oder Schulungsmaterialien wie insbesondere Videos unter Berücksichtigung der erkannten Intention angeboten werden. Ferner kann eine entsprechende Applikation vorgeschlagen werden, welche zu der erkannten Intention passt. Ebenso kann ein passender Parametersatz für die Steuerung oder ein passender Regelalgorithmus für die Kinematik ausgewählt werden.

Gemäß eines Aspekts der vorliegenden Erfindung erfolgt ein Erfassen mehrerer Beschleunigungswerte pro Glied mehrerer Glieder, vorzugsweise aller Glieder, der Kinematik. Mit anderen Worten werden die Beschleunigungen, wie zuvor beschriebenen, jeweils für mehrere Glieder der Kinematik und vorzugsweise jeweils für alle Glieder der Kinematik erfasst, wobei dies lediglich für Glieder oder sonstige Bauteile der Kinematik erfolgt, welche auch im bestimmungsgemäßen Einsatz Bewegungen ausführen können. Hierdurch kann die Anzahl der Informationen erhöht werden, so dass dem Klassifizieren mehr Sensordaten zur Verfügung gestellt werden können, unter deren Berücksichtigung die Intentionserkennung des Partners mittels Klassifizieren erfolgen kann. Dies kann die Qualität des Klassifizierens verbessern.

Gemäß eines weiteren Aspekts der vorliegenden Erfindung erfolgt nach dem Erfassen wenigstens der weitere Schritt:

- Ermitteln eines Beschleunigungsvektors des Glieds, vorzugsweise eines Beschleunigungsvektors pro Glied, aus dessen erfassten Beschleunigungswerten,

wobei das Klassifizieren unter Berücksichtigung des Beschleunigungsvektors des Glieds, vorzugsweise der Beschleunigungsvektoren der Glieder, erfolgt.

Durch die Wandlung der erfassten Beschleunigungswerte in einen Beschleunigungsvektor können diese einfacher und kompakter dargestellt werden, was die anschließende Verarbeitung z.B. durch das Klassifizieren vereinfachen und insbesondere beschleunigen kann. Dies kann sich vorteilhaft auf die Leistungsfähigkeit des Verfahrens als Ganzes auswirken. Auch können die Information auf diese Art und Weise im

Arbeitsraum der Kinematik abgebildet werden, was sowohl für einen Benutzer als auch für das Klassifizieren anschaulicher und damit einfacher zu verarbeiten sein kann. Dies kann die Qualität des Klassifizierens verbessern. Der Beschleunigungsvektor wird dabei vorzugsweise in lokalen Koordinaten des entsprechenden Gliedes der Kinematik ermittelt. Insbesondere kann der Beschleunigungsvektor am Ort
 5 eines entsprechenden Beschleunigungssensors ermittelt werden.

Dabei können je nach verwendeten Sensordaten lediglich die Beschleunigungswerte eines Glieds oder einzelner Glieder in jeweils einen Beschleunigungsvektor gewandelt werden. Vorzugsweise werden alle zur Verfügung stehenden Beschleunigungswerte jeweils in Beschleunigungsvektoren gewandelt, um die zuvor beschriebenen Vorteile pro Glied und damit möglichst vollständig nutzen zu können.

10 Gemäß eines weiteren Aspekts der vorliegenden Erfindung erfolgt nach dem Ermitteln wenigstens der weitere Schritt:

- Transformieren des ermittelten Beschleunigungsvektors, vorzugsweise der ermittelten Beschleunigungsvektoren, von einem lokalen Koordinatensystem des Glieds in ein Koordinatensystem der Kinematik.

15 Auf diese Weise kann der Beschleunigungsvektor und insbesondere können die Beschleunigungsvektoren jeweils in ein Koordinatensystem transformiert werden, welches für das Verständnis einer Bewegung einer mehrgliedrigen aktuierten Kinematik hilfreich sein kann. Das Koordinatensystem der Kinematik kann auch als Bezugskoordinatensystem oder als Referenzkoordinatensystem bezeichnet werden. Dies kann es sowohl einem Benutzer als auch dem Schritt des Klassifizierens erleichtern, aus dem transformierten Beschleunigungsvektor bzw. aus den transformierten Beschleunigungsvektoren Schlussfolgerungen hinsichtlich der Bewegung der Kinematik zu ziehen. Dies kann somit das Klassifizieren begünstigen, um eine Intention eines Partners gegenüber der Kinematik zu erkennen.
 20

Gemäß eines weiteren Aspekts der vorliegenden Erfindung erfolgt nach dem Erfassen wenigstens der weitere Schritt:

- 25
- Ableiten wenigstens eines Features aus wenigstens den erfassten Beschleunigungswerten, vorzugsweise aus wenigstens dem ermittelten Beschleunigungsvektor, besonders vorzugsweise aus wenigstens den ermittelten Beschleunigungsvektoren,

wobei das Klassifizieren unter Berücksichtigung wenigstens eines Features, vorzugsweise mehrerer Features, erfolgt.

30 Unter dem Begriff „Feature“ ist ein Merkmal im Sinne des Feature Engineering zu verstehen. Feature Engineering ist der Prozess der Nutzung von Domänenwissen, um Features bzw. Merkmale aus den Da-

ten zu erstellen, die maschinelle Lernalgorithmen besser und bzw. oder schneller funktionieren lassen. Das Feature Engineering ist für die Anwendung des maschinellen Lernens von grundlegender Bedeutung. Das manuelle Feature-Engineering kann durch automatisiertes Feature-Learning vermieden werden. Die Features können im Zeitbereich und bzw. oder im Frequenzbereich erstellt und verarbeitet werden.

Durch das Ableiten von Features aus Daten wie z.B. aus erfassten Beschleunigungswerten oder aus ermittelten Beschleunigungsvektoren kann eine Vorverarbeitung der Daten stattfinden, um durch die Zuordnung der Daten zu Features die Menge der Daten zu reduzieren, da durch die anschließenden Schritte wie z.B. das Klassifizieren lediglich die Features weiterverarbeitet werden müssen anstelle der diesen zugrunde liegenden größeren Datenmengen. Dies kann das Klassifizieren beschleunigen und damit das gesamte Verfahren schneller werden lassen. Auch kann die Qualität des Klassifizierens verbessert werden. Dies kann vorzugsweise selbstständig durch automatisiertes Feature-Learning erfolgen.

Gemäß eines weiteren Aspekts der vorliegenden Erfindung ist das Klassifizieren ausgebildet, zwischen einem unerwünschten Kontakt und einem erwünschten Kontakt als Intention des Partners zu unterscheiden. Unter einem unerwünschten Kontakt ist eine Kollision der Kinematik mit dem Partner wie z.B. mit einer Person oder mit einem Gegenstand zu verstehen. Der Partner kann in diesem Moment mit seiner eigenen Bewegung die Bewegung der Kinematik kreuzen oder sich dieser statisch im Weg befinden. Unter einem erwünschten Kontakt ist z.B. ein Kontakt mit einer Person zu verstehen, welcher z.B. der Nutzereingabe dient wie z.B. dem Führen der Kinematik entlang einer Bahn zu dessen Programmierung. Auch kann ein erwünschter Kontakt mit der Umgebung bzw. mit einem Objekt stattfinden, indem ein Gegenstand von der Kinematik kontaktiert und hierdurch erkannt wird, z.B. um den Gegenstand zu greifen.

Somit ist es erfindungsgemäß möglich, durch das Klassifizieren der Beschleunigungswerte bzw. hierauf beruhender Daten bzw. Features der Kinematik Informationen zu übermitteln, wie sie auf diese Daten zu reagieren hat. Hierdurch kann das Zusammenwirken der Kinematik mit der Umgebung verbessert und bzw. oder vereinfacht werden.

Dabei wird von diesem Aspekt der vorliegenden Erfindung auch umfasst, da ein Kontakt lediglich als erwünscht erkannt und hierdurch als unerwünscht ausgeschlossen werden kann. Dies kann auch für mehrere unterschiedliche erwünschte Kontakte gelten. Dies kann die Umsetzung dieses Aspekts der vorliegenden Erfindung vereinfachen.

Gemäß eines weiteren Aspekts der vorliegenden Erfindung erfolgt der weitere Schritt:

- im Fall eines unerwünschten Kontakts, Versetzen der Kinematik in einen sicheren Zustand entsprechend der erkannten Intention, und bzw. oder
- im Fall eines erwünschten Kontakts, Reagieren der Kinematik auf den Partner entsprechend der erkannten Intention.

5 Ein sicherer Zustand kann beispielsweise durch das Abschalten der Antriebe erfolgen, indem diese z.B. von der Energieversorgung getrennt werden. Vorzugsweise kann zusätzlich ein Betätigen von Bremsen der Antriebe erfolgen, um die Bewegungen möglichst schnell sowie möglichst vollständig zu unterbin-
den. Ein sicherer Zustand kann jedoch auch dadurch erreicht werden, indem die Kinematik eine Bewe-
10 gung ausführt, welche sie ausreichend weit und vorzugsweise möglichst schnell von dem Partner weg-
führt, ohne dabei weitere Kollisionen oder andere Nachteile zu verursachen. Dies kann von der Kinema-
tik sowie von der Arbeitsumgebung und der Anwendung abhängen.

Auf jeden Fall kann die Kinematik hierdurch auf einen erkannten unerwünschten Kontakt angemessen reagieren. Dabei kann wenigstens das grundsätzliche Eintreten eines unerwünschten Kontakts erkannt werden; dies kann auch dadurch geschehen, dass ein erkannter Kontakt nicht als erwünscht klassifiziert
15 werden kann und somit im Umkehrschluss unerwünscht sein kann, wie zuvor bereits beschrieben. Auch kann in diesem Schritt zwischen verschiedenen unerwünschten Kontakten unterschieden und ggfs. je-
weils anders reagiert werden, während in dem vorangehenden Schritt vorzugsweise lediglich ein uner-
wünschter Kontakt an sich erkannt werden kann, ohne diesen näher zu differenzieren.

Im Fall eines erwünschten Kontakts erfolgt eine Reaktion in Abhängigkeit der erkannten Intention des
20 Partners. Beispielsweise kann als Intention des Partner z.B. in Form einer Person erkannt werden, dass die Person die Kinematik an einem Glied nahe dem Endeffektor umgreift und durch Ziehen oder Drü-
cken den Endeffektor auf einer Bahn bewegt bzw. von einem Ausgangspunkt zu einem Endpunkt eines Bewegungspfads führt, welcher von der Kinematik erlernt werden soll. Hierdurch kann eine einfache,
schnelle und intuitive Art der Programmierung der Kinematik erfolgen. Auch kann zu diesem Zweck ein
25 Glied der Kinematik von einer Person gegriffen und festgehalten werden, um eine Bewegung der Kine-
matik zu unterbrechen oder zu beenden und hierdurch z.B. eine neue Pose in die Bahnplanung der Ki-
nematik einzubringen. Ebenso kann eine Kinematik aus dem Stillstand von einer Person als Anweisung angeschoben werden, um eine Bewegung der Kinematik zu initialisieren. Vergleichbar kann eine Kine-
matik von einer Person als Programmierung in der Bewegung verlangsamt oder beschleunigt werden,
30 indem die Person ein Glied der Kinematik umgreift und langsamer weiterbewegt bzw. ein Glied der Ki-
nematik entlang des Bewegungspfads anschiebt. Darüber hinaus kann auch ein Schieben der Kinematik zur Seite von einer Person als Programmierung vorgenommen werden, um ein Ausweichen als kurzes
Bewegungssegment zu einer Bewegung hinzuzufügen.

Darüber hinaus kann es auch ermöglicht werden, dass die Kinematik eindeutige Aufgabenmuster sowie einfache Anteile einer Aufgabe aus der Intention einer Person erkennen kann. Dies können beispielsweise einfachere Bewegungsabläufe wie z.B. Schrauben, Kleben, Rütteln, Klopfen, Nehmen, Legen, Ziehen, Drücken und dergleichen sein. Diese Bewegungsabläufe können von der Kinematik durch Führung von der Person im Rahmen eines erwünschten Kontakts abgefahren und hierdurch erkannt und dadurch angelernt werden.

Mit anderen Worten kann zunächst, wie zuvor beschrieben, grundsätzlich zwischen einem unerwünschten Kontakt und einem erwünschten Kontakt unterschieden werden. Auf einen unerwünschten Kontakt grundsätzlich anders als auf einen erwünschten Kontakt reagiert werden. Im vorliegenden Schritt kann dann jeweils genauer unterschieden werden, welche Art von unerwünschtem Kontakt vorliegt und wie hierauf z.B. durch Stoppen, durch Ausweichen, durch Zurückweichen etc. zu reagieren ist. Ebenso kann, wie zuvor ausgeführt, zwischen verschiedenen Arten von erwünschtem Kontakt unterschieden und entsprechend reagiert werden.

Gemäß eines weiteren Aspekts der vorliegenden Erfindung wird zumindest ein Teil der Verfahrensschritte wenigstens einmalig, vorzugsweise mehrmalig, wiederholt, wobei das Klassifizieren unter Berücksichtigung mehrerer zeitlich versetzter, vorzugsweise zeitlich unmittelbar aufeinanderfolgender, Beschleunigungswerte, vorzugsweise Beschleunigungsvektoren, besonders vorzugsweise Features, erfolgt. Mit anderen Worten wird ein zeitlicher Verlauf der Daten, welche der Klassifizierung zugrunde liegen, betrachtet. Hierzu sind wenigstens zwei zeitlich versetzte Beschleunigungswerte oder dergleichen als Daten erforderlich. Diese Daten können unmittelbar aufeinanderfolgend erfasst worden sein, was zur Erkennung einer Intention vorteilhaft sein kann, da diese Daten derselben Handlung des Partners zugeschrieben werden können. Es können jedoch auch Daten verwendet werden, welche einen größeren zeitlichen Versatz zueinander aufweisen können, so dass bei einer hohen Datenerfassungsrate die Datenmengen reduziert werden und dennoch die Daten derselben Handlung des Partners zugeordnet werden können, welche üblicherweise signifikant langsamer als die sensorische Datenerfassung erfolgt.

Auf diese Art und Weise können mehr Daten verwendet werden, um hierauf ein Klassifizieren anzuwenden. Vorzugsweise wird eine Mehrzahl, besonders vorzugsweise eine Vielzahl, von derartigen Daten verwendet, wobei die Qualität des Klassifizierens grundsätzlich mit der Menge an verwendeten Daten gesteigert werden kann. Insbesondere kann das Erkennen von eindeutigen Aufgabenmustern sowie einfachen Anteilen einer Aufgabe aus der Intention eines Partners hierdurch begünstigt werden.

Um gleichzeitig die Ausführung des Verfahrens nicht zu rechenintensiv bzw. zu langsam werden zu lassen, kann vorzugsweise die Rate der Datenerfassung soweit reduziert werden, dass die Charakteristiken der zu erkennenden Intentionen des Partners aus möglichst wenigen Daten erkannt werden kann. Die

Wahl der Rate der Datenerfassung kann sich je nach Anwendungsfall aus der praktischen Umsetzung ergeben.

Gemäß eines weiteren Aspekts der vorliegenden Erfindung erfolgt der weitere Schritt:

- übergeordnetes Klassifizieren des erkannten erwünschten Kontakts des Partners hinsichtlich eines Bewegungsablaufs, der über die erkannte Intention an sich hinausgeht.

Hierunter ist zu verstehen, dass wie zuvor beschrieben durch das Klassifizieren der Beschleunigungswerte und dergleichen eine erwünschte Intention des Partners erkannt werden kann. Dies kann auch das Erkennen von eindeutigen Aufgabenmustern sowie einfachen Anteilen einer Aufgabe aus der Intention eines Partners beinhalten. Durch die Verwendung eines zeitlichen Verlaufs der Daten, welche der Klassifizierung zugrunde liegen, kann dies begünstigt werden. Jedoch kann das Klassifizieren hierdurch auf das Erkennen einer Intention eines Partners beschränkt sein, welche sich direkt aus diesen Daten ergeben kann.

Daher geht dieser Aspekt der vorliegenden Erfindung einen Schritt weiter, indem eine erkannte Intention durch das übergeordnete Klassifizieren als Abschnitt bzw. Bestandteil eines weiterreichenden Handlungs- oder Bewegungsablaufs erkannt werden kann. Mit anderen Worten kann unter Berücksichtigung erkannter Aufgabenmuster sowie einfacher Anteile einer Aufgabe die Gesamtaufgabe an sich als vollständiges Applikationsszenario erkannt werden. Beispielsweise können dies Pick-and-Place-Aufgaben, ein Farbauftrag, ein Punktschweißauftrag sowie administrative Aufgaben wie z.B. das Einmessen eines Werkzeugs oder eines Koordinatensystems sein.

Beispielsweise kann die Kinematik von einer Person durch einen gewünschten Kontakt geführt und hierdurch ein Anfahren eines Gegenstands sowie das Greifen des Gegenstands ausgeführt werden. Diese Bewegung und das Greifen können durch das Klassifizieren als solches von der Kinematik als Intention der Person erkannt werden. Hierdurch kann durch das übergeordnete Klassifizieren, welches ebenso wie das „einfache“ Klassifizieren durch entsprechende mathematische Verfahren bzw. Modelle umgesetzt werden kann, eine Zuordnung dieser Handlung von Bewegung und Greifen zu einer vorbekannten komplexeren Pick-and-Place-Aufgabe erfolgen, welche hierdurch als auszuführende Aufgabe für die Kinematik erkannt werden kann. Somit kann eine Person eine derartige komplexere Aufgabe starten, indem ausreichende Teilschritte durch Führen der Kinematik durchgeführt werden, so dass die Kinematik hieraus die komplexere Aufgabe als Intention der Person erkennen und diese nun selbsttätig weiterführen kann. Dies kann eine intuitive Möglichkeit schaffen, einer derartigen Kinematik eine Anweisung zur Ausführung einer bekannten komplexeren Aufgabe zu geben.

- Gemäß eines weiteren Aspekts der vorliegenden Erfindung erfolgt das Ableiten wenigstens eines Features, vorzugsweise mehrerer Features, besonders vorzugsweise aller Features, zusätzlich unter Berücksichtigung wenigstens eines erfassten Positionswerts wenigstens eines Glieds der Kinematik, vorzugsweise der erfassten Positionswerte pro Glied mehrerer Glieder der Kinematik, besonders vorzugsweise aller Glieder der Kinematik, und bzw. oder wenigstens eines erfassten und bzw. oder bestimmten Geschwindigkeitswerts wenigstens eines Glieds der Kinematik, vorzugsweise der erfassten und bzw. oder bestimmten Geschwindigkeitswerte pro Glied mehrerer Glieder der Kinematik, besonders vorzugsweise aller Glieder der Kinematik, und bzw. oder wenigstens des bestimmten Positionswerts eines Endeffektors der Kinematik und bzw. oder wenigstens des bestimmten Geschwindigkeitswerts eines Endeffektors der Kinematik und bzw. oder eines erfassten Motorstroms eines elektrischen Antriebs wenigstens eines Glieds der Kinematik, vorzugsweise des erfassten Motorstroms eines elektrischen Antriebs pro Glied mehrerer Glieder der Kinematik, besonders vorzugsweise aller Glieder der Kinematik. Hierdurch können zusätzliche weitere Informationen genutzt werden, um die hieraus abgeleiteten Features in der Qualität zu verbessern, was sich positiv auf das Klassifizieren auswirken kann.
- Unter einem Positionswert eines Gliedes kann je nach Bewegungsrichtung des Gliedes entweder eine Positionsangabe in einer translatorischen Richtung bei einem linear beweglichen Glied oder eine Positionsangabe in einer rotatorischen Richtung wie z.B. eine Winkelinformation bei einem rotatorisch beweglichen Glied verstanden werden. Dies gilt entsprechend für die Geschwindigkeitswerte. Sowohl bei den Positionswerten als auch bei den Geschwindigkeitswerten wird jeweils eine relative Position bzw. Geschwindigkeit zwischen den jeweiligen Gliedern erfasst bzw. bestimmt.
- Diese Positionswerte können jeweils mittels entsprechender Sensoren erfasst werden. Dies kann dadurch begünstigt werden, dass die Posen der Glieder der Kinematik üblicherweise ohnehin bekannt sind, da die Längen bzw. Winkel der Gelenke üblicherweise bereits erfasst werden, um die Posen der Glieder und z.B. bei einem Roboter als Kinematik hieraus die Position und Orientierung eines Endeffektors zu bestimmen. Somit können sowohl hinsichtlich der Positionswerte der Glieder der Kinematik als auch der Positionswerte des Endeffektors der Kinematik bereits vorhandenen Daten genutzt werden, welche nicht zusätzlich erfasst werden müssen. Insbesondere sind keine zusätzlichen Sensoren hierzu erforderlich.
- Ein Geschwindigkeitswert kann vorzugsweise durch zeitliches Differenzieren aus sensorisch erfassten Positionswerten berechnet werden, so dass zusätzliche Informationen zur Verfügung gestellt werden können, ohne hierzu zusätzliche Sensoren wie z.B. Geschwindigkeitssensoren verwenden zu müssen. Dies gilt ebenso für die Geschwindigkeitswerte des Endeffektors der Kinematik. Hierdurch kann der Aufwand zur Erlangung dieser zusätzlichen Informationen gering gehalten und weitere Kosten vermieden werden. Alternativ können jedoch auch Geschwindigkeitssensoren verwendet werden, welche vor-

zugswise bereits vorhanden sind. Sind zusätzliche Geschwindigkeitssensoren zu verwenden, so können diese Kosten und der entsprechende Aufwand der Verkabelung sowie der Sensordatenerfassung, -aufbereitung und -auswertung dadurch gerechtfertigt sein, dass zusätzliche und unabhängige Daten gewonnen werden können, welche für das Klassifizieren genutzt werden können. Dies kann die Qualität des Klassifizierens verbessern.

Die Einbeziehung von Motorströmen kann neben den zuvor beschriebenen Daten, welche Zusammenhänge einer Bewegung darstellen, zusätzliche Aspekte mit in das Klassifizieren einbringen, welche aus den elektrischen Antrieben der Glieder resultieren. Hierdurch kann eine andere Art von Information zusätzlich zum Klassifizieren verwendet werden, was die Qualität der Ergebnisse des Klassifizierens weiter verbessern kann. Dies kann üblicherweise ohne zusätzliche Sensorik erfolgen, da die Motorströme der Antriebe von deren Steuerungen ohnehin erfasst werden und somit ohne zusätzlichen Aufwand und ohne zusätzliche Kosten zur Verfügung gestellt werden können.

Gemäß eines weiteren Aspekts der vorliegenden Erfindung erfolgt das Klassifizieren unter Berücksichtigung eines vorangehenden Anlernens, wobei beim Anlernen zumindest ein Teil der Verfahrensschritte unter Kenntnis der Intention des Partners ausgeführt wurden, und bzw. oder wobei beim Anlernen simulativ erzeugte Daten, vorzugsweise unter Berücksichtigung eines Kinematikmodells und bzw. oder eines Dynamikmodells der Kinematik, verwendet werden. Unter einem Anlernen ist ein Trainieren der mathematischen Verfahren bzw. Modelle zu verstehen, welche dem Klassifizieren zugrunde liegen.

Zu diesem Zweck können verschiedene unerwünschte und erwünschte Kontakte der Kinematik mit wenigstens einem Partner und vorzugsweise mit verschiedenartigen Partnern ausgeführt und hierbei die Beschleunigungswerte und dergleichen erfasst werden. Dem Klassifizieren kann dabei vorgegeben werden, ob es sich um einen unerwünschten oder erwünschten Kontakt, um welche Art von unerwünschtem oder erwünschtem Kontakt sowie um was für einen Partner es sich handelt. Hierdurch kann das Klassifizieren bzw. der Klassifikator lernen, diese Szenarien zu unterscheiden und die Besonderheiten in den Daten zu erkennen, welche Rückschlüsse auf diese Szenarien zulassen. Ausgehend von diesem Wissen kann das Klassifizieren im Betrieb erfolgen, wenn das erfindungsgemäße Verfahren auf unbekannte Situationen angewendet wird.

Zusätzlich oder alternativ können Simulationsdaten verwendet werden, welche derartige Szenarien darstellen können. Die Simulationsdaten bzw. simulativ erzeugte Daten können auch als modellbasierte Daten bezeichnet werden. Diese können zusätzlich oder alternativ zu erfassten Beschleunigungswerten und dergleichen verwendet werden, um das Klassifizieren anzulernen. Hierbei auf einem Kinematikmodell und bzw. oder auf einem Dynamikmodell der Kinematik basierende Daten zu verwenden kann die Qualität der Simulationsdaten erhöhen und ausreichend an die realen Bedingungen annähern, so dass ein Anlernen des Klassifizierens mit den Simulationsdaten mit einer vergleichbaren Qualität wie mit

sensorisch erfassten Daten erfolgen kann. Dies kann den Aufwand der Bereitstellung von Daten zum Anlernen reduzieren, jedoch zu vergleichbaren Ergebnissen des Anlernens führen.

5 Gemäß eines weiteren Aspekts der vorliegenden Erfindung erfolgt das Klassifizieren unter Berücksichtigung wenigstens eines vorangehenden Klassifizierens, wobei das Ergebnis des Klassifizierens in Abhängigkeit einer Bewertung berücksichtigt wird. Auf diese Art und Weise können die Erkenntnisse, welche sich aus der Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben, fortlaufend zum weiteren Anlernen des Klassifizierens bzw. des Klassifikators verwendet werden, um dessen Fähigkeiten über das ursprüngliche Anlernen hinaus zu verbessern. Mit anderen Worten kann die Anwendung des Verfahrens in der Praxis dazu verwendet werden, die hierbei gewonnenen Erkenntnisse in die Weiterentwicklung des
10 Klassifizierens einfließen zu lassen, so dass sich das Klassifizieren fortlaufend weiterentwickeln kann. Dies kann die Qualität des Klassifizierens weiter steigern.

Hierbei ist es jedoch, vergleichbar dem Anlernen, erforderlich, das Ergebnis jedes Klassifizierens zu bewerten um dem Verfahren eine Rückmeldung zu geben, ob das Klassifizieren erfolgreich durchgeführt wurde oder nicht. Mit anderen Worten muss von außerhalb des Verfahrens beurteilt werden, ob die
15 tatsächliche Intention mit der klassifizierten Intention übereinstimmt oder nicht. In beiden Fällen kann dies zur Verbesserung des Schrittes des Klassifizierens beitragen bzw. den Klassifikator in seiner Genauigkeit verbessern helfen. Diese Bewertung kann selbsttätig z.B. dadurch erfolgen, dass das Ergebnis in Relation zu anderen Randbedingungen, Messdaten sowie hieraus gewonnener Ergebnisse betrachtet wird. Beispielsweise kann ein Überschreiten von zulässigen Geschwindigkeiten oder Positionen der Kinematik dazu führen, dass ein Widerspruch zu einer als zulässig klassifizierten Bewegung der Kinematik
20 erkannt und somit z.B. das Klassifikationsergebnis als unzutreffend erkannt sowie nicht zur Weiterentwicklung des Klassifizierens verwendet wird. Im umgekehrten Fall kann das Einhalten von bestimmten Parametern zu einer Bestätigung eines klassifizierten Verhaltens als zutreffend führen, so dass dieses Klassifizierungsergebnis zukünftig bei dem Klassifizieren berücksichtigt wird. Zusätzlich oder alternativ
25 kann das Ergebnis des Klassifizierens einem Benutzer mitgeteilt und lediglich dann zukünftig beim Klassifizieren berücksichtigt werden, falls das Ergebnis des Klassifizierens vom Benutzer als zutreffend bestätigt wird. Die Rückmeldung vom Benutzer zum Ergebnis des Klassifizierens kann auch indirekt erfolgen, indem z.B. eine vorgeschlagene Applikation vom Benutzer angenommen oder abgelehnt wird. Dies kann zu einer sicheren Aussage über den Erfolg des Klassifizierens führen.

30 Gemäß eines weiteren Aspekts der vorliegenden Erfindung erfolgt das Klassifizieren mittels eines Verfahrens des maschinellen Lernens, vorzugsweise mittels eines Support-Vector-Machine-Verfahrens oder mittels eines neuronalen Netzes. Hierdurch können geeignete Verfahren verwendet werden, um das Klassifizieren wie zuvor beschrieben umzusetzen. Unter dem maschinellen Lernen wird als ein Oberbegriff die „künstliche“ Generierung von Wissen aus Erfahrung verstanden. Ein künstliches System lernt

aus Beispielen und kann diese nach Beendigung der Lernphase verallgemeinern. Mit anderen Worten werden nicht Beispiele auswendig gelernt, sondern das Verfahren „erkennt“ Muster und Gesetzmäßigkeiten in den Lerndaten. So kann das System auch unbekannte Daten beurteilen und hierdurch einen Lerntransfer durchführen. Hierzu können Regressionsverfahren oder Klassifizierungsverfahren wie z.B. das Support-Vector-Machine-Verfahren oder neuronale Netze verwendet werden.

Die vorliegende Erfindung betrifft auch ein Computerprogrammprodukt mit einem Programmcode, der auf einem von einem Computer lesbaren Medium gespeichert ist, zur Ausführung eines Verfahrens wie zuvor beschrieben. Das computerlesbare Medium kann ein interner Speicher eines Computers sowie ein entfernbarer Speicher wie z.B. eine Diskette, eine CD, eine DVD, ein USB-Stick, eine Speicherkarte und dergleichen sein. Unter einem Computer wird jegliche Recheneinheit verstanden, welche dazu in der Lage ist, das Verfahren auszuführen. Auf diese Art und Weise kann das erfindungsgemäße Verfahren einem Computer, welcher eine Steuerungseinheit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung sein kann, zur Verfügung gestellt werden.

Die vorliegende Erfindung betrifft auch eine mehrgliedrige aktuierte Kinematik, vorzugsweise einen Roboter, besonders vorzugsweise einen Knickarmroboter, zur Ausführung eines Verfahrens wie zuvor beschrieben mit mehreren Gliedern, welche durch aktuierte Gelenke miteinander verbunden sind, wobei wenigstens ein Glied, vorzugsweise mehrere Glieder, besonders vorzugsweise alle Glieder, wenigstens einen Beschleunigungssensor aufweisen, und mit einer Steuerungseinheit, welche ausgebildet ist, ein Verfahren wie zuvor beschrieben auszuführen. Hierdurch kann eine Kinematik geschaffen werden, mit welcher das erfindungsgemäße Verfahren ausgeführt werden kann. Die diesbezüglichen Eigenschaften und Vorteile wurden bereits zuvor hinsichtlich des erfindungsgemäßen Verfahrens beschrieben und sollen daher hier nicht wiederholt werden.

Ein Ausführungsbeispiel und weitere Vorteile der Erfindung werden nachstehend im Zusammenhang mit den folgenden Figuren erläutert. Darin zeigt:

Fig. 1 eine seitliche schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen mehrgliedrigen aktuierten Kinematik; und

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Ablaufdiagramms eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

Die Fig. 1 wird in kartesischen Koordinaten betrachtet. Es erstreckt sich eine Längsrichtung X, welche auch als Tiefe X bezeichnet werden kann. Senkrecht zur Längsrichtung X erstreckt sich eine Querrichtung, welche auch als Breite bezeichnet werden kann. Senkrecht sowohl zur Längsrichtung X als auch zur Querrichtung erstreckt sich eine vertikale Richtung Z, welche auch als Höhe Z bezeichnet werden kann.

Fig. 1 zeigt eine seitliche schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen mehrgliedrigen aktuierten Kinematik 1 in Form eines Roboters 1 und genauer eines Knickarmroboters 1. Der Knickarmroboter 1 weist eine Basis 10 auf, mit welcher der Knickarmroboter 1 auf einem Untergrund 3 feststehend angeordnet ist, wobei der Knickarmroboter 1 auch mobil ausgebildet sein kann. Von der feststehenden Basis 10 weg erstrecken sich mehrere Glieder 11, welche untereinander mit aktuierten Gelenken 12 verbunden sind. Hierdurch bildet der Knickarmroboter 1 eine serielle kinematische Kette aus, welche sich von der Basis 10 hin zu einem Endeffektor 13 erstreckt. Der Endeffektor 13 kann z.B. mit einem Greifer versehen bzw. als Greifer ausgebildet sein, um Gegenstände greifen und mit sich mit bewegen zu können. Die Bewegungen des Knickarmroboters 1 sowie die Betätigung des Greifers des Endeffektors 13 werden von einer Steuerungseinheit 15 gesteuert bzw. geregelt, welche auch als Recheneinheit 15 oder Hauptrechner 15 des Knickarmroboters 1 bezeichnet werden kann.

Die Gelenke 12 sind jeweils als Drehgelenke 12 ausgebildet und werden dadurch aktuiert, dass jeweils ein elektrischer Antrieb pro Gelenke 12 vorgesehen ist (nicht dargestellt), welcher dieses rotatorisch antreiben kann. Die Antriebe werden jeweils von einem Motorcontroller gesteuert bzw. geregelt (nicht dargestellt), welcher auch die Messgrößen des jeweiligen Antriebs erfassen kann. Der Antrieb eines Gelenks 12 bzw. dessen Motorcontroller ist jeweils auf dem Glied 11 angeordnet, welches der Basis 10 zugewandt ist. Somit wird das Gewicht des Antriebs bzw. dessen Motorcontrollers jeweils von dem Glied 11 getragen, welches näher an der Basis 10 angeordnet ist. Hierdurch kann das zu bewegendes Gewicht möglichst gering gehalten werden.

Erfindungsgemäß ist für jedes Gelenk 12 ein Beschleunigungssensor 14 vorgesehen, welcher jeweils auf der Platine des entsprechenden Motorcontrollers des Antriebs des Gelenks 12 angeordnet ist. Die Beschleunigungssensoren 14 sind jeweils ausgebildet, die Beschleunigungen in den drei kartesischen Raumrichtungen bezogen auf die Motorcontrollerplatine gemeinsam zu erfassen, so dass hierzu lediglich jeweils ein Beschleunigungssensor 14 erforderlich ist.

Die erfassten Beschleunigungswerte der Beschleunigungssensoren 14 können mittels des folgenden erfindungsgemäßen Verfahrens dazu genutzt werden, eine Intention eines Partners 2 wie z.B. einer Person 2 des Knickarmroboters 1, welcher mit dem Knickarmroboter 1 interagieren möchte, wie folgt zu erkennen:

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines Ablaufdiagramms eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

In einem ersten Schritt 100 werden die drei kartesischen Beschleunigungswerte pro Glied 11 für jedes bewegliche Glied 11 des Knickarmroboters 1 erfasst. Die erfassten Beschleunigungswerte werden auf der jeweiligen Motorcontrollerplatine mittels A/D-Wandlung digitalisiert, ggfs. verstärkt, gefiltert oder dergleichen und anschließend z.B. mittels Feldbus zum Hauptrechner 15 übertragen, welcher auch als

Motion Control System 15 bezeichnet werden kann. Im Hauptrechner 15 oder auch bereits vorher auf der jeweiligen Motorcontrollerplatine wird in einem zweiten Schritt 200 jeweils ein Beschleunigungsvektor pro Glied 11 aus dessen erfassten Beschleunigungswerten in lokalen Koordinaten des entsprechenden Gliedes 11 ermittelt. Dies kann eine verständlichere Darstellung dieser Information sein. Auch kann dies die weitere Verarbeitung vereinfachen und bzw. oder beschleunigen.

Die ermittelten lokalen Beschleunigungsvektoren werden nun in einem dritten Schritt 300 von der jeweiligen Pose des Beschleunigungssensors 14 auf der Motorcontrollerplatine in ein Bezugskoordinatensystem des Knickarmroboters 1 transformiert. Aus den ermittelten Beschleunigungsvektoren des Bezugskoordinatensystems werden dann in einem vierten Schritt 400 sog. Features abgeleitet, um die Menge der Daten vorzuverarbeiten und hierdurch zu reduzieren, so dass die folgenden Verfahrensschritte vereinfacht und beschleunigt werden können.

In einem fünften Schritt 500 werden die Features klassifiziert. Dies kann z.B. mittels Verfahren des maschinellen Lernens wie vorzugsweise mittels eines Support-Vector-Machine-Verfahrens oder mittels eines neuronalen Netzes erfolgen. Als Ergebnis des Klassifizierens 500 kann zunächst zwischen einem unerwünschten Kontakt und einem erwünschten Kontakt als Intention der Person 2 unterschieden werden. Mit anderen Worten kann durch das erfindungsgemäße Verfahren dazwischen differenziert werden, ob ein Kontakt zwischen der Person 2 und dem Knickarmroboter 1 unabsichtlich z.B. als Kollision eintritt, weil z.B. die Person 2 in eine Bahn des Knickarmroboters 1 gelangt ist und daher von diesem berührt wurde, oder ob die Person 2 absichtlich Kontakt zu dem Knickarmroboter 1 aufgenommen hat, indem die Person 2 z.B. ein Glied 11 oder den Endeffektor 13 des Knickarmroboters 1 ergriffen hat. Innerhalb desselben Schritts des Klassifizierens 500 oder in einem anschließenden Schritt kann dann eine genauere Differenzierung des Kontakts erfolgen, wie weiter unten noch beschrieben wird.

Im Fall eines unerwünschten Kontakts in einem sechsten Schritt 600 kann der Knickarmroboter 1 z.B. durch stromlosschalten der Antriebe sowie durch Betätigen der Bremsen der Antriebe in einen sicheren Zustand versetzt werden, da der mittels des Klassifizierens 500 erkannte Kontakt zur Person 2 als dessen Intention erkannt werden kann, nicht stärker von dem Knickarmroboter 1 berührt und wohlmöglich verletzt zu werden.

Im Fall eines erwünschten Kontakts kann in einem alternativen siebten Schritt 700 eine Reaktion des Knickarmroboters 1 auf die Person 2 erfolgen, welche der erkannten Intention der Person 2 entspricht. Beispielsweise kann der Knickarmroboter 1 die Absicht der Person 2 erkennen, den Knickarmroboter 1 und insbesondere dessen Endeffektor 13 auf einer Bahn oder zu einer Pose führen zu wollen. In diesem Fall kann der Knickarmroboter 1 diese Bewegung im Gravitationskompensationsmodus zulassen und die Bahn gleichzeitig speichern, um sie zu lernen und später selbsttätig abfahren zu können. Inklusiv einer Betätigung des Greifers des Endeffektors 13 kann hierdurch z.B. eine Pick-and-Place-Aufgabe von der

Person 2 mit dem Knickarmroboter 1 ausgeführt werden, um diesen z.B. für diese Aufgabe zu programmieren.

5 Dabei kann in einer einfachen Realisierung das Klassifizieren 500 ausgebildet sein, lediglich zwischen einem unerwünschten und erwünschten Kontakt sozusagen digital zu unterscheiden und jeweils mit einer einzigen Handlung hierauf zu reagieren. Dies kann bei einem unerwünschten Kontakt ein Stoppen der Bewegung des Knickarmroboters 1 und im Fall eines erwünschten Kontakts das Aktivieren eines Gravitationskompensationsmodus sein. Wie zuvor beschrieben ist das Klassifizieren 500 jedoch differenzierter ausgebildet, so dass im Rahmen dieses Schrittes 500 auch jeweils eine Unterscheidung zwischen verschiedenen unerwünschten bzw. erwünschten Kontakten erfolgen kann, welche unterschiedliche
10 Reaktionen auslösen können, die der erkannten Intention der Person 2 entsprechen.

Dabei wird das erfindungsgemäße Verfahren fortlaufend wiederholend ausgeführt, siehe Pfeil von Schritt 700 bzw. 800 zu Schritt 100 der Fig. 2, so dass durchgängig Beschleunigungswerte erfasst und verarbeitet werden können, um das Klassifizieren 500 unter Berücksichtigung mehrerer zeitlich versetzter und unmittelbar aufeinanderfolgender Features ausführen zu können. Die entsprechend gesteigerte
15 Menge an Daten, welche zum Klassifizieren 500 verwendet werden können, kann die Qualität des Ergebnisses des Klassifizierens 500 erhöhen und insbesondere komplexere Schlussfolgerungen zulassen, welche aufgrund einer einzigen Momentaufnahme des Knickarmroboters 1 gar nicht möglich wären.

Auf diesen einfachen Klassifizierungsergebnissen beruhend kann in einem achten Schritt 800 ein übergeordnetes Klassifizieren 800 des erkannten erwünschten Kontakts der Person 2 hinsichtlich eines Bewegungsablaufs erfolgen, der über die erkannte Intention an sich hinausgeht. Mit anderen Worten kann z.B. eine einzelne Pick-and-Place-Handlung durch das übergeordnete Klassifizieren 800 als ein Bestandteil einer umfangreicheren Aufgabe bzw. eines ganzen Handlungsablaufs mehrere Pick-and-Place-Handlungen sowie weiterer Handlungen erkannt werden. Hierdurch kann der Knickarmroboter 1 seitens der Person 2 durch das „Vormachen“ der einzelnen Handlung zum selbstständigen Ausführen des übergeordneten Gesamthandlungsablaufs aufgefordert werden. Mit anderen Worten kann auf diese Weise
25 eine Handlungsanweisung von der Person 2 an den Knickarmroboter 1 erteilt werden.

Vorzugsweise erfolgt das Ableiten 400 der Features unter Berücksichtigung weiterer Informationen des Knickarmroboters 1. Dies können z.B. erfasste Posen der einzelnen Glieder 11 sein, welche üblicherweise ohnehin erfasst werden und somit ohne zusätzlichen Aufwand zur Verfügung gestellt werden
30 können. Auch können diese Informationen Geschwindigkeitswerte der einzelnen Glieder 11 sein, welche durch zeitliches Differenzieren aus den erfassten Positionswerten erhalten oder zusätzlich sensorisch erfasst werden können. Auch können die Pose und bzw. oder die Geschwindigkeitswerte des Endeffektors 13 des Knickarmroboters 1 bestimmt und berücksichtigt werden. Ferner können die Motorströme der einzelnen elektrischen Antriebe berücksichtigt werden, welche von den Motorcontrollern der Glieder

der 11 üblicherweise ohnehin zur Steuerung bzw. Regelung der Antriebe erfasst werden und somit ohne zusätzlichen Aufwand zur Verfügung gestellt werden können. Durch die Verwendung dieser zusätzlichen Informationen können aussagekräftigere Features abgeleitet werden, was die Qualität des Klassifizierens 500 verbessern kann.

- 5 Das Klassifizieren 500 erfolgt unter Berücksichtigung eines vorangehenden Anlernens 000, welches als initialer Schritt den übrigen zuvor beschriebenen Verfahrensschritten vorausgeht, siehe gestrichelten Kasten des Schritts 000 der Fig. 2. Das Anlernen 000 dient dem Schaffen einer Basis mathematischer Regeln, mittels derer das Klassifizieren 500 begonnen werden kann. Hierzu können die Verfahrensschritte unter Kenntnis der Intention der Person 2 ausgeführt worden sein, so dass der Klassifikator bzw. das
- 10 Klassifizieren 500 sein Ergebnis kennt und die erhaltenen Daten derart interpretieren kann, dass das vorgegebene Ergebnis erkannt werden kann. Zusätzlich oder alternativ können beim Anlernen 000 simulativ erzeugte Daten verwendet werden, welche unter Berücksichtigung eines Kinematikmodells und bzw. oder eines Dynamikmodells des Knickarmroboters 1 erstellt worden sein können. Auch in diesem Fall ist die Intention der Person 2 bekannt, welche zu den simulierten Daten passt, so dass auch hier-
- 15 durch das Klassifizieren 500 angelern werden kann.

- Zusätzlich zum initialen Anlernen 000 werden die Daten sowie die hieraus klassifizierten Intentionen während der Anwendung des Verfahrens verwendet, um dem Klassifizieren 500 fortlaufend Rückmeldungen zu geben, siehe gestrichelten Pfeil in Fig. 2 dort, und hierdurch das Klassifizieren 500 immer weiter zu verbessern. Mit anderen Worten erfolgt das Klassifizieren 500 unter Berücksichtigung der bereits erfolgten Vorgänge des Klassifizierens 500. Hierzu wird das Ergebnis des aktuellen Klassifizierens
- 20 500 einem Benutzer z.B. über eine Anzeige auf einem Bildschirm mitgeteilt und z.B. um Bestätigung gebeten; erfolgt diese Bestätigung des Benutzers, wird das Ergebnis des Klassifizierens 500 als zutreffend angesehen und zukünftig bei weiteren Ausführungen des Verfahrens berücksichtigt. Dies kann ein fortlaufendes Lernen der mathematischen Verfahren des Klassifizierens 500 ermöglichen. Auch das
- 25 übergeordnete Klassifizieren 800 kann entsprechend initial angelern werden (nicht dargestellt) und fortlaufend durch Berücksichtigung seiner Ergebnisse verbessert werden, siehe gestrichelten Pfeil in Fig. 2 dort.

- Das initiale Anlernen 000 des Klassifizierens 500 sowie die fortlaufenden Rückschlüsse eines erfolgten Klassifizierens 500 auf zukünftige Anwendungen des Klassifizierens 500 kann lediglich für den Knickarm-
- 30 roboter 1 selbst erfolgen, so dass das Verfahren lokal auf der Steuerungseinheit 15 des Knickarmroboters 1 ausgeführt und dort auch die Daten des mathematischen Verfahrens des Klassifizierens 500 gespeichert und verarbeitet werden können.

Es ist jedoch auch möglich, dass die Datensätze des Klassifizierens 500 zentral z.B. in der Cloud von verschiedenen Kinematiken 1 wie z.B. von verschiedenen Knickarmrobotern 1 aggregiert werden sowie

auch das Anlernen 000 basierend auf Simulationsdaten dort erfolgt, so dass die angelerten sowie durch die Anwendung weiterentwickelten mathematischen Modelle des Klassifizierens 500 dann den einzelnen an der Cloud beteiligten Knickarmrobotern 1 zur Verfügung gestellt werden können. Hierdurch kann der Aufwand für das Anlernen 000 und das Weiterentwickeln des Klassifizierens 500 reduziert werden, weil dies lediglich einmalig für mehrere Knickarmroboter 1 durchgeführt werden muss aber von mehreren Knickarmrobotern 1 genutzt werden kann. Auch können hierdurch die Daten aus der Anwendung eines Knickarmroboters 1 verwendet werden, um das Klassifizieren 500 für alle beteiligten Knickarmroboter 1 zu verbessern, so dass aufgrund der vergrößerten Datenmenge ein schnelleres Weiterentwickeln des Klassifizierens 500 erfolgen kann, was allen beteiligten Knickarmrobotern 1 zu Gute kommen kann. Dies kann entsprechend für das übergeordnete Klassifizieren 800 gelten.

Erfindungsgemäß können auf diese Art und Weise von einer Kinematik 1 wie z.B. einem Knickarmroboter 1 sowohl einfache Unterscheidungen einer Handlung bzw. Intention einer Person 2 wie zwischen einem unerwünschten und einem erwünschten Kontakt unterschieden werden. Auch können die beiden Kontaktarten jeweils genauer differenziert werden, um z.B. verschiedene erwünschte Kontakte voneinander zu unterscheiden. Diese können als Teilabschnitte einer übergeordneten Handlung erkannt und dieser zugeordnet werden. Dies kann die Zusammenarbeit z.B. zwischen einer Person 2 und dem Knickarmroboter 1 vereinfachen, intuitiver für die Person 2 machen und gleichzeitig die Sicherheit der Zusammenarbeit gewährleisten. Hierdurch können auch Zeit und damit Kosten für einen geringeren Schulungsbedarf der Person 2 zur Programmierung und bzw. oder Bedienung des Knickarmroboters 1 eingespart werden.

Dies beinhaltet auch, dass durch gewünschte Kontakte eine Kommunikation zwischen der Person 2 und dem Knickarmroboter 1 stattfinden kann, welche sowohl zur Programmierung von Bewegungen und dergleichen als auch zum Abruf von programmierten Handlungen verwendet werden kann. Dies kann insbesondere zu einer Zeitersparnis in der Programmierung und bzw. oder Bedienung des Knickarmroboters 1 für die Person 2 führen.

Dies kann unter Berücksichtigung der Beschleunigungswerte der Glieder oder sogar teilweise oder ausschließlich basierend auf den Beschleunigungswerten der Glieder 11 sehr kostengünstig erfolgen, was die Umsetzung des erfindungsgemäßen Verfahrens begünstigen und die Akzeptanz derartiger Kinematiken 1 wie z.B. Knickarmroboter 1 auch aufgrund reduzierter Anschaffungskosten erhöhen kann. Dies mit Verfahren zum maschinellen Lernen zu kombinieren kann die recheneffiziente Auswertung der Sensordaten sowie das Erkennen auch komplexer Bewegungsmuster ermöglichen.

BEZUGSZEICHENLISTE (Teil der Beschreibung)

	X	Längsrichtung; Tiefe
	Z	vertikale Richtung; Höhe
5	1	mehrgliedrige aktuierte Kinematik; (Knickarm-)Roboter
	10	Basis
	11	Glieder
	12	aktuierte (Dreh-)Gelenke
	13	Endeffektor
10	14	Beschleunigungssensoren
	15	Steuerungseinheit; Recheneinheit; Hauptrechner; Motion Control System
	2	Partner; Person
15	3	Untergrund
	000	vorangehendes Anlernen des Klassifizierens 500
	100	Erfassen Mehrzahl von Beschleunigungswerten wenigstens eines Glieds 11
	200	Ermitteln Beschleunigungsvektor des Glieds 11 aus dessen erfassten Beschleunigungswerten
20	300	Transformieren erfasste Beschleunigungswerte
	400	Ableiten von Feature aus erfassten Beschleunigungswerten
	500	Klassifizieren des Features hinsichtlich Intention des Partners 2 gegenüber Kinematik 1
	600	Versetzen Kinematik 1 in sicheren Zustand
	700	Reagieren der Kinematik 1 auf Partner 2
25	800	übergeordnetes Klassifizieren der als positiv erkannten Intention des Partners 2

1. Verfahren zur Erkennung einer Intention eines Partners (2) gegenüber einer mehrgliedrigen aktuierten Kinematik (1), mit wenigstens den Schritten:

5 Erfassen (100) mehrerer Beschleunigungswerte, vorzugsweise von drei kartesischen Beschleunigungswerten, wenigstens eines Glieds (11) der Kinematik (1), und

Klassifizieren (500) der Beschleunigungswerte hinsichtlich einer Intention des Partners (2) gegenüber der Kinematik (1).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**

10 ein Erfassen (100) mehrerer Beschleunigungswerte pro Glied (11) mehrerer Glieder (11), vorzugsweise aller Glieder (11), der Kinematik (1) erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **gekennzeichnet durch** wenigstens den Schritt nach dem Erfassen (100):

Ermitteln (200) eines Beschleunigungsvektors des Glieds (11), vorzugsweise eines Beschleunigungsvektors pro Glied (11), aus dessen erfassten Beschleunigungswerten,

15 wobei das Klassifizieren (500) unter Berücksichtigung des Beschleunigungsvektors des Glieds (11), vorzugsweise der Beschleunigungsvektoren der Glieder (11), erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **gekennzeichnet durch** wenigstens den weiteren Schritt nach dem Ermitteln (200):

20 Transformieren (300) des ermittelten Beschleunigungsvektors, vorzugsweise der ermittelten Beschleunigungsvektoren, von einem lokalen Koordinatensystem des Glieds (11) in ein Koordinatensystem der Kinematik (1).

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** wenigstens den weiteren Schritt nach dem Erfassen (100):

25 Ableiten (400) wenigstens eines Features aus wenigstens den erfassten Beschleunigungswerten, vorzugsweise aus wenigstens dem ermittelten Beschleunigungsvektor, besonders vorzugsweise aus wenigstens den ermittelten Beschleunigungsvektoren,

wobei das Klassifizieren (500) unter Berücksichtigung wenigstens eines Features, vorzugsweise mehrere Features, erfolgt.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- das Klassifizieren (500) ausgebildet ist, zwischen einem unerwünschten Kontakt und einem erwünschten Kontakt als Intention des Partners (2) zu unterscheiden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **gekennzeichnet durch** den weiteren Schritt:
- 5 im Fall eines unerwünschten Kontakts, Versetzen (600) der Kinematik (1) in einen sicheren Zustand entsprechend der erkannten Intention, und/oder
- im Fall eines erwünschten Kontakts, Reagieren (700) der Kinematik (1) auf den Partner (2) entsprechend der erkannten Intention.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- 10 zumindest ein Teil der Verfahrensschritte wenigstens einmalig, vorzugsweise mehrmalig, wiederholt wird,
- wobei das Klassifizieren (500) unter Berücksichtigung mehrerer zeitlich versetzter, vorzugsweise zeitlich unmittelbar aufeinanderfolgender, Beschleunigungswerte, vorzugsweise Beschleunigungsvektoren, besonders vorzugsweise Features, erfolgt.
- 15 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **gekennzeichnet durch** den weiteren Schritt:
- übergeordnetes Klassifizieren (800) des erkannten erwünschten Kontakts des Partners (2) hinsichtlich eines Bewegungsablaufs, der über die erkannte Intention an sich hinausgeht.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- 20 das Ableiten (400) wenigstens eines Features, vorzugsweise mehrerer Features, besonders vorzugsweise aller Features, zusätzlich unter Berücksichtigung
- wenigstens eines erfassten Positionswerts wenigstens eines Glieds (11) der Kinematik (1), vorzugsweise der erfassten Positionswerte pro Glied (11) mehrerer Glieder (11) der Kinematik (1), besonders vorzugsweise aller Glieder (11) der Kinematik (1), und/oder
- 25 wenigstens eines erfassten und/oder bestimmten Geschwindigkeitswerts wenigstens eines Glieds (11) der Kinematik (1), vorzugsweise der erfassten und/oder bestimmten Geschwindigkeitswerte pro Glied (11) mehrerer Glieder (11) der Kinematik (1), besonders vorzugsweise aller Glieder (11) der Kinematik (1), und/oder

wenigstens des bestimmten Positionswerts eines Endeffektors (13) der Kinematik (1),
und/oder

wenigstens des bestimmten Geschwindigkeitswerts eines Endeffektors (13) der Kinematik
(1), und/oder

5 eines erfassten Motorstroms eines elektrischen Antriebs wenigstens eines Glieds (11) der
Kinematik (1), vorzugsweise des erfassten Motorstroms eines elektrischen Antriebs pro
Glieder (11) mehrerer Glieder (11) der Kinematik (1), besonders vorzugsweise aller Glieder
(11) der Kinematik (1),

erfolgt.

- 10 11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**
das Klassifizieren (500) unter Berücksichtigung eines vorangehenden Anlernens (000) erfolgt,
wobei beim Anlernen (000) zumindest ein Teil der Verfahrensschritte unter Kenntnis der Intention
des Partners (2) ausgeführt wurden, und/oder
wobei beim Anlernen (000) simulativ erzeugte Daten, vorzugsweise unter Berücksichtigung eines
15 Kinematikmodells und/oder eines Dynamikmodells der Kinematik (1), verwendet werden.
12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**
das Klassifizieren (500) unter Berücksichtigung wenigstens eines vorangehenden Klassifizierens
(500) erfolgt,
wobei das Ergebnis des Klassifizierens (500) in Abhängigkeit einer Bewertung berücksichtigt wird.
- 20 13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**
das Klassifizieren (500) mittels eines Verfahrens des maschinellen Lernens, vorzugsweise mittels
eines Support-Vector-Machine-Verfahrens oder mittels eines neuronalen Netzes, erfolgt.
14. Computerprogrammprodukt mit einem Programmcode, der auf einem von einem Computer les-
baren Medium gespeichert ist, zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der vorangehenden
25 Ansprüche.

15. Mehrgliedrige aktuierte Kinematik (1), vorzugsweise Roboter (1), besonders vorzugsweise Knickarmroboter (1), zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13,
- mit mehreren Gliedern (11), welche durch aktuierte Gelenke (12) miteinander verbunden sind,
- wobei wenigstes ein Glied (11), vorzugsweise mehrere Glieder (11), besonders vorzugsweise alle
- 5 Glieder (11), wenigstens einen Beschleunigungssensor (14) aufweisen, und
- mit einer Steuerungseinheit (15), welche ausgebildet ist, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13 auszuführen.

1 / 1

Fig. 1

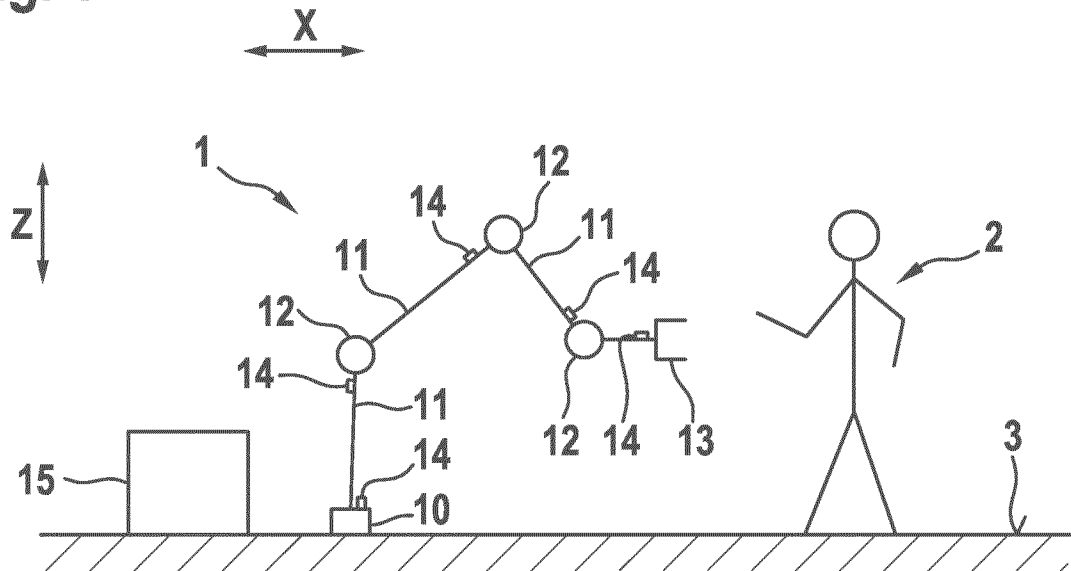
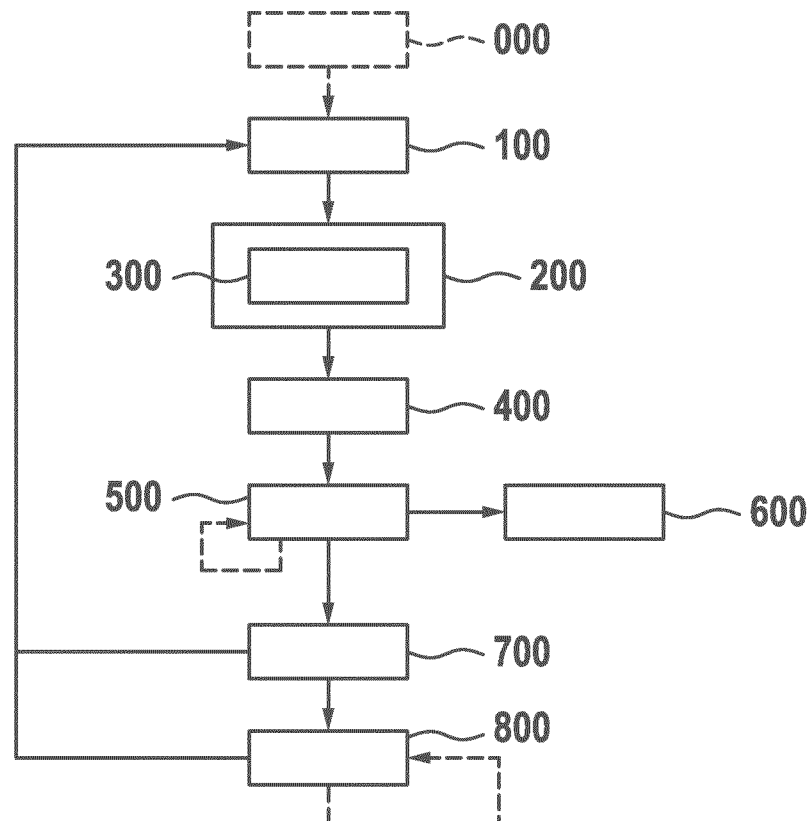


Fig. 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/059704**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****B25J 9/16**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B25J; G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2018056520 A1 (OZAKI SHUNICHI [JP] ET AL) 01 March 2018 (2018-03-01) figures 4,6,7 paragraph [0032] paragraph [0068] paragraph [0073] paragraph [0075] - paragraph [0077]	1-15
Y	US 2018032868 A1 (DANI ASHWIN [US] ET AL) 01 February 2018 (2018-02-01) paragraph [0018] paragraph [0024] paragraph [0028]	1-15

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 July 2019

Date of mailing of the international search report

02 August 2019

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Antonopoulos, A

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/059704

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2018056520	A1	01 March 2018	CN	107767760	A	06 March 2018
				DE	102017007729	A1	29 March 2018
				JP	6517762	B2	22 May 2019
				JP	2018030185	A	01 March 2018
				US	2018056520	A1	01 March 2018
US	2018032868	A1	01 February 2018	US	2018032868	A1	01 February 2018
				WO	2018022715	A1	01 February 2018

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B25J9/16
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B25J G05B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2018/056520 A1 (OZAKI SHUNICHI [JP] ET AL) 1. März 2018 (2018-03-01) Abbildungen 4,6,7 Absatz [0032] Absatz [0068] Absatz [0073] Absatz [0075] - Absatz [0077] -----	1-15
Y	US 2018/032868 A1 (DANI ASHWIN [US] ET AL) 1. Februar 2018 (2018-02-01) Absatz [0018] Absatz [0024] Absatz [0028] -----	1-15



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

19. Juli 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

02/08/2019

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Antonopoulos, A

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/059704

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2018056520 A1	01-03-2018	CN 107767760 A	06-03-2018
		DE 102017007729 A1	29-03-2018
		JP 6517762 B2	22-05-2019
		JP 2018030185 A	01-03-2018
		US 2018056520 A1	01-03-2018

US 2018032868 A1	01-02-2018	US 2018032868 A1	01-02-2018
		WO 2018022715 A1	01-02-2018
