

(19)



(11)

EP 3 259 221 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
12.02.2020 Patentblatt 2020/07

(51) Int Cl.:
B66C 13/46 ^(2006.01) **B66C 13/06** ^(2006.01)
E04G 21/04 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16708951.5**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2016/053596

(22) Anmeldetag: **19.02.2016**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2016/131977 (25.08.2016 Gazette 2016/34)

(54) POSITIONSREGELUNG EINER MASTSPITZE

POSITION CONTROL OF A MASTHEAD

CONTRÔLE DE LA POSITION D'UNE POINTE DE MÂT

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

- **KEMMETMÜLLER, Wolfgang**
1140 Wien (AT)
- **KUGI, Andreas**
1200 Wien (AT)

(30) Priorität: **19.02.2015 DE 102015102368**

(74) Vertreter: **Isfort, Olaf et al**
Schneiders & Behrendt PartmbB
Rechts- und Patentanwälte
Huestraße 23
(Kortumkarree)
44787 Bochum (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
27.12.2017 Patentblatt 2017/52

(73) Patentinhaber: **Schwing GmbH**
44653 Herne (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 2 347 988 EP-B1- 1 537 282
WO-A1-2014/165888 WO-A1-2014/165889
DE-A1-102007 012 575 JP-A- S6 123 212

(72) Erfinder:
• **HENIKL, Johannes**
46282 Dorssten (DE)

EP 3 259 221 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Großmanipulator mit einem ausfaltbaren Mastarm, der einen um eine Hochachse drehbaren Drehschemel und eine Mehrzahl von Mastsegmenten aufweist, wobei die Mastsegmente an Knickgelenken um jeweils horizontale Knickachsen gegenüber einem benachbarten Mastsegment oder dem Drehschemel mittels je eines Antriebsaggregates begrenzt verschwenkbar sind und wobei an dem Mastarm Mittel zur Neigungsmessung angeordnet sind, sowie eine Autobetonpumpe mit einem erfindungsgemäßen Großmanipulator.

[0002] Bei modernen Autobetonpumpen, wie beispielsweise in DE 10 2007 012 575 A1 beschrieben, werden im Allgemeinen Doppelkolbenpumpen zur Förderung des flüssigen Betons eingesetzt. Der Wechsel zwischen den aktiven Phasen der einzelnen Kolben verursacht eine Unterbrechung im Betonfluss. Gerade bei hohen Fördermengen kommt es hierbei zu einer stoßartigen Anregung des Auslegers. Diese zyklische Anregung verursacht Bewegungen an der Spitze des Auslegers, welche für den Führer des Endschlauchs eine Behinderung und Belastung im Betrieb darstellen. Aus dem Stand der Technik, beispielsweise aus EP 2 347 988 A1 oder JP S61 23212 A, ist eine Vielzahl an Systemen zur aktiven Dämpfung von elastischen Schwingungen des Auslegers bekannt. Diese reduziert zwar die Bewegungen und können Resonanzphänomene bei ungünstig eingestellter Pumpfrequenz verhindern, eine zufriedenstellende Kompensation der Bewegungen der Auslegerspitze ist damit jedoch nicht möglich.

[0003] Die DE 195 03 895 A1 offenbart einen einfachen Lageregelkreis, welcher die vertikale Bewegung kompensiert. Als problematisch erweist sich hier jedoch die notwendige messtechnische Erfassung der Höhe. Hierzu werden Ultraschall- und Lasersensoren zur Messung des Abstands der Auslegerspitze zum Boden vorgeschlagen. Dieses Messprinzip hat sich jedoch im praktischen Einsatz als unbrauchbar herausgestellt, da im Betrieb kein hindernisfreier Raum zwischen der emittierenden Quelle und der Bezugsebene garantiert werden kann. Des Weiteren wird für die Umsetzung der Regelung die Verwendung des lediglich letzten Mastgelenks vorgeschlagen. Bei Neigungen des Mastes gegenüber dem Erdschwerefeld nahe der Vertikalen ist dieses Regelkonzept jedoch nicht einsetzbar.

[0004] Des Weiteren ist aus der EP 1 537 282 B1 bekannt, dass die Höhe der Mastspitze relativ zur Höhe des Fahrzeugs durch an allen Mastsegmenten angebrachte Neigungssensoren erfasst werden kann. Durch die Messung der Neigungen gegenüber dem Erdschwerefeld kann mit einer kinematischen Beschreibung des Systems die Position der Mastspitze berechnet werden. Hierbei ist es von Vorteil, dass durch die Verwendung von Neigungssensoren die Deformation der Mastsegmente implizit mitberücksichtigt wird. Die typischerweise eingesetzten Neigungssensoren können jedoch nicht zwi-

schen einer Änderung der Neigung und einer translatorischen Beschleunigung des Sensors unterscheiden. Bei dynamischen Bewegungen liefern diese daher falsche Messwerte. Sie sind daher für die Umsetzung einer Lageregelung nicht verwendbar.

[0005] Die WO 2014 / 1658888 A1 oder die WO 2014 / 1658889 A1 betreffen einen Großmanipulator mit einem Inertialsensor zur Messung der Neigung und der Beschleunigung eines Mastsegmentes. Eine Lageregelung zur Regelung der Höhe der Mastspitze ist hier aber nicht vorgesehen.

[0006] Es ist somit Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die bekannten Großmanipulatoren derart weiterzuentwickeln, dass die Dynamik des Systems messtechnisch erfassbar und regelungstechnisch verwertbar ist. Insgesamt soll ein Großmanipulator bereitgestellt werden, bei dem eine vertikale Bewegung einer Auslegerspitze einer Autobetonpumpe während des Pumpbetriebs effektiv reduziert werden kann, was unter anderem zu einer wesentlichen Entlastung für den Führer des Endschlauchs führt.

[0007] Gelöst wird diese Aufgabe durch einen Großmanipulator mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie eine Autobetonpumpe mit den Merkmalen des Anspruchs 12.

[0008] Vorteilhafte Ausgestaltungen sind jeweils Gegenstand der abhängigen Ansprüche. Es ist darauf hinzuweisen, dass die in den Ansprüchen einzeln aufgeführten Merkmale auch in beliebiger und technologisch sinnvoller Weise miteinander kombiniert werden können und somit weitere Ausgestaltungen der Erfindung aufzeigen.

[0009] Der erfindungsgemäße Großmanipulator umfasst einen ausfaltbaren Mastarm, der einen um eine Hochachse drehbaren Drehschemel und eine Mehrzahl von Mastsegmenten aufweist, wobei die Mastsegmente an Knickgelenken um jeweils horizontale Knickachsen gegenüber einem benachbarten Mastsegment oder dem Drehschemel mittels je eines Antriebsaggregates begrenzt verschwenkbar sind. Der erfindungsgemäße Großmanipulator weist wenigstens einen Inertialsensor zur Messung der Neigung und/oder der Beschleunigung wenigstens eines Mastsegmentes auf.

[0010] Durch den erfindungsgemäßen Großmanipulator können die aus dem Stand der Technik bekannten Verfälschungen bei translatorischen Beschleunigungen unterbunden werden. Der erfindungsgemäße Großmanipulator weist somit gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil auf, dass sich durch ihn eine statisch und dynamisch genaue Messung der vertikalen Bewegungen der Mastspitze erreichen lässt.

[0011] Bevorzugt ist ein Inertialsensor im Sinne der Erfindung ein Beschleunigungssensor, der die vertikale Beschleunigung am Ort des Sensors erfasst. Besonders bevorzugt handelt es sich bei dem Inertialsensor um einen kombinierten Sensor, der neben einem zweiachsigen Beschleunigungssensor einen Drehratensensor aufweist. Idealerweise steht die Achse des Drehraten-

sensors orthogonal auf den Beschleunigungsachsen. Da translatorische Bewegungen nur einen sehr geringen Einfluss auf den Drehratensensor haben, können die Messsignale des Drehratensensors herangezogen werden, um eine Verfälschung des aus den Messsignalen des Beschleunigungssensors ermittelten Neigungswinkels zu erkennen und zu korrigieren. In einer praktischen Umsetzung kann der Neigungswinkel durch zeitliche Integration der gemessenen Drehrate ermittelt werden, wobei der durch die Beschleunigungssensoren ermittelte Neigungswinkel zum stationären Abgleich verwendet wird. Hierdurch wird bei dynamischen Bewegungen des Inertialsensors ein Messfehler reduziert. Vorteilhafterweise wird ein Gyroskop verwendet. Das Gyroskop misst die Drehrate der Neigung, die nicht durch die translatorische Bewegung beeinflusst wird. Zur Kombination der Messsignale der Beschleunigungssensoren und des Drehratensensors kann beispielsweise ein Beobachter in Form eines erweiterten Kalmanfilters oder ein Ansatz mit komplementären Filtern verwendet werden.

[0012] An jedem Mastsegment kann wenigstens ein Inertialsensor angeordnet sein. Hierdurch kann die Messgenauigkeit und -zuverlässigkeit weiter verbessert werden.

[0013] Vorteilhafterweise sind die Inertialsensoren im Wesentlichen in der Mitte eines Mastsegments angeordnet. Aufgrund der schlanken Konstruktion des Mastarms weisen die einzelnen Mastsegmente im Betrieb durch die auftretenden statischen und dynamischen Kräfte nicht zu vernachlässigende elastische Deformationen auf. Durch die Anordnung der Sensoren in der Mitte der Mastsegmente beinhaltet die Differenz der gemessenen Neigungen von zwei aufeinanderfolgenden Mastsegmenten neben dem exakten Gelenkwinkel auch einen Anteil der elastischen Deformation. Hierdurch kann die Kinematik des Mastarms annähernd als Starrkörperproblem betrachtet werden. Idealerweise weist jedes Mastsegment einen Inertialsensor auf, wobei dieser etwa in der Mitte des jeweiligen Mastsegmentes angeordnet ist.

[0014] Vorteilhaft ist es, wenn der Inertialsensor am letzten Mastsegment angeordnet ist. Hiermit ist erfindungsgemäß das Mastsegment gemeint, das am weitesten vom Drehschemel entfernt angeordnet ist und an dessen äußerem Ende bevorzugt ein Endschlauch befestigt ist. Besonders bevorzugt ist der Inertialsensor am letzten Mastsegment nicht in der Mitte angeordnet. Da der Einfluss der Balkenkrümmung des letzten Mastsegments auf die Höhe der Mastspitze gering in Relation zu jenen der vorhergehenden Mastsegmente ist, führt eine derartige Anordnung zu einem ausreichend genauen Messergebnis. Erfindungsgemäß weist der Mastarm an der Mastspitze einen Inertialsensor auf. Hierdurch kann die Messung der Höhe der Mastspitze bei schnellen Bewegungen mit großen Beschleunigungen weiter verbessert werden. Die zweifache zeitliche Integration des die Beschleunigung in vertikaler Richtung wiedergebenden Messsignals liefert ein Signal, welches eine gute Übereinstimmung mit den dynamischen Anteilen des Bewe-

gungsablaufs im höheren Frequenzband aufweist. Erfindungsgemäß können an dem letzten Mastsegment zwei Sensoren angeordnet sein. Bevorzugt ist ein Sensor im Wesentlichen in der Mitte angeordnet und ein anderer Sensor an der Mastspitze, also an dem äußeren Ende des Mastsegments. Für eine ausreichend genaue Messung ist es aber auch hinreichend, wenn nur an der Mastspitze ein Sensor angeordnet ist.

[0015] Erfindungsgemäß ist wenigstens einem der Knickgelenke des Mastarms ein Winkelsensor zugeordnet, der die Winkelstellung dieses Knickgelenks erfasst. Besonders bevorzugt ist jedem Knickgelenk jeweils ein Winkelsensor zugeordnet. In dieser Ausgestaltung kann der Großmanipulator (mittels eines geeigneten Rechners) mit Vorteil zur Berechnung der Höhe der Mastspitze aus den erfassten Winkelstellungen der Knickgelenke in Kombination mit der mittels des am letzten Mastsegment, insbesondere an der Mastspitze, angeordneten Inertialsensors erfassten Beschleunigung eingerichtet sein. Bei den Winkelsensoren handelt es sich nicht um Inertialsensoren, sondern um Messaufnehmer mit geometrischer Auflösung (mit mechanischem, resistivem, induktivem, optischem oder magnetischem Wirkprinzip). Die Winkelsensoren, dienen, anders ausgedrückt, der Ermittlung der (statischen) Stellung des Mastarms. Erfindungsgemäß kann zunächst über die Winkelstellungen der Knickgelenke die Höhe der Mastspitze ermittelt werden. Um die Genauigkeit zu optimieren, kann dabei die Durchbiegung der Mastsegmente berücksichtigt werden. Dies kann z.B. anhand von mathematischen Modellen allein oder in Kombination mit weiteren Messsignalen, wie z.B. von Drucksensoren an den hydraulischen Antriebsaggregaten des Mastarms, erfolgen. Der so erhaltene Wert der Höhe der Mastspitze kann dann mit dem hochpassgefilterten, zweifach zeitlich integrierten vertikalen Beschleunigungssignal des am letzten Mastsegment bzw. an der Mastspitze angeordneten Inertialsensors zusammengeführt werden und ergibt so einen besonders genauen Messwert der Höhe der Mastspitze. Bei dieser Ausgestaltung wird nur genau ein Inertialsensor in Form eines Beschleunigungssensors in Kombination mit einer Anzahl von Winkelsensoren benötigt, die der Zahl der Knickgelenke entspricht.

[0016] Alternativ können die Messsignale, d.h. das Messsignal der vertikalen Beschleunigung und das über die Neigungswinkel ermittelte Höhenmesssignal, vorzugsweise durch geeignet gewählte, bevorzugt komplementäre, Filter miteinander kombiniert werden. Die über die Neigungen der Mastsegmente ermittelte Höhe der Mastspitze wird mit einem Tiefpass mit geeigneter Grenzfrequenz gefiltert, um hochfrequente dynamische Störungen herauszufiltern. Das zweifach zeitlich integrierte vertikale Beschleunigungssignal wird mit einem komplementären Hochpass mit derselben Grenzfrequenz gefiltert. Die beiden gefilterten Signale werden anschließend zusammengeführt und ergeben einen genauen Messwert der Höhe der Mastspitze. Alternativ zu der Implementierung mittels komplementärer Filter kann de-

ren Funktion ebenso durch einen Beobachter bzw. ein Kalman-Filter realisiert werden.

[0017] Der erfindungsgemäße Großmanipulator weist einen Lageregler auf. Durch den Lageregler kann eine effektiv wirkende Regelung der Höhe der Mastspitze realisiert werden, wodurch eine induzierte vertikale Bewegung der Mastspitze kompensiert wird. In Abhängigkeit von den Neigungen der einzelnen Gelenke kann prinzipiell mit jedem Gelenk die Höhe der Mastspitze manipuliert werden. Während bei Neigungen des zugeordneten Mastsegments nahe der Waagerechten für das betreffende Gelenk eine große Manipulierbarkeit gegeben ist, verschwindet diese bei Neigungen nahe der Vertikalen. Dadurch ergibt sich jedoch für die Umsetzung der Lage-
 5 regelung das Problem der Auswahl des zu verwendenden Stellglieds. Es ist bekannt, dass die Messung der Koordinaten der Auslegerspitze (Höhe und Radius) für die Umsetzung einer sogenannten kartesischen oder zylindrischen Steuerung der Auslegerspitze verwendbar ist. Hierbei kann der Benutzer mit einem einzelnen Joystick, welcher mindestens zwei Verstellrichtungen aufweist, für die Mastspitze gezielt eine Streck- oder Verkürzungsbewegung bei Beibehaltung der Höhe bzw. eine Hub- oder Senkbewegung bei Beibehaltung des Radius vorgeben. Anhand der Joystick-Vorgaben werden mit einem Algorithmus Stellsignale für die hydraulischen Aktoren der einzelnen Gelenke berechnet, welche die gewünschte Bewegung einleiten. Mit einem derartigen Algorithmus wird das Problem der Auswahl des zu verwendenden Stellglieds für die Lageregelung gelöst. Der
 10 Lageregler rückkoppelt dabei bevorzugt die Abweichung der gemessenen Höhe der Mastspitze von dessen Sollwert als Vorgabe einer Hub- oder Senkbewegung der Mastspitze für eine beispielsweise kartesische oder zylindrische Steuerung auf das System auf.

[0018] Bevorzugt ist ein Regelkreis zur Schwingungsdämpfung des Mastes auf Basis einer Regelung der Gelenkwinkel implementiert. Dieser Regelkreis weist bevorzugt eine Rechneinheit auf, die die Höhe der Mastspitze auf Basis einer kinematischen Beschreibung des Masts und der Messungen der Neigungswinkel der einzelnen Mastsegmente gegenüber dem Erdschwerefeld berechnet. Vorteilhafterweise werden die Winkelgeschwindigkeiten der einzelnen Knickgelenke als Stellgrößen dieses Schwingungsdämpfungsregelkreises betrachtet.

[0019] Die erfindungsgemäße Lageregelung wird vorzugsweise der Schwingungsdämpfung überlagert. Die Lageregelung weist bevorzugt einen Proportional-/Integral-/Differentialregler (PID-Regler) auf. Der Regler bestimmt anhand einer Regelabweichung (Ist-/Sollwert der Höhe der Mastspitze) einen Regelausgang, welcher der Mastspitze in Form einer Hub- oder Senkbewegung als Sollbewegung vorgegeben wird. Der Algorithmus ermittelt daraus die Stellsignale, welche auf die Stelleingänge der einzelnen Mastgelenke, d.h. in der Praxis die Steuereingänge der proportionalen Hydraulikventile der Hydraulikantriebe aufgeschaltet werden. Erfindungsgemäß

ist der Algorithmus so ausgebildet, dass anhand der Ausrichtung der einzelnen Mastarme und/oder der Entfernung der einzelnen Mastgelenke zum Drehschemel eine Wichtung stattfindet, mit der die auf die Stelleingänge der einzelnen Mastgelenke aufgeschalteten Stellsignale gewichtet werden. Zum einen steigt die Wichtung, je weiter das Gelenk vom Drehschemel entfernt ist bzw. je näher das Gelenk an der Auslegerspitze angeordnet ist. Das Ansteuern der vom Drehschemel weiter entfernten Mastgelenke bietet den Vorteil, dass die zu bewegende Masse geringer ist und somit schneller und effektiver einer Lageänderung entgegen gewirkt werden kann. Zum anderen steigt die Wichtung je horizontaler die einzelnen Mastarme verlaufen. Die Regelung sollte möglichst auf die horizontal verlaufenden Mastarme einwirken, um die Höhe der Auslegerspitze wirksam beeinflussen zu können. Der erfindungsgemäße Algorithmus bzw. die Wichtung wird zweckmäßig daher so ausgeführt, dass grundsätzlich der letzte Mastarm mit dem größten Stellsignal beaufschlagt wird, wenn er einen annähernd horizontalen Verlauf aufweist. Verläuft der letzte Mastarm allerdings im Wesentlichen vertikal, dann erhält ein anderer Mastarm mit horizontalerem Verlauf eine größere Wichtung und wird mit entsprechend größerem Stellsignal beaufschlagt. Mit dem erfindungsgemäßen Sensor- und Regelungskonzept kann so insgesamt eine effektiv wirkende Regelung der Höhe der Auslegerspitze realisiert werden.

[0020] Der Sollwert für die Höhe der Mastspitze wird im praktischen Betrieb bevorzugt durch das Verfahren des Bedieners bestimmt und ergibt sich daher aus der Ruhelage für die jeweils aktuelle Stellung des Mastarms. Der erfindungsgemäße Großmanipulator wird bevorzugt zur Verteilung von Dickstoffen verwendet. Insbesondere dient er zur Förderung von Beton.

[0021] Ferner ist Gegenstand der Erfindung eine Autobetonpumpe. Die erfindungsgemäße Autobetonpumpe weist ein Fahrzeuggestell, eine am Fahrzeuggestell angeordnete Dickstoffpumpe, insbesondere Betonpumpe, und einen Großmanipulator mit den oben beschriebenen Inertialsensoren auf.

[0022] Die Erfindung sowie das technische Umfeld werden nachfolgend anhand der Figuren näher erläutert. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Figuren jeweils eine besonders bevorzugte Ausführungsvariante der Erfindung zeigen. Die Erfindung ist jedoch nicht auf die gezeigten Ausführungsvarianten beschränkt. Insbesondere umfasst die Erfindung, soweit es technisch sinnvoll ist, beliebige Kombinationen der technischen Merkmale, die in den Ansprüchen aufgeführt oder in der Beschreibung als erfindungsrelevant beschrieben sind.

[0023] Es zeigen:

Fig. 1 schematische Ansicht eines erfindungsgemäßen Mastarms in einer ersten Ausgestaltung,

Fig. 2 schematische Ansicht eines erfindungsgemäßen Mastarms in einer zweiten Ausgestaltung,

- Fig. 3 schematische Ansicht eines erfindungsgemäßen Mastarms in einer dritten Ausgestaltung.
- Fig. 4 schematische Ansicht eines erfindungsgemäßen Mastarms in einer vierten Ausgestaltung.
- Fig. 5 schematischer Regelkreis gemäß einer Ausgestaltungsform der Erfindung.

[0024] Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Mastarms 10 mit Mitteln 34, 36, 38 zur Neigungsmessung in einer ersten Ausgestaltung. Der Großmanipulator weist einen ausfaltbaren Mastarm 10 mit einem um eine Hochachse drehbaren Drehschemel 12 und einer Mehrzahl von Mastsegmenten 14, 16, 18 auf. Die Mastsegmente 14, 16, 18 sind an Knickgelenken 20, 22, 24 um jeweils horizontale Knickachsen gegenüber einem benachbarten Mastsegment 14, 16, 18 oder dem Drehschemel 12 mittels je eines Antriebsaggregats 26, 28, 30 begrenzt verschwenkbar. Der Mastarm 10 weist bevorzugt zwischen drei und fünf Mastsegmente 14, 16, 18 auf. Der erfindungsgemäße Großmanipulator weist wenigstens einen Inertialsensor 34, 36, 38 zur Erfassung der Neigung der Mastsegmenten 14, 16, 18 gegenüber der Erde auf. Die Inertialsensoren 34, 36, 38 bestehen jeweils bevorzugt aus einem zweiachsigen Beschleunigungssensor und einem Drehratensensor. Idealerweise steht die Achse des Drehratensensors orthogonal auf den Beschleunigungsachsen des Beschleunigungssensors. Da die translatorischen Bewegungen nur einen sehr geringen Einfluss auf die Drehratensensoren haben, werden deren Messungen herangezogen, um Verfälschungen der aus den Beschleunigungsmessungen ermittelten Neigungswinkel zu erkennen und zu korrigieren. Hierdurch wird bei Bewegungen des Mastes ein Messfehler reduziert.

[0025] Der in Figur 1 dargestellte erfindungsgemäße Mastarm 10 weist an jedem Mastsegment 14, 16, 18 einen Inertialsensor 34, 36, 38 auf. Die Inertialsensoren 34, 36, 38 sind im Wesentlichen in der Mitte der Mastsegmente 14, 16, 18 angeordnet. Durch eine derartige Anordnung der Sensoren 34, 36, 38 beinhaltet die Differenz der gemessenen Neigungen von zwei aufeinanderfolgenden Mastsegmenten 14, 16, 18 neben dem exakten Gelenkwinkel auch einen Anteil der elastischen Deformation. Hierdurch kann die Kinematik des Mastarms annähernd als Starrkörperproblem betrachtet werden.

[0026] Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Mastarms 10 mit Mitteln zur Neigungsmessung in einer zweiten Ausgestaltung. Die Mastsegmente 14, 16, 18 weisen jeweils einen Inertialsensor 34, 36, 38 auf, die im Wesentlichen in deren Mitte angeordnet sind. Um die Messung der Höhe der Mastspitze 32 insbesondere bei schnellen Bewegungen mit großen Beschleunigungen weiter zu verbessern, erfolgt eine zusätzliche Messung der Beschleunigungen direkt an der Mastspitze 32. Die zweifache zeitliche Integration des Anteils der Beschleunigung in vertikaler Richtung

liefert ein Messsignal, welches eine gute Übereinstimmung mit den dynamischen Anteilen des Bewegungsablaufs im höheren Frequenzband aufweist. Hierzu weist das Mastsegment 18, dessen äußeres Ende die Mastspitze 32 darstellt, einen zusätzlichen Sensor 40 an seinem äußeren Ende, der Mastspitze 32, auf.

[0027] Für eine ausreichend genaue Messung ist es aber auch hinreichend, wenn nur an der Mastspitze ein Sensor angeordnet ist.

[0028] Figur 3 zeigt eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Mastarms 10 mit Mitteln zur Neigungsmessung in einer dritten Ausgestaltung. Die Mastsegmente 14, 16 weisen jeweils einen Inertialsensor 34, 36 auf, die im Wesentlichen in deren Mitte angeordnet sind. Das Mastsegment 18 weist einen Inertialsensor 40 an dessen äußerem Ende, der Mastspitze 32, auf. Da der Einfluss der Balkenkrümmung des letzten Mastsegments 18 auf die Höhe der Mastspitze gering in Relation zu jenen der vorhergehenden Mastsegmente 14, 16 ist, führt eine derartige Anordnung zu einem ausreichend genauen Messergebnis. Auf einen zusätzlichen Sensor 38 kann somit verzichtet werden.

[0029] Figur 4 zeigt eine schematische Ansicht eines erfindungsgemäßen Mastarms 10 in einer vierten Ausgestaltung. Die Mastsegmente 14, 16, 18 weisen jeweils einen Winkelsensor 48, 50, 52 auf. Die Winkelsensoren 48, 50, 52 erfassen die Winkelstellungen der einzelnen Knickgelenke 20, 22, 24. An der Mastspitze 32 ist ferner ein Inertialsensor 40 angeordnet, der die vertikale Beschleunigung der Mastspitze 32 erfasst. Durch Kombination der Signale der Winkelsensoren 48, 50, 52 mit den Signalen des Inertialsensors 40 lässt sich eine sehr genaue Bestimmung der momentanen Höhe der Mastspitze 32 realisieren.

[0030] Mit dem dargestellten Sensorkonzept kann eine effektiv wirkende Regelung der Höhe der Auslegerspitze realisiert werden. Dies ist in Figur 5 schematisch gezeigt.

[0031] Es wird dabei davon ausgegangen, dass zur Schwingungsdämpfung des Mastarms 10 eine Regelung der Gelenkwinkel implementiert ist. Die Winkelgeschwindigkeiten der einzelnen Gelenke 20, 22, 24 sind dabei die Stellgrößen U_1 , U_2 , U_3 des Systems.

[0032] Der Schwingungsdämpfung wird erfindungsgemäß eine Lageregelung auf Basis eines PID-Reglers 46 und eines Moduls 47 zur Steuerung der Hub- oder Senkbewegung der Mastspitze 32 überlagert. Aus den Messsignalen der an dem Mast 10 angeordneten Inertialsensoren 34, 36, 38, 40 (siehe Figur 2) oder aus den Signalen der Winkelsensoren 48, 50, 52 in Kombination mit dem Signal des Inertialsensors 40 (siehe Figur 4) wird wie oben beschrieben die momentane Höhe H der Mastspitze mittels eines Rechners 42 ermittelt. Die Lageregelung bestimmt anhand der Regelabweichung (Abweichung des Istwertes der Höhe der Mastspitze 32 von dessen Sollwert) einen Reglerausgang A , der als Sollwert in Form einer Hub- oder Senkbewegung der Mastspitze für das Modul 47 vorgegeben wird. Diese berechnet die Steuersignale, welche auf die Stellgrößen U_1 , U_2 und

U3 der einzelnen Gelenke 20, 22 und 24 aufgeschaltet werden.

[0033] Der Sollwert für die Höhe der Mastspitze 32 wird im praktischen Betrieb durch das Verfahren des Bedieners bestimmt und ergibt sich daher aus der Ruhelage für die jeweils aktuelle Stellung des Mastarms 10. Eine genaue Berechnung der Ruhelage der Höhe der Mastspitze 32 anhand der aktuellen stationären Werte der Gelenkwinkel ist aufgrund der Komplexität des Gesamtsystems und der nur ungenauen Kenntnis der Modellparameter für den praktischen Betrieb nicht möglich und auch nicht nötig. Daher wird für den PID-Regler 46 zur Bestimmung der Regelabweichung ein einfaches Hochpassfilter 44 mit einer geeignet gewählten Grenzfrequenz verwendet. Ein Wegdriften der Höhe von der ursprünglichen Position durch den Reglereingriff wird durch die zugrunde liegende Schwingungsdämpfungsregelung verhindert, welche eine Regelung der Gelenkpositionen beinhaltet. Durch die dargestellte Regelung können vertikale Bewegungen der Mastspitze 32, z.B. einer Autobetonpumpe während des Pumpbetriebs, effektiv reduziert werden.

Bezuaszeichenliste

[0034]

10	Mastarm
12	Drehschemel
14	erstes Mastsegment
16	zweites Mastsegment
18	drittes Mastsegment
20	erstes Knickgelenk
22	zweites Knickgelenk
24	drittes Knickgelenk
26	erstes Antriebselement
28	zweites Antriebselement
30	drittes Antriebselement
32	Mastspitze
34	erster Inertialsensor
36	zweiter Inertialsensor
38	dritter Inertialsensor
40	Inertialsensor Mastspitze
42	Rechner
44	Hochpassfilter
46	PID-Regler
47	Modul zur Steuerung der Hub-und Senkbewegung der Mastspitze
48	erster Winkelsensor
50	zweiter Winkelsensor
52	dritter Winkelsensor

Patentansprüche

1. Großmanipulator mit einem ausfaltbaren Mastarm (10), der einen um eine Hochachse drehbaren Drehschemel (12) und eine Mehrzahl von Mastsegmenten

(14, 16, 18) aufweist, wobei die Mastsegmente (14, 16, 18) an Knickgelenken (20, 22, 24) um jeweils horizontale Knickachsen gegenüber einem benachbarten Mastsegment (14, 16, 18) oder dem Drehschemel (12) mittels je eines Antriebsaggregates (26, 28, 30) begrenzt verschwenkbar sind, mit wenigstens einem Inertialsensor (34, 36, 38, 40) zur Messung der Neigung und/oder der Beschleunigung wenigstens eines Mastsegmentes (14, 16, 18), **gekennzeichnet durch** wenigstens einen einem der Knickgelenke (20, 22, 24) zugeordneten Winkelsensor (48, 50, 52), der die Winkelstellung dieses Knickgelenks (20, 22, 24) erfasst, wobei wenigstens ein Inertialsensor (38, 40) an dem letzten Mastsegment (18), insbesondere an der Mastspitze (32), angeordnet ist und die Beschleunigung des letzten Mastsegmentes (18) erfasst, wobei eine Lageregelung zur Regelung der Höhe der Mastspitze (32) basierend auf den Messsignalen des wenigstens einen Inertialsensors (34, 36, 38, 40) vorgesehen ist, wobei die Lageregelung zur Berechnung der Höhe der Mastspitze (32) aus den gemessenen Neigungen der Mastsegmente (14, 16, 18) oder aus den erfassten Winkelstellungen der Knickgelenke (20, 22, 24) in Kombination mit der mittels des am letzten Mastsegment (18), insbesondere an der Mastspitze (32), angeordneten Inertialsensors (38, 40) erfassten Beschleunigung eingerichtet ist, wobei eine zweifache zeitliche Integration des Anteils der gemessenen Beschleunigung in vertikaler Richtung erfolgt.

2. Großmanipulator nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Inertialsensor (34, 36, 38, 40) einen zweiachsigen Beschleunigungssensor und einen Drehratensensor umfasst.

3. Großmanipulator nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Inertialsensor so ausgebildet ist, dass er die Messsignale des zweiachsigen Beschleunigungssensors mit dem zeitlich integrierten Messsignal des Drehratensensors kombiniert.

4. Großmanipulator nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** er zur Verarbeitung der Messsignale des zweiachsigen Beschleunigungssensors und des Drehratensensors einen Beobachter, insbesondere ein erweitertes Kalmanfilter oder ein komplementäres Filter verwendet.

5. Großmanipulator nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** an jedem Mastsegment (14, 16, 18) wenigstens ein Inertialsensor (34, 36, 38) angeordnet ist.

6. Großmanipulator nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Inertialsensoren (34, 36, 38) im Wesentlichen in der Mitte eines Mastsegments (14, 16, 18) angeordnet

sind.

7. Großmanipulator nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** jedem Knickgelenk (20, 22, 24) jeweils ein Winkelsensor (48, 50, 52) zugeordnet ist. 5
8. Großmanipulator nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Großmanipulator eine Regeleinrichtung zur Schwingungsdämpfung aufweist. 10
9. Großmanipulator nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lagerregelung der Schwingungsdämpfung überlagert ist. 15
10. Großmanipulator nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lagerregelung so ausgebildet ist, dass sie Stellsignale, welche auf die Stelleingänge der einzelnen Mastgelenke aufgeschaltet werden, in Abhängigkeit von der Ausrichtung der einzelnen Mastarme und/oder der Entfernung der einzelnen Mastgelenke/Mastarme zum Drehschemel ermittelt. 20
11. Großmanipulator nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lagerregelung so ausgebildet ist, dass sie die Stellsignale anhand einer kartesischen oder zylindrischen Steuerung der Mastspitze ermittelt. 25 30
12. Autobetonpumpe aufweisend ein Fahrzeuggestell, eine am Fahrzeuggestell angeordnete Dickstoffpumpe, insbesondere Betonpumpe, und einen Großmanipulator nach einem der vorangehenden Ansprüche. 35

Claims

1. Large manipulator with a foldable mast arm (10), which has a turntable (12) rotatable about a vertical axis and a plurality of mast segments (14, 16, 18), wherein the mast segments (14, 16, 18) are pivotable to a limited extent on articulated joints (20, 22, 24) about horizontal articulation axes in each case relative to an adjacent mast segment (14, 16, 18) or the turntable (12) by means of a drive unit (26, 28, 30), with at least one inertial sensor (34, 36, 38, 40) for measuring the inclination and/or the acceleration of at least one mast segment (14, 16, 18), **characterised by** at least one angle sensor (48, 50, 52), which is associated with one of the articulated joints (20, 22, 24) and detects the angular position of this articulated joint (20, 22, 24), wherein at least one inertial sensor (38, 40) is arranged on the last mast segment (18), in particular on the mast tip (32) and detects the acceleration of the last mast segment (18), 45 50 55

wherein a position controller for controlling the height of the mast tip (32) based on the measuring signals of the at least one inertial sensor (34, 36, 38, 40) is provided, wherein the position controller is adapted to calculate the height of the mast tip (32) from the measured inclinations of the articulated joints (20, 22, 24) in combination with the acceleration detected by means of the inertial sensor (38, 40) arranged on the last mast segment (18), in particular on the mast tip (32), wherein a twofold time integration of the portion of the measured acceleration in a vertical direction takes place.

2. Large manipulator according to claim 1, **characterised in that** the inertial sensor (34, 36, 38, 40) comprises a biaxial acceleration sensor and a rotation rate sensor.
3. Large manipulator according to claim 2, **characterised in that** the inertial sensor is formed so that it combines the measuring signals of the biaxial acceleration sensor with the time-integrated measuring signal of the rotation rate sensor.
4. Large manipulator according to claim 3, **characterised in that** to process the measuring signals of the biaxial acceleration sensor and the rotation rate sensor it uses an observer, in particular an extended Kalman filter or a complementary filter.
5. Large manipulator according to any one of claims 1 to 4, **characterised in that** at least one inertial sensor (34, 36, 38) is arranged on each mast segment (14, 16, 18).
6. Large manipulator according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the inertial sensors (34, 36, 38) are arranged substantially in the centre of a mast segment (14, 16, 18).
7. Large manipulator according to any one of the preceding claims, **characterised in that** an angle sensor (48, 50, 52) is associated with each articulated joint (20, 22, 24).
8. Large manipulator according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the large manipulator has a control device for damping vibrations.
9. Large manipulator according to claim 8, **characterised in that** the position controller is superimposed on the vibration damping.
10. Large manipulator according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the position controller is designed so that it determines control signals, which are connected to the control inputs of the individual mast joints, as a function of the orien-

tation of the individual mast arms and/or the distance of the individual mast joints/mast arms from the turntable.

11. Large manipulator according to claim 10, **characterised in that** the position controller is designed so that it determines the control signals by means of Cartesian or cylindrical control of the mast tip.
12. Truck-mounted concrete pump having a vehicle chassis, a high density solids pump, in particular concrete pump, arranged on the vehicle chassis, and a large manipulator according to any one of the preceding claims.

Revendications

1. Manipulateur de grande dimension comprenant un bras de mât (10) dépliable, qui comporte une selle orientable (12) rotative sur un axe vertical et une pluralité de segments de mât (14, 16, 18), les segments de mât (14, 16, 18) pouvant pivoter de manière limitée au niveau d'articulations (20, 22, 24) respectivement sur des axes d'articulation horizontaux par rapport à un segment de mât (14, 16, 18) voisin ou à la selle orientable (12) au moyen respectivement d'un ensemble moteur (26, 28, 30), comprenant au moins un capteur inertiel (34, 36, 38, 40) pour mesurer l'inclinaison et/ou l'accélération d'au moins un segment de mât (14, 16, 18), **caractérisé par** au moins un capteur angulaire (48, 50, 52) associé à une des articulations (20, 22, 24) et qui détecte la position angulaire de cette articulation (20, 22, 24), au moins un capteur inertiel (38, 40) étant disposé sur le dernier segment de mât (18), en particulier à la pointe du mât (32), et détectant l'accélération du dernier segment de mât (18), un dispositif de contrôle de position destiné à contrôler la hauteur de la pointe du mât (32) sur la base des signaux de mesure de l'au moins un capteur inertiel (34, 36, 38, 40) étant prévu, le dispositif de contrôle de position étant configuré pour calculer la hauteur de la pointe du mât (32) à partir des inclinaisons mesurées des segments de mât (14, 16, 18) ou à partir des positions angulaires détectées des articulations (20, 22, 24) en combinaison avec l'accélération détectée au moyen du capteur inertiel (38, 40) disposé sur le dernier segment de mât (18), en particulier à la pointe du mât (32), une double intégration temporelle de la part de l'accélération dans la direction verticale mesurée étant effectuée.
2. Manipulateur de grande dimension selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le capteur inertiel (34, 36, 38, 40) comprend un accéléromètre deux axes et un capteur de vitesse de rotation.

3. Manipulateur de grande dimension selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le capteur inertiel est conçu de manière à combiner les signaux de mesure de l'accéléromètre deux axes et le signal de mesure intégré temporellement du capteur de vitesse de rotation.
4. Manipulateur de grande dimension selon la revendication 3, **caractérisé en ce qu'il** utilise, pour le traitement des signaux de mesure de l'accéléromètre deux axes et du capteur de vitesse de rotation, un observateur, en particulier un filtre de Kalman étendu ou un filtre complémentaire.
5. Manipulateur de grande dimension selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce qu'au moins** un capteur inertiel (34, 36, 38) est disposé sur chaque segment de mât (14, 16, 18).
6. Manipulateur de grande dimension selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les capteurs inertiels (34, 36, 38) sont disposés sensiblement au milieu d'un segment de mât (14, 16, 18).
7. Manipulateur de grande dimension selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'un** capteur angulaire (48, 50, 52) est respectivement associé à chaque articulation (20, 22, 24).
8. Manipulateur de grande dimension selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le manipulateur de grande dimension comporte un moyen de contrôle pour l'amortissement des vibrations.
9. Manipulateur de grande dimension selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le dispositif de contrôle de la position a la priorité sur l'amortissement des vibrations.
10. Manipulateur de grande dimension selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le dispositif de contrôle de la position est conçu de manière à déterminer des signaux de commande, qui sont appliqués aux entrées de commande des différentes articulations du mât, en fonction de l'orientation des différents bras de mât et/ou de la distance entre les différentes articulations du mât / différents bras de mât et la selle orientable.
11. Manipulateur de grande dimension selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** le dispositif de contrôle de la position est conçu de manière à déterminer les signaux de commande à l'aide d'une commande cartésienne ou cylindrique de la pointe du mât.

12. Pompe à béton automotrice comportant un châssis de véhicule, une pompe à liquides visqueux, en particulier une pompe à béton, disposée sur le châssis de véhicule, et un manipulateur de grande dimension selon l'une des revendications précédentes.

5

10

15

20

25

30

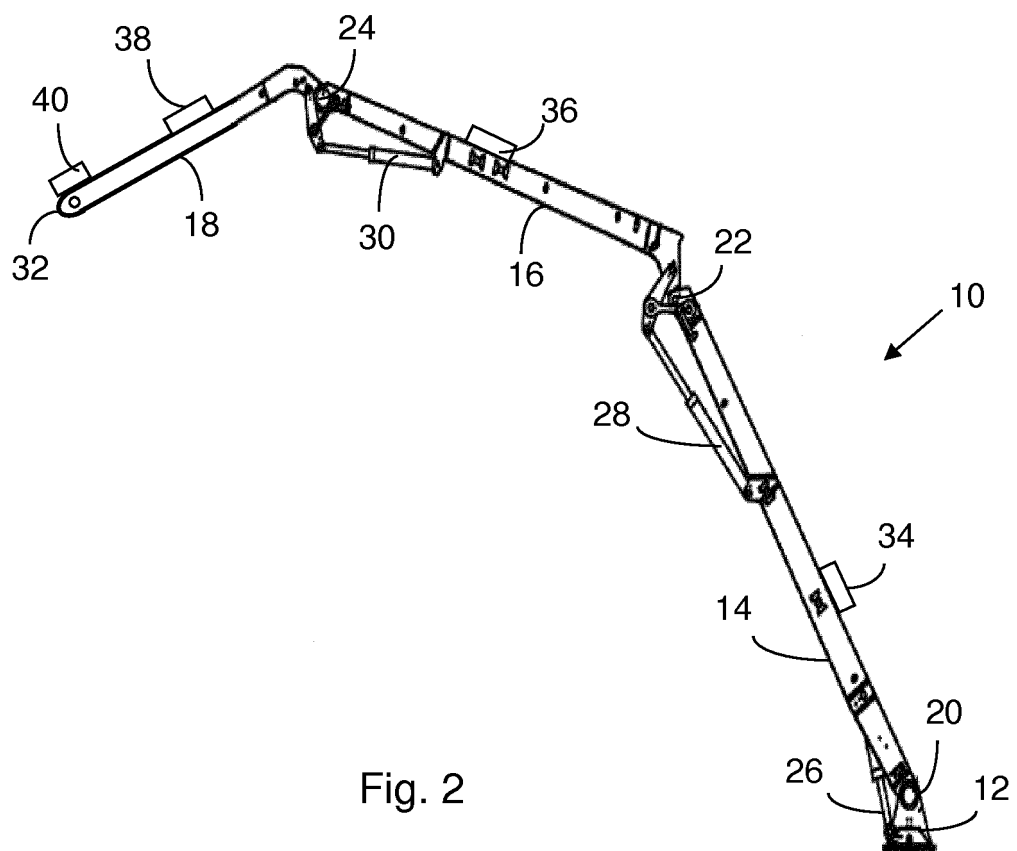
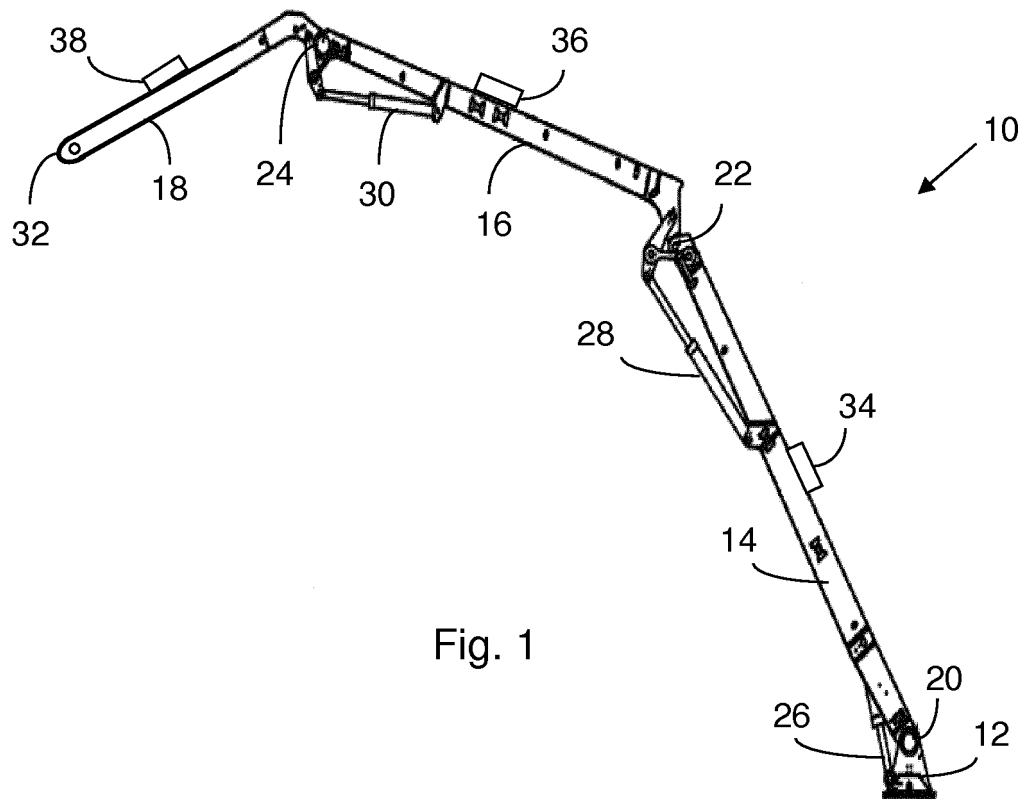
35

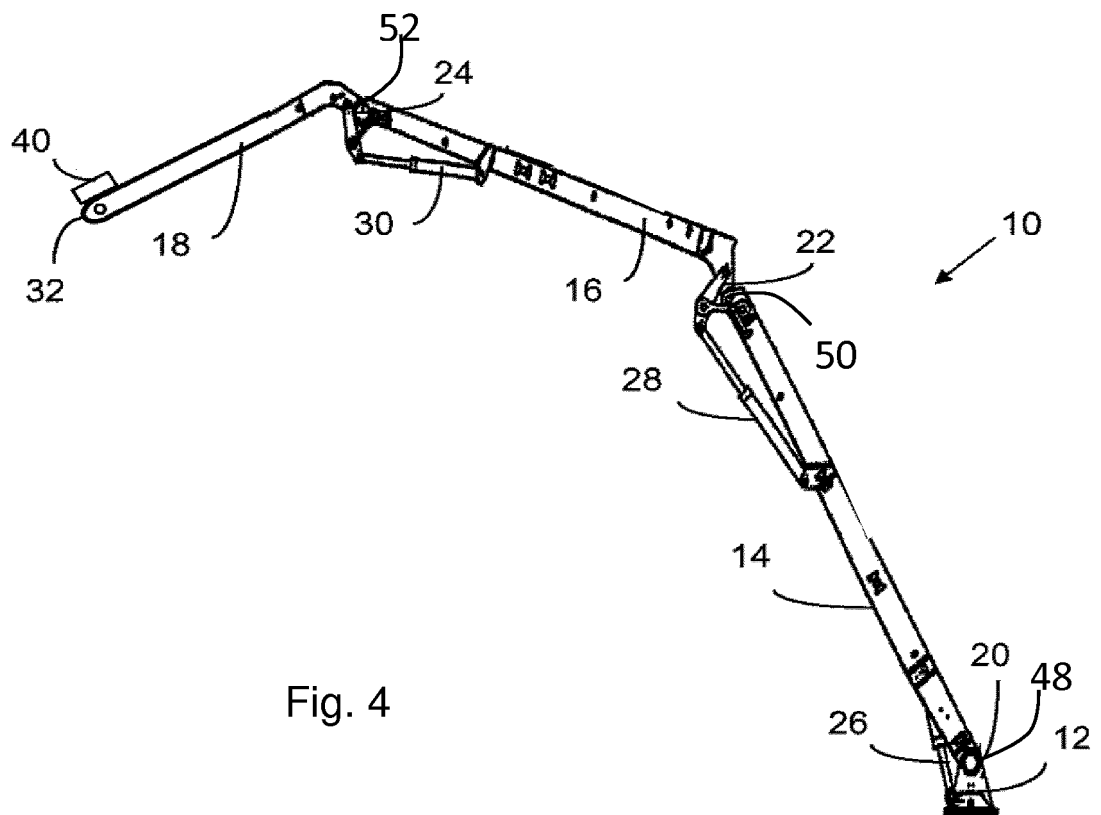
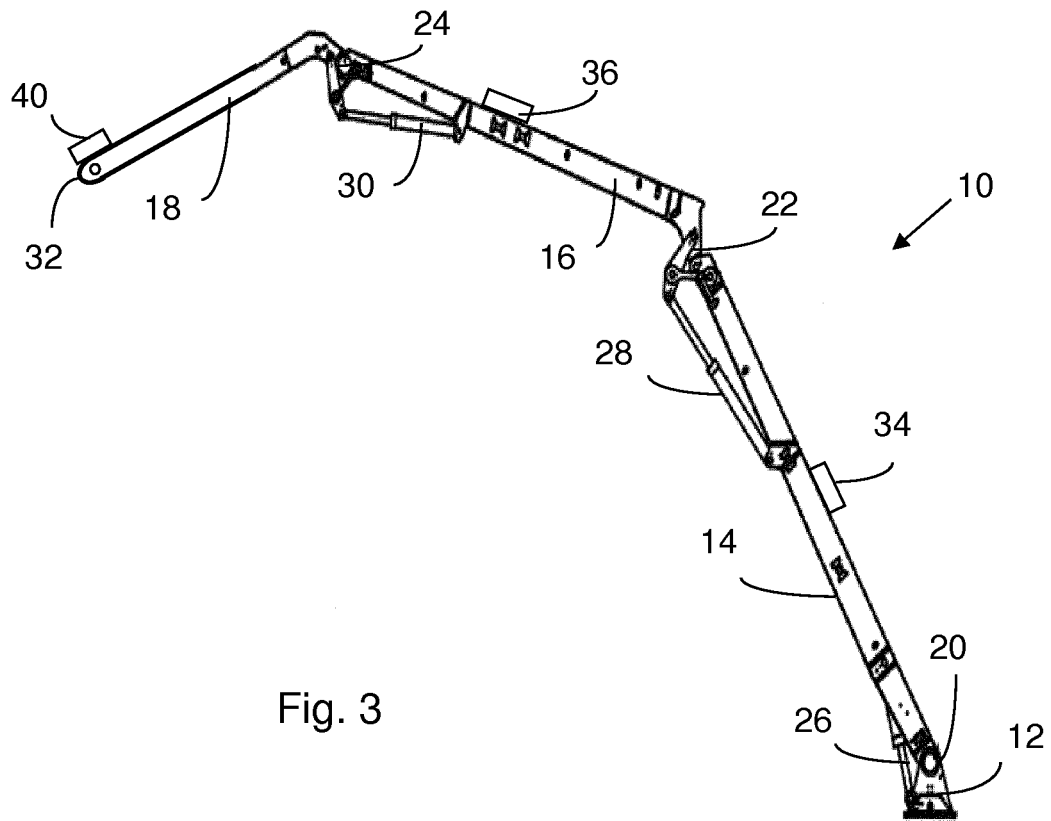
40

45

50

55





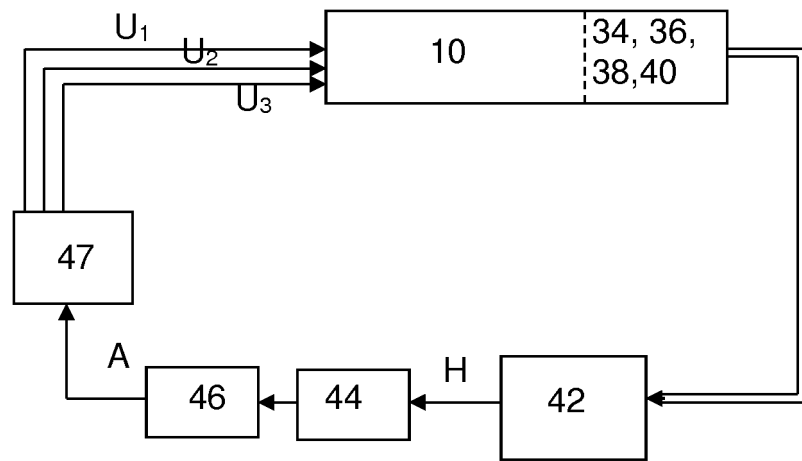


Fig. 5

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102007012575 A1 **[0002]**
- EP 2347988 A1 **[0002]**
- JP 61023212 A **[0002]**
- DE 19503895 A1 **[0003]**
- EP 1537282 B1 **[0004]**
- WO 20141658888 A1 **[0005]**
- WO 20141658889 A1 **[0005]**