



(10) **DE 10 2009 042 014 A1** 2011.03.24

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 042 014.2**

(22) Anmeldetag: **21.09.2009**

(43) Offenlegungstag: **24.03.2011**

(51) Int Cl.⁸: **B25J 11/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:
**Dürr Systems GmbH, 74321 Bietigheim-
Bissingen, DE**

(74) Vertreter:
Wolf & Lutz, 70193 Stuttgart

(72) Erfinder:
**Mbarek, Taoufik, 74321 Bietigheim-Bissingen, DE;
Heuschen, Wulf, 71282 Hemmingen, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

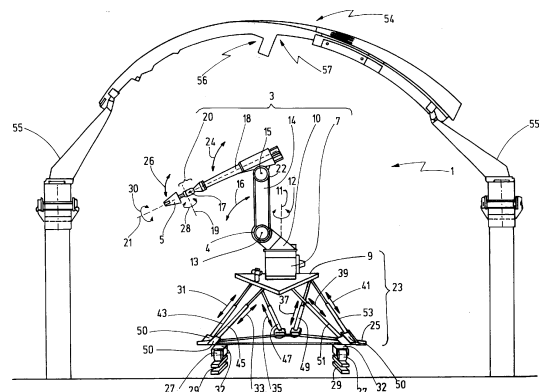
DE	10 2004 033329	B4
DE	10 2008 005300	A1
GB	23 29 138	A
US	2008/00 11 116	A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Handhabungsvorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Handhabungsvorrichtung (1) zum Bewegen einer Applikationseinrichtung (5). Die Applikationseinrichtung kann z.B. als Werkzeug, als Messeinrichtung (5) oder als Aufnahmeeinrichtung für das Handhaben von Gegenständen ausgebildet sein. Die Handhabungsvorrichtung (1) umfasst einen die Applikationseinrichtung (5) aufnehmenden Manipulator (3). Erfindungsgemäß ist der Manipulator (3) an einer Trägerstruktur (9) einer Parallelkinematik (23) aufgenommen. Die Parallelkinematik (23) weist eine Basis (25) auf. Die Parallelkinematik (23) hat wenigstens zwei angetriebene Bewegungsachsen (31, 33, 35, 39) für das Verlagern der Trägerstruktur (9) relativ zu der Basis (25).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Handhabungsvorrichtung zum Bewegen einer Applikationseinrichtung, insbesondere einer Applikationseinrichtung in Form eines Werkzeugs, einer Messeinrichtung oder einer Aufnahmeeinrichtung für das Handhaben von Gegenständen mit einem die Applikationseinrichtung aufnehmenden Manipulator.

[0002] Eine Handhabungsvorrichtung der eingangs genannten Art ist aus der US 2008/0011116 A1 bekannt. Dort ist ein Industrieroboter in Form eines Lackierroboters beschrieben. Der Industrieroboter ist ein sechs Drehachsen aufweisender Manipulator mit Seriellkinematik, an dem ein Lackierwerkzeug in Form eines Rotationszerstäubers für Lack aufgenommen ist. Der Industrieroboter manipuliert ein Lackierwerkzeug. Er ist für den Einsatz in der Fahrzeug-Serienproduktion ausgelegt. In der Fahrzeug-Serienproduktion kann mit dem Roboter automatisch Lack auf eine Fahrzeugkarosserie appliziert werden.

[0003] Industrieroboter mit Seriellkinematik, die mehrere Bewegungsachsen haben, werden in industriellen Fertigungsprozessen insbesondere für das Manipulieren von Schweiß- oder Schraubwerkzeugen oder zum Handhaben von Werkstücken eingesetzt. Es ist bekannt, solche Industrieroboter auch mit Werkzeugen in Form von Messeinrichtungen zu betreiben, z. B. mit Messtastern. In der industriellen Fertigung lassen sich damit Werkstücke sehr genau und mit hoher Geschwindigkeit vermessen.

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art bereitzustellen, die ein präzises Bewegen von Gegenständen und ein genaues Vermessen oder Arbeiten mit Werkzeugen an großen Werkstücken mit ausgedehnten Oberflächen über weite Wegstrecken hinweg ermöglicht.

[0005] Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung der eingangs genannten Art gelöst, bei welcher der Manipulator an einer Trägerstruktur einer Parallelkinematik aufgenommen ist, die eine Basis umfasst und die wenigstens zwei angetriebene Bewegungsachsen für das Verlagern der Trägerstruktur relativ zu der Basis aufweist.

[0006] Unter einer Parallelkinematik wird dabei ein Positioniersystem für eine Trägerstruktur verstanden, das mehrere Bewegungselemente mit angetriebenen Bewegungsachsen hat, die an einer Basis festgelegt sind und die jeweils direkt auf die Trägerstruktur einwirken. Durch Antreiben der Bewegungsachsen der Bewegungselemente kann die Trägerstruktur relativ zu der Basis verlagert werden.

[0007] Eine Seriellkinematik ist demgegenüber ein Positioniersystem für eine Trägerstruktur, die mehre-

re Bewegungselemente enthält, die aufeinanderfolgend angeordnet sind und die Bewegungsachsen haben. Mittels der Bewegungselemente kann die Trägerstruktur hier ebenfalls in Bezug auf eine Basis verlagert werden. Anders als bei der Parallelkinematik ist bei einer Seriellkinematik jedoch jeder Bewegungsachse genau ein Bewegungsfreiheitsgrad der mit dem System bewegten Struktur zugeordnet. Im Vergleich zu einer Parallelkinematik kann deshalb eine Seriellkinematik mit geringerem Steuerungsaufwand betrieben werden. Gleichzeitig ist jedoch bei einer Seriellkinematik jeder Bewegungsfreiheitsgrad mit einer ihm eigenen Resonanzfrequenz verknüpft. Das hat zur Folge, dass bei einer Seriellkinematik ein hoher konstruktiver Aufwand getrieben werden muss, um ein schwingungsarmes Positionieren von Gegenständen über weite Wegstrecken zu ermöglichen.

[0008] Die Erfindung beruht u. a. auf dem Gedanken, dass Industrieroboter, die beim Herstellen und Vermessen von kleinen Werkstücken eingesetzt werden, grundsätzlich auch für das Bearbeiten und Vermessen von großen Werkstücken eingesetzt werden können, wenn sie gegenüber dem Werkstück als ganzes verlagert werden. Der Erfindung liegt die Idee zugrunde, hierzu einen Industrieroboter in seiner Gesamtheit mittels eines als Parallelkinematik ausgebildeten Positioniersystems zu bewegen. Die Erfindung nutzt die Erkenntnis, dass entsprechende Parallelkinematik mit geringerem konstruktivem Aufwand sehr stabil und schwingungsarm gestaltet sowie für das Aufnehmen von sehr schweren Gegenständen ausgelegt werden kann als eine Seriellkinematik, insbesondere eine Seriellkinematik in Form einer Hebebühne oder eines Portals. Von Vorteil ist insbesondere, dass eine Parallelkinematik, die sich zum Bewegen eines Manipulators in Form eines Industrieroboters eignet, bei sehr hoher Stabilität und großer Steifigkeit kompakt gestaltet und mit geringer Massenträgheit ausgeführt werden kann. Von Vorteil ist auch, dass bei einer Parallelkinematik im Unterschied zu einer Seriellkinematik keine Akkumulation von Führungs- bzw. Positionsfehlern der angetriebenen Bewegungsachsen erfolgt. D. h. die Trägerstruktur einer Parallelkinematik lässt sich auch unter Einsatz von vergleichsweise kostengünstigen Antrieben und Baugruppen mit guter Genauigkeit verlagern. Die Idee der Erfindung, einen in der industriellen Fertigung eingesetzten herkömmlichen Industrieroboter mit Seriellkinematik an einer Trägerstruktur zu befestigen, die mittels einer Parallelkinematik verlagerbar ist, ermöglicht darüber hinaus, den Manipulator unter Verwendung bestehender, einfacher und für Seriellkinematik ausgelegter Steuerprogramme zu betreiben.

[0009] Bevorzugt ist der Manipulator ein wenigstens zwei Bewegungsachsen aufweisender Industrieroboter mit Seriellkinematik. Der als Manipulator eingesetzte Industrieroboter kann insbesondere drei, vier, fünf oder sechs angetriebene Bewegungsachsen ha-

ben. Vorzugsweise sind die Bewegungsachsen als rotatorische Bewegungsachsen ausgebildet. Der Industrieroboter kann aber auch eine oder mehrere translatorische Bewegungsachsen aufweisen. Dann lässt sich ein mittels des Manipulators aufgenommener Gegenstand oder ein am Manipulator festgelegtes Werkzeug, z. B. ein Zerspanungswerkzeug, ein Laserwerkzeug oder auch ein Nähkopf mit drei, vier, fünf oder sechs Bewegungsfreiheitsgraden manipulieren. Bei dem Industrieroboter kann es sich z. B. um einen Hohl gelenkroboter, insbesondere um einen Lackierroboter handeln. Der Industrieroboter ist für das Bewegen einer Applikationseinrichtung ausgelegt. Der Industrieroboter kann insbesondere als Messroboter ausgebildet sein oder als Roboter für das Bewegen bzw. Handhaben von Werkstücken oder Werkzeugen.

[0010] Von Vorteil ist es, die den Manipulator aufnehmende Parallelkinematik mit drei, vier, fünf oder sechs Bewegungsachsen auszuführen. Das ermöglicht, die Trägerstruktur mit dem Manipulator mittels der Parallelkinematik entsprechend mit drei, vier, fünf oder sechs Bewegungsfreiheitsgraden zu verlagern. Bevorzugt ist die Parallelkinematik als Tripod, Quadripod, Pentapod oder als Hexapod ausgeführt. Besonders günstig ist es, als Parallelkinematik der Handhabungsvorrichtung ein Pentapod vorzusehen, das einen Industrieroboter mit genau vier rotatorischen Bewegungsachsen trägt. Hierdurch wird eine Handhabungsvorrichtung mit neun Bewegungsfreiheitsgraden geschaffen, die es ermöglicht, den lediglich vier Bewegungsachsen aufweisenden Industrieroboter mit einem Tool-Center-Point über einen weiten Verlagerungsbereich an großen Werkstücken in energetisch und kinematisch stets günstigen Arbeitspositionen einzusetzen.

[0011] Günstig ist es auch, für das Positionieren der Trägerstruktur bei der Parallelkinematik Bewegungsachsen vorzusehen, die parallel zu einem Lenker verlaufen. Hierzu werden die Lenker längenverstellbar ausgeführt. Die Lenker können dann insbesondere als Teleskopbeine mit Kugelspindel oder als Teleskopbeine in Form von doppelt-wirkenden Hydraulikzylindern gestaltet werden. Damit kann die Trägerstruktur mittels der Parallelkinematik über einen weiten Verstellbereich verlagert werden.

[0012] Es ist aber auch möglich, für das Positionieren der Trägerstruktur eine Parallelkinematik einzusetzen, die Bewegungsachsen hat, welche das Bewegen eines Anlenkpunkts eines Lenkers relativ zu der Aufnahmestruktur oder der Trägerstruktur oder die eine rotatorische Bewegung von Lenkern vorsehen, um die Trägerstruktur der Parallelkinematik relativ zu der Basis zu bewegen.

[0013] Von Vorteil ist es, die Basis der Parallelkinematik auf einem System zum translatorischen Verla-

gern anzuordnen. Das System zum translatorischen Verlagern kann z. B. ein auf Schienen geführtes Schienenfahrzeug sein. Es ist jedoch auch möglich, die Aufnahmestruktur als ein frei bewegliches Fahrzeug auszubilden. Günstigerweise ist das System zum translatorischen Verlagern ein Fahrzeug mit Antrieb. Dann kann die an dem Manipulator aufgenommene Applikationseinrichtung, z. B. eine Messeinrichtung oder ein Werkzeug in räumlich weit ausgedehnten Arbeitsbereichen eingesetzt werden.

[0014] Für das Bestimmen der räumlichen Position, d. h. von Ort und/oder Orientierung der mittels der Parallelkinematik bewegbaren Trägerstruktur enthält die Vorrichtung ein Messsystem. Das Messsystem kann insbesondere als Triangulations-Messsystem ausgebildet sein, das die räumliche Position, d. h. die Lage und Orientierung der Trägerstruktur durch Entfernungsmessung eines in einem Koordinatensystem der Trägerstruktur ortsfesten Bezugspunktes zu drei eine Ebene aufspannenden raumfesten Punkten bestimmt. Das Messsystem kann auch für die Entfernungsmessung eines raumfesten Bezugspunktes zu drei eine Ebene aufspannenden Punkten in einem relativ zur Trägerstruktur ortsfestes Koordinatensystem ausgelegt sein, um die räumliche Position der Trägerstruktur zu ermitteln. Insbesondere kann die Entfernungsmessung in dem Messsystem mittels Laserlicht erfolgen. Das Messsystem kann insbesondere als Lasertracker-Messsystem ausgeführt sein. Es ist aber auch möglich, für das Bestimmen der räumlichen Position der Trägerstruktur ein Laser-Radar-Messsystem oder ein Indoor-GPS-Messsystem einzusetzen. Mit solchen Messsystemen können Ort und Orientierung der Trägerstruktur zuverlässig mit einer Repräsentationsrate erfasst werden, die 3 kHz oder auch mehr betragen kann.

[0015] Von Vorteil ist es, für den Manipulator eine Steuereinrichtung vorzusehen, die den Manipulator aufgrund der mittels des Messsystems erfassten Position der Trägerstruktur steuert. Diese Maßnahme ermöglicht es, für die Steuerung des an der Parallelkinematik aufgenommenen Manipulators auch solche Steuerprogramme einzusetzen, mit denen der Manipulator gesteuert werden kann, wenn er auf eine feststehende, unbewegliche Trägerstruktur montiert ist.

[0016] Ein Gedanke der Erfindung besteht weiter darin, die Parallelkinematik der Handhabungsvorrichtung für das aktive Dämpfen von Schwingungen einzusetzen. Es zeigt sich nämlich, dass insbesondere vergleichsweise niederfrequente Schwingungen einer an dem Manipulator aufgenommenen Applikationseinrichtung für das Vermessen von Werkstücken oder für die Materialbearbeitung entsprechende Mess- und Bearbeitungszeiten in die Länge ziehen. Im Allgemeinen kann nämlich der Manipulator mit der Applikationseinrichtung erst eingesetzt werden, wenn diese Schwingungen abgeklungen sind. Für

das aktive Dämpfen von Schwingungen nutzt die Erfindung den Umstand, dass im Unterschied zu einer Seriellkinematik die Rücktransformation bzw. Rückwärtstransformation bei der Parallelkinematik eindeutig ist. Das bedeutet, dass sich aus einer erfassten Position für die Trägerstruktur der Parallelkinematik mathematisch eindeutig auf die Einstellung der Bewegungselemente der Parallelkinematik schließen lässt. Die Rücktransformation kann damit insbesondere analytisch beschrieben werden. Die Eindeutigkeit der Rücktransformation bei der Parallelkinematik ermöglicht, mit geringem Rechenaufwand und in Echtzeit in einem Computer aus der erfassten Position der Trägerstruktur die augenblickliche Einstellung der entsprechenden Bewegungselemente zu ermitteln und diese so zu verstellen, dass unerwünschte Vibrationen bzw. Schwingungen aktiv kompensiert werden.

[0017] Vor diesem Hintergrund besteht ein Gedanke der Erfindung insbesondere darin, der Parallelkinematik eine Steuereinrichtung zuzuordnen, die Steuersignale für das aktive Dämpfen von Schwingungen der Trägerstruktur bereitstellt. Es ist eine Idee der Erfindung, dass mittels der Signale einer Messeinrichtung für das Erfassen von Schwingungen der Trägerstruktur unerwünschte Vibrationen sich effizient und aktiv bedämpfen lassen. Insbesondere ist es eine Erkenntnis der Erfindung, dass als Messeinrichtung für das Erfassen von Schwingungen der Trägerstruktur ein Messsystem für das Bestimmen der räumlichen Position der mittels der Parallelkinematik bewegbaren Trägerstruktur geeignet ist, das ein Abtasten der Position der Trägerstruktur der Parallelkinematik mit einer Repititionsrate ermöglicht, die im Bereich von 3 kHz liegt. Auf diese Weise lassen sich auch Schwingungen und Vibrationen eines Industrieroboters dämpfen, die über einen mit der Trägerstruktur verbundenen Sockel in die Trägerstruktur eingeleitet werden.

[0018] Besonders günstig ist es, in der Steuereinrichtung für die Parallelkinematik eine Baugruppe zur Schwingungsanalyse, z. B. in Form einer Baugruppe zur Fourier-Analyse von Messsignalen, vorzusehen, die mit der Messeinrichtung verbunden ist, um Frequenz, Amplitude und Phasenlage von Schwingungen der Trägerstruktur zu erfassen.

[0019] Ein Gedanke der Erfindung ist auch, dass mittels eines Regelkreises in der Steuereinrichtung, der von der Baugruppe zur Fourier-Analyse von Messsignalen die Frequenz, Amplitude und Phasenlage von Schwingungen der Trägerstruktur als Regelgröße erhält, Steuersignale für die den Bewegungsachsen der Parallelkinematik zugeordneten Antriebe bereitgestellt werden können, die ein aktives Dämpfen von Schwingungen der Trägerstruktur bewirken, die z. B. im Frequenzbereich zwischen 50 Hz und 2 kHz,

insbesondere im Frequenzbereich zwischen 500 Hz und 1 kHz liegen.

[0020] Darüber hinaus ist es möglich, Steuersignale für die den Bewegungsachsen der Parallelkinematik zugeordneten Antriebe zur aktiven Schwingungsdämpfung aufgrund eines kinematischen und/oder dynamischen Modells der Seriellkinematik zu berechnen. Hier werden die von der Seriellkinematik in die Trägerstruktur eingeleiteten Kräfte und Momente bestimmt. Mittels eines dynamischen Modells der Parallelkinematik können dann nämlich die zu erwartenden Schwingungen der Parallelkinematik berechnet werden. Damit ist es möglich, für die Antriebe der Bewegungsachsen Steuersignale zu generieren, die Schwingungen und Vibrationen aktiv dämpfen. Insbesondere ist es damit möglich, für die Antriebe so eine „feedforward control“ Störgrößenaufschaltung zu realisieren, mittels der sich ähnlich wie bei einem Regelkreis die Vibrationen der Trägerstruktur aktiv kompensieren lassen.

[0021] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der in der Zeichnung in schematischer Weise dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert.

[0022] Es zeigen:

[0023] [Fig. 1](#) eine Seitenansicht einer ersten Handhabungsvorrichtung mit Manipulator und Parallelkinematik sowie einem Messwerkzeug in einer Ruheposition;

[0024] [Fig. 2](#) eine Seitenansicht der Handhabungsvorrichtung in einer Arbeitsposition;

[0025] [Fig. 3](#) die Vorrichtung mit einem Messsystem für das Bestimmen der Position einer den Manipulator aufnehmenden Trägerstruktur;

[0026] [Fig. 4](#) eine Steuereinrichtung der ersten Handhabungsvorrichtung;

[0027] [Fig. 5](#) eine zweite Handhabungsvorrichtung mit einem Manipulator und Parallelkinematik;

[0028] [Fig. 6](#) eine Steuereinrichtung der Parallelkinematik in der zweiten Handhabungsvorrichtung;

[0029] [Fig. 7](#) eine Parallelkinematik mit vier Bewegungsachsen; und

[0030] [Fig. 8](#) eine Parallelkinematik mit drei Bewegungsachsen.

[0031] Die Handhabungsvorrichtung 1 in [Fig. 1](#) enthält einen als Industrieroboter ausgebildeten Manipulator 3. Der Manipulator 3 ist ein Knickarm-Roboter. Er hat ein Karussell 10. Er umfasst eine Schwinge 14 und einen Arm 18 mit einem Handgelenk 20. Das

Handgelenk **20** des Manipulators **3** trägt eine Applikationseinrichtung. Die Applikationseinrichtung ist eine Messeinrichtung in Form eines Scanners **5**. Der Manipulator **3** hat einen Sockel **7**. Der Sockel **7** des Manipulators **3** ist auf einer Trägerstruktur **9** befestigt. Die Trägerstruktur **9** ist als Plattform ausgebildet.

[0032] Das Karussell **10** kann mittels eines elektromotorischen Antriebs entsprechend einem ersten mit dem Doppelpfeil **12** kenntlich gemachten rotatorischen Bewegungsfreiheitsgrad um die Drehachse **11** bewegt werden. Das Karussell **10** trägt die Schwinge **14**. Die Schwinge **14** ist in einem Drehgelenk **4** an dem Karussell **10** gelagert. In dem Drehgelenk **4** kann die Schwinge **14** mittels eines weiteren elektromotorischen Antriebs mit einem zweiten rotatorischen Bewegungsfreiheitsgrad entsprechend dem Doppelpfeil **16** um die Drehachse **13** bewegt werden. Der Arm **18** ist an der Schwinge **14** mit einem Drehgelenk **22** angelenkt. Er kann dort mittels eines Antriebs mit einem dritten rotatorischen Bewegungsfreiheitsgrad entsprechend dem Doppelpfeil **24** um die Drehachse **15** bewegt werden. Der Arm **18** trägt das Handgelenk **20** des Manipulators. An dem Handgelenk **20** kann der Scanner **5** mit rotatorischen Bewegungsfreiheitsgraden entsprechend der Doppelpfeile **26**, **28** und **30** um die Drehachsen **17**, **19** und **21** bewegt werden.

[0033] Der Manipulator **3** führt den Scanner **5** mit einer Seriellkinematik, welche die als Drehachsen ausgebildeten Bewegungsachsen **11**, **13**, **15**, **17**, **19** und **21** hat. Mittels dieser Seriellkinematik kann der Scanner **5** durch den Manipulator **3** mit drei translatorischen und drei rotatorischen Bewegungsfreiheitsgraden verlagert werden.

[0034] Die Trägerstruktur **9** wirkt als bewegliche Bühne. Sie ist Teil einer als Hexapod **23** ausgebildeten Parallelkinematik. In dem Hexapod **23** kann die Trägerstruktur **9** mit sechs Bewegungsfreiheitsgraden verstellt werden. Das Hexapod **23** umfasst eine Basis **25**.

[0035] Das Hexapod **23** hat sechs angetriebene lineare Bewegungsachsen, die den Doppelpfeilen **31**, **33**, **35**, **37**, **39**, **41** entsprechen. Als Antrieb für jede lineare Bewegungsachse gibt es in dem Hexapod einen doppelt-wirkenden Hydraulikzylinder **43**, **45**, **47**, **49**, **51** und **53**. Ein jeder Hydraulikzylinder wirkt als Lenker. Jeder Hydraulikzylinder ist in einem Kugelgelenk **50** an der Basis **25** gelagert und mit einem weiteren Kugelgelenk an die Trägerstruktur **9** angeschlossen. Anstelle von Kugelgelenken können bei dem Hexapod **23** auch Kardangelenke vorgesehen werden.

[0036] Die Basis **25** befindet sich auf einem Schienenfahrzeug **32**. Das Schienenfahrzeug **32** ist an angetriebenen Rollen **27** auf zwei Schienen **29** geführt. Das Hexapod **23** kann so mit dem Manipulator **3** auf den Schienen **29** bewegt werden.

[0037] Die **Fig. 1** zeigt die Handhabungsvorrichtung **1** unter einem Werkstück in Form eines Rumpfteils **54** eines Flugzeugs, das an einem Gerüst **55** aufgenommen ist. Die Einstellung von Hexapod **23** und Manipulator **3** entspricht einer Ruheposition der Vorrichtung **1**. Mittels der Hydraulikzylinder **43**, **45**, **47**, **49**, **51** und **53** des Hexapods **23** kann der Manipulator **3** mit drei translatorischen und drei rotatorischen Bewegungsfreiheitsgraden in günstige Arbeitspositionen bewegt werden.

[0038] Die **Fig. 2** zeigt die Handhabungsvorrichtung **1** in einer Arbeitsposition. Der Scanner **5** ist mittels des Hexapods **23** und des Manipulators **3** zu dem Rumpfteil **54** für das Flugzeug bewegt. Durch Verstellen der Hydraulikzylinder **43**, **45**, **47**, **49**, **51**, **53** des Hexapods **23** kann der Manipulator **3** so verlagert werden, dass insbesondere die Hinterschneidungen in den Bereichen **56** und **57** des Rumpfteils **54** oder z. B. auch die Öffnungen für die Cargo-Tore in einem Rumpfteil für ein Flugzeug mit dem Scanner **5** vermessen werden können.

[0039] Die **Fig. 3** zeigt die Handhabungsvorrichtung **1** mit dem Rumpfteil **54** eines Flugzeugs von oben. Das Rumpfteil **54** hat eine Länge L von ca. 18 m. Die Breite B des Rumpfteils **54** beträgt 6 m. Die Abmessungen des Manipulators **3** sind demgegenüber sehr viel kleiner. Die Länge der Schwinge **14** und des Arms **18** des Manipulators **3** beträgt lediglich 120 cm bzw. 150 cm. Der Sockel **7** des Manipulators **3** ist nur 80 cm hoch. Kleine Baulängen der Baugruppen des Manipulators **3** gewährleisten ein Schwingungsverhalten, das aufgrund höherer Eigenfrequenzen für Messungen weniger störend ist. Gleichzeitig werden mit kleinen Baulängen die Trägheitsmomente für die Bewegungsachsen des Manipulators **3** reduziert. Aufgrund der kleinen Baulängen kann auch die schwere Masse des Manipulators **3** gering gehalten werden.

[0040] Für das Bestimmen der räumlichen Position der Trägerstruktur **9** enthält die Handhabungsvorrichtung **1** ein Messsystem **59**. Das Messsystem **59** umfasst eine auf der Trägerstruktur **9** angeordnete Reflektor-Detektoreinheit **61**, die mehrere mittels Stellgliedern verlagerebare Reflektoren und Lichtsensoren aufweist. Der Detektoreinheit **61** in dem Messsystem **59** ist eine Steuer- und Auswerteeinheit **67** zugeordnet. Das Messsystem **59** enthält weiter ein Lasersystem **63**. Das Lasersystem **63** ist in Bezug auf die Handhabungsvorrichtung **1** raumfest positioniert. Das Lasersystem **63** erzeugt einen Laserstrahl **65**, welcher der Reflektor-Detektoreinheit **61** auf der Trägerstruktur **9** nachgeführt wird. In dem Lasersystem **63** wird Laserlicht erfasst, welches die Reflektor-Detektoreinheit **61** in das Lasersystem **63** zurückreflektiert. Die Steuer- und Auswerteeinheit **67** bewirkt ein Tracken des Laserstrahls **65** derart, dass der Laserstrahl **65** immer der auf die Reflektor-Detektoreinheit **61** gerichtet ist. Die Steuer- und Auswerteeinheit

67 bestimmt den Abstand der Reflektor-Detektoreinheit **61** von dem Lasersystem **63** und die räumliche Orientierung der Reflektor-Detektoreinheit **61** im Bezug auf ein raumfestes Koordinatensystem. Mittels des Messsystems **59** wird so der Ort $X = (x, y, z)$ und die Orientierung $O = (\alpha, \beta, \gamma)$ der Trägerstruktur **9**, d. h. die Position $P = (x, y, z; \alpha, \beta, \gamma)$ der Trägerstruktur **9** in dem raumfesten Koordinatensystem **69** erfasst. Das Messsystem **59** tastet dabei die Position $P = (x, y, z; \alpha, \beta, \gamma)$ der Trägerstruktur **9** in dem raumfesten Koordinatensystem **69** mit einer Repetitionsrate im Bereich von 3 KHz ab.

[0041] Für das Bestimmen der räumlichen Position der Trägerstruktur **9** kann insbesondere auch ein Lasertracker-Messsystem mit Reflektor und Kamera, ein Laserradar-Messsystem, ein Indoor-GPS-Messsystem oder ein videometrisches Messsystem mit Kamera eingesetzt werden.

[0042] Ein Lasertrecker-Messsystem ist ein Messsystem, das durch eine Kombination aus Winkelmessung und interferometischer Laser-Distanzmessung die 3D-Punkt-Koordinaten eines räumlich ausgedehnten Objekts ermittelt.

[0043] Ein Laserradar-Messsystem erzeugt Frequenz-moduliertes IR-Laserlicht, um den Abstand und die Geschwindigkeit eines Messpunkts an einem Objekt relativ zu einem Messkopf für das IR-Laserlicht zu erfassen. Durch die Detektion mehrerer Messpunkte an einem Objekt kann so die Position des Objekts, d. h. dessen Lage und Orientierung bestimmt werden.

[0044] Ein Indoor-GPS-Messsystem umfasst mehrere Sender für IR-Laserlicht und enthält einen oder mehrere Empfänger mit Rechneinheit. Mittels der Sender wird ein Messvolumen mit IR-Laserlicht ausgeleuchtet. Das IR-Signal der Sender kann mittels der Empfänger erfasst werden. Aus dem erfassten IR-Signal bestimmt die Rechneinheit die exakte räumliche Position der Empfänger.

[0045] In einem videometrischen Messsystem mit Kamera werden Lage und Orientierung einer räumlich ausgedehnten Struktur mittels Bildverarbeitung berechnet.

[0046] Die beschriebenen Messsysteme können grundsätzlich auch zum Erfassen der Position eines am Manipulator **3** aufgenommenen Werkzeugs oder von Gelenkteilen des Manipulators oder auch für das Erfassen der Position der Basis der Parallelkinematik eingesetzt werden.

[0047] In der [Fig. 4](#) ist die Steuereinrichtung **100** der Vorrichtung **1** gezeigt. Der Steuereinrichtung **100** ist ein Computer **102** zugeordnet. Der Computer **102** hat

eine Eingabeschnittstelle **104** und weist eine Ausgabeschnittstelle **106** auf.

[0048] Die Steuereinrichtung **100** enthält eine Steuereinheit **108** für das System zum translatorischen Verlagern von Hexapod **23** und Manipulator **3**. Die Steuereinheit **108** steuert den Antrieb **109** für die an den Schienen **29** geführten Rollen **27**. Für das Hexapod **23** gibt es in der Steuereinrichtung **100** eine Steuereinheit **110**.

[0049] Der Manipulator **3** der Handhabungsvorrichtung **1** wird mittels einer Steuereinheit **112** in der Steuereinrichtung **100** gesteuert. Die Steuereinheit **112** enthält in einem Programmspeicher **111** ein Industrieroboter-Steuerprogramm. Das Industrieroboter-Steuerprogramm steuert den Manipulator **3** mit Steuerbefehlen, die sich auf ein im Bezug auf den Sockel **7** des Manipulators **3** ortsfestes Koordinatensystem **71** beziehen. Dieses Koordinatensystem **71** ist auch ortsfest im Bezug auf die Trägerstruktur **9**.

[0050] Die Steuereinrichtung **100** enthält eine Schaltungsbaugruppe **114**, die mit dem Messsystem **59** der Handhabungsvorrichtung **1** verbunden ist. Der Computer **102** enthält ein Betriebsprogramm für die Vorrichtung **1**. Er ist mit dem an dem Manipulator **3** aufgenommenen Scanner **5** verbunden.

[0051] Für das Vermessen des Rumpfteils **54** des Flugzeugs muss eine Bedienperson dessen ungefähre Länge, Breite und Höhe in den Computer **102** eingeben. Alternativ hierzu kann diese Information dem Computer **102** auch direkt aus einem CAD-Datensatz für das Rumpfteil **54** bereitgestellt werden.

[0052] Der Computer **102** gibt dann ein erstes Position-Stellsignal in Form einer günstigen Ortsinformation $W = w_{\text{soll}}$ an die Steuereinheit **108** ab. Er speist dann die Steuereinheit **110** mit einem zweiten Position-Stellsignal $P_{\text{soll}} = (x_{\text{soll}}, y_{\text{soll}}, z_{\text{soll}}, \alpha_{\text{soll}}, \beta_{\text{soll}}, \gamma_{\text{soll}})$, das einer günstigen Lage der Trägerstruktur **9** für das Hexapod **23** entspricht.

[0053] In einem nächsten Schritt wird dann mittels des Computers **102** die Schaltungsbaugruppe **114** mit einem Aktivierungssignal A für das Bestimmen der Position P_{ist} der Trägerstruktur **9** angesteuert. Darauf wird von der Schaltungsbaugruppe **114** die mittels des Messsystems **59** erfasste Position $P_{\text{ist}} = (x_{\text{ist}}, y_{\text{ist}}, z_{\text{ist}}, \alpha_{\text{ist}}, \beta_{\text{ist}}, \gamma_{\text{ist}})$ der Trägerstruktur abgefragt. Diese Information wird in dem Computer **102** verarbeitet. Aus dieser Information generiert der Computer **102** dann für die Steuereinheit **112** des Manipulators **3** einen Steuerbefehl S , welcher der exakten Position der Trägerstruktur **9** mit dem Gestell **7** des Manipulators **3** Rechnung trägt.

[0054] Aufgrund dieses Steuerbefehls S wird der Manipulator **3** mittels der Steuereinheit **112** in eine

Messposition für den Scanner **5** bewegt. Der Scanner **5** gibt darauf ein Messsignal $M = (x_s, y_s, z_s)$ für einen Messpunkt an den Computer **102** ab. Unter Berücksichtigung der mittels des Messsystems erfassten Position P_{ist} der Trägerstruktur **9** und der mittels des Steuerbefehls S bewirkten Einstellung des Manipulators **3** berechnet der Computer **102** dann aus dem Messsignal M die Koordinaten des Messpunktes in dem ortsfesten Koordinatensystem **69**.

[0055] Es versteht sich, dass anstelle eines Messwerkzeugs mittels des Manipulators **3** auch ein Schraub- oder Zerspanungswerkzeug manipuliert werden kann, ebenso eine Handhabungseinrichtung wie z. B. eine Roboterhand oder auch ein Lackierwerkzeug.

[0056] Für die Steuerung der Handhabungsvorrichtung **1** kann auch eine Steuereinrichtung eingesetzt werden, die das Erfassen und Verarbeiten der mittels eines geeigneten Messsystems erfassten räumlichen Position eines Tool-Center-Points des Manipulators oder einer am Manipulator aufgenommenen Applikationseinrichtung vorsieht.

[0057] Die [Fig. 5](#) zeigt eine Handhabungsvorrichtung **201** für ein Laserwerkzeug **205**, das zur Material- und Oberflächenbearbeitung dient. Das Laserwerkzeug **205** ist an einem Manipulator aufgenommen, der als Hohl gelenkroboter **203** ausgebildet ist. Der Hohl gelenkroboter **203** hat vier Hohl gelenke mit rotatorischen Bewegungsachsen **211**, **213**, **215** und **221** die jeweils einen Antrieb aufweisen. Der Hohl gelenkroboter **203** enthält Versorgungsstränge für das Laserwerkzeug **203**. Diese Versorgungsstränge sind durch Arme und Hohl gelenke des Hohl gelenkroboters **203** verdeckt geführt. Der Hohl gelenkroboter **205** ist auf der Plattform **209** einer Parallelkinematik in Form eines Pentapods **223** angeordnet. Das Pentapod **223** umfasst eine Basis **225**. Das Pentapod **223** hat fünf Teleskopbeine **241**, **243**, **245**, **247** und **249**, die jeweils an der Basis **225** angelenkt sind und die jeweils mit einem Gelenk die Plattform **209** abstützen. Den Teleskopbeinen ist jeweils ein Antrieb im Form eines Linearmotors **240**, **242**, **244**, **246**, **248** und zugeordnet. Mittels der Antriebe ist es möglich, die Teleskopbeine mit fünf linearen Bewegungsachsen zu verstellen, die den Doppelpfeilen **231**, **233**, **235**, **237** und **239** entsprechen. Durch Verstellen der Teleskopbeine kann damit die Plattform **209** mit den drei translatorischen Freiheitsgrade entsprechend der Achsen x , y , z und mit zwei rotatorischen Freiheitsgrade entsprechend der Doppelpfeile φ , ψ verlagert werden.

[0058] Die Handhabungsvorrichtung **201** umfasst ein Fahrzeug **232** mit Antrieb, das die Basis **225** des Pentapods **223** trägt. Mit diesem Fahrzeug **232** kann der am Pentapod aufgenommene Hohl gelenkroboter **203** in einer Fertigungshalle bewegt werden, um so

das Laserwerkzeug **205** für die Bearbeitung von ausgedehnten Werkstücken einsetzen zu können.

[0059] Auf der Plattform **209** der Handhabungsvorrichtung **201** ist ein Schwingungssensor **260** angeordnet. Der Schwingungssensor **260** ist als kapazitiver Schwingungssensor ausgeführt. Der Schwingungssensor **260** ist so gestaltet, dass sich mit ihm die Vibrationen der Plattform **209** in einem Frequenzbereich zwischen 0 und 10 KHz erfassen lassen.

[0060] Als Schwingungssensor kann auch ein Schwingungssensor mit induktivem Messprinzip verwendet werden. Darüber hinaus ist es möglich, ein Messsystem für das Bestimmen der räumlichen Position der Trägerstruktur **209**, wie es oben anhand von [Fig. 3](#) beschrieben ist, als Sensor für das Erfassen von Schwingungen der Trägerstruktur einzusetzen.

[0061] Durch geeignetes Steuern der Antriebe der Teleskopbeine **241**, **243**, **245**, **247** und **249** ist es möglich, die Trägerstruktur **209** aktiv zu stabilisieren und insbesondere Vibrationen aktiv zu dämpfen, welche bei einem Verfahren der Handhabungsvorrichtung **201** auftreten oder die durch das Verstellen des Hohl gelenkroboters **203** beim Manipulieren des Laserwerkzeugs **205** verursacht werden.

[0062] Für das aktive Stabilisieren der Trägerstruktur **209** hat die Handhabungsvorrichtung **201** eine Steuereinrichtung **300**, die in [Fig. 6](#) gezeigt ist.

[0063] Die Steuereinrichtung **300** enthält eine Steuereinheit **302**. Die Steuereinheit **302** dient zur Steuerung der Linearmotoren **240**, **242**, **244**, **246**, **248** für die Teleskopbeine des Pentapods **223**. Die Steuereinrichtung **300** ist mit dem Schwingungssensor **260** auf der Plattform **209** der Handhabungsvorrichtung **201** verbunden. Die Steuereinrichtung **300** umfasst eine Baugruppe **304** für die Fourier-Analyse der Messsignale des Schwingungssensors. In der Baugruppe **304** werden die Amplituden A_n , die Phasenlagen φ_n und die Frequenzen ν_n des Schwingungsspektrums der Bewegung der Plattform für die drei translatorischen Freiheitsgrade bezüglich der Achsen x , y , z und die zwei rotatorischen Freiheitsgrade entsprechend der Achsen φ , ψ der Plattform **209** erfasst. Diese Amplituden A_n , Phasenlagen φ_n und Frequenzen ν_n werden einem Regelkreis **306** in der Steuereinrichtung **300** zugeführt.

[0064] Aufgrund der Eindeutigkeit der Rücktransformation bei einer Parallelkinematik kann der Regelkreis **306** die Auslenkung der Parallelkinematik **223** in Echtzeit und mit sehr großer Genauigkeit ermitteln. Der Regelkreis **306** generiert Steuersignale S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , S_5 für die Steuereinheit **302**. Die Steuereinheit **302** bewirkt damit ein Verstellen der Linearmotoren **240**, **242**, **244**, **246** und **248** in der Weise, dass die Teleskopbeine **241**, **243**, **245**, **247**, **249** mit der Platt-

form **209** auf den betreffenden Frequenzen v_n gegenphasig verlagert werden. Unerwünschte Vibrationen der Plattform **209** werden hierdurch aktiv gedämpft.

[0065] Es sei bemerkt, dass der Regelkreis **306** insbesondere mittels eines Computers realisiert werden kann, der ein entsprechendes Regelprogramm enthält. Darüber hinaus ist es auch möglich, zum Zwecke einer Aktiven Dämpfung von Schwingungen der Plattform **209** die Linearmotoren **240, 242, 244, 246, 248** des Pentapods **223** mit einem Computer zu steuern, der ein Rechenmodell für die Geometrie, die Statik und die Kinematik der Handhabungsvorrichtung **201** enthält. Hierdurch können die Vibrationen der Plattform **209** ebenfalls aktiv gedämpft werden, allerdings ohne dass hierfür das Messen von Schwingungen der Plattform **209** erforderlich ist.

[0066] Die [Fig. 7](#) zeigt eine Parallelkinematik **423** in einer weiteren Handhabungsvorrichtung, um dort einen Manipulator mit Applikationseinrichtung zu bewegen. Die Parallelkinematik **423** ist als Quadripod ausgeführt. Die Parallelkinematik **423** hat vier Bewegungsachsen **402, 404, 406** und **408**. Die Parallelkinematik **423** umfasst eine Basis **425** und weist eine Trägerstruktur **409** auf. Die Trägerstruktur **409** ist über vier Gelenkarme **410, 412, 414** und **416** mit der Basis **425** verbunden. Jeder der vier Gelenkarme **410, 412, 414** und **416** ist als sogenannter Zweischlag ausgebildet. Ein solcher Zweischlag umfasst einen ersten Lenker **411** und hat einen zweiten Lenker **413**. Die Lenker **411, 413** sind durch ein Drehgelenk **415** verbunden. Einem jeden der vier Gelenkarme **410, 412, 414, 416** ist ein rotatorischer Antrieb **418** zugeordnet. Mittels dieser Antriebe kann die Trägerstruktur **409** mit drei translatorischen Freiheitsgraden und einem rotatorischen Freiheitsgrad verlagert werden.

[0067] Die [Fig. 8](#) zeigt eine Parallelkinematik **523** mit drei Bewegungsachsen **526, 524, 528**. Auch die Parallelkinematik **523** ist Teil einer entsprechenden Handhabungsvorrichtung, um dort einen Manipulator mit Applikationseinrichtung zu bewegen. Die Parallelkinematik **523** ist als Tripod ausgeführt. Die Parallelkinematik **523** umfasst eine Basis **525** und weist eine Trägerstruktur **509** auf. Die Trägerstruktur **509** ist über drei Paare von Gelenkarmen **510, 512, 514** mit der Basis **525** durch Kardangelenke verbunden. Einem jeden der Gelenkarm-Paare **510, 512, 514** ist ein Linearantrieb zugeordnet, der das Verlagern der Gelenkarm-Paare **510, 512, 514** mit den Bewegungsachsen **524, 526, 528** entsprechend der Doppelpfeile **518, 520, 522** an der Basis **525** ermöglicht.

[0068] Zusammenfassend sind die folgenden bevorzugten Merkmale der Erfindung festzuhalten: Die Erfindung betrifft eine Handhabungsvorrichtung **1** zum Bewegen einer Applikationseinrichtung **5**. Die Applikationseinrichtung kann z. B. als Werkzeug, als

Messeinrichtung oder als Aufnahmeeinrichtung für das Handhaben von Gegenständen ausgebildet sein. Die Handhabungsvorrichtung **1** umfasst einen die Applikationseinrichtung **5** aufnehmenden Manipulator **3**. Der Manipulator **3** ist an einer Trägerstruktur **9** einer Parallelkinematik **23** aufgenommen. Die Parallelkinematik **23** weist eine Basis **25** auf. Die Parallelkinematik **23** hat wenigstens zwei angetriebene Bewegungsachsen **31, 33, 35, 39** für das Verlagern der Trägerstruktur **9** relativ zu der Basis **25**.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 2008/0011116 A1 [\[0002\]](#)

Patentansprüche

1. Handhabungsvorrichtung (1, 201) zum Bewegen einer Applikationseinrichtung (5, 205), insbesondere einer Applikationseinrichtung in Form eines Werkzeugs, einer Messeinrichtung oder einer Aufnahmeeinrichtung für das Handhaben von Gegenständen, mit einem die Applikationseinrichtung (5, 205) aufnehmenden Manipulator (3, 203)

dadurch gekennzeichnet, dass der Manipulator (3, 203) an einer Trägerstruktur (9, 209) einer Parallelkinematik (23, 223, 423, 523) aufgenommen ist, die eine Basis (25, 225, 425, 525) umfasst und die wenigstens zwei angetriebene Bewegungsachsen (31, 33, 35, 39, 231, 239, 235, 237, 239, 402, 404, 406, 408, 524, 526, 528) für das Verlagern der Trägerstruktur (9, 209, 409, 509) relativ zu der Basis (25, 225, 425, 525) aufweist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Manipulator ein wenigstens zwei angetriebene Bewegungsachsen (11, 13, 15, 17, 19, 21, 211, 213, 215, 221) aufweisender Industrieroboter (3, 203) mit Seriellkinematik ist, insbesondere ein als Hohl gelenkroboter (203) ausgebildeter Industrieroboter ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Manipulator (203) genau vier angetriebene rotatorische Bewegungsachsen (211, 213, 215, 221) aufweist und die Parallelkinematik genau drei angetriebene Bewegungsachsen (524, 526, 528) hat und insbesondere als Tripod (523) ausgebildet ist, oder die Parallelkinematik genau vier angetriebene Bewegungsachsen (402, 404, 406, 408) hat und insbesondere als Quadripod (423) ausgebildet ist oder die Parallelkinematik genau fünf angetriebene Bewegungsachsen (231, 233, 235, 237, 239) hat und insbesondere als Pentapod (223) ausgebildet ist, oder die Parallelkinematik genau sechs angetriebene Bewegungsachsen (31, 33, 35, 37, 39, 41) hat und insbesondere als Hexapod (23) ausgebildet ist.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Basis (25) an einem Fahrzeug (30, 232) befestigt ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein Messsystem (59) für das Bestimmen der räumlichen Position (P_{ist}) der mittels der Parallelkinematik (23) bewegbaren Trägerstruktur (9) vorgesehen ist, insbesondere ein Messsystem in Form eines Lasertrackers oder eines Laser-Radars oder eines Indoor-GPS oder eines videometrischen Messsystems mit Kamera.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Messsystem (59) die räumliche Position (P_{ist}) der Trägerstruktur (9) durch Entfer-

nungsmessung eines in einem Koordinatensystem (71) der Trägerstruktur (9) ortsfesten Bezugspunktes zu drei eine Ebene aufspannenden raumfesten Punkten bestimmt oder durch Entfernungsmessung eines raumfesten Bezugspunktes zu drei eine Ebene aufspannenden in einem Koordinatensystem (71) der Trägerstruktur (9) ortsfesten Punkten bestimmt.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Entfernungsmessung mittels Laserstrahl (65) erfolgt.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass dem Manipulator (3) eine Steuereinrichtung (112) zugeordnet ist, die den Manipulator (3) aufgrund der mittels des Messsystems (59) erfassten räumlichen Position (P_{ist}) der Trägerstruktur (9) steuert.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Parallelkinematik (223) eine Steuereinrichtung (300) zugeordnet ist, die Steuersignale für das aktive Bedämpfen von Schwingungen der Trägerstruktur (209) bereitstellt.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (300) mit einer Messeinrichtung (260) für das Erfassen von Schwingungen der Trägerstruktur (209), insbesondere mit einem an der Trägerstruktur befestigten Schwingungssensor (260) verbunden ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Messeinrichtung für das Erfassen von Schwingungen der Trägerstruktur als Messsystem (59) für das Bestimmen der räumlichen Position (P_{ist}) der mittels der Parallelkinematik (23) bewegbaren Trägerstruktur (9) ausgebildet ist.

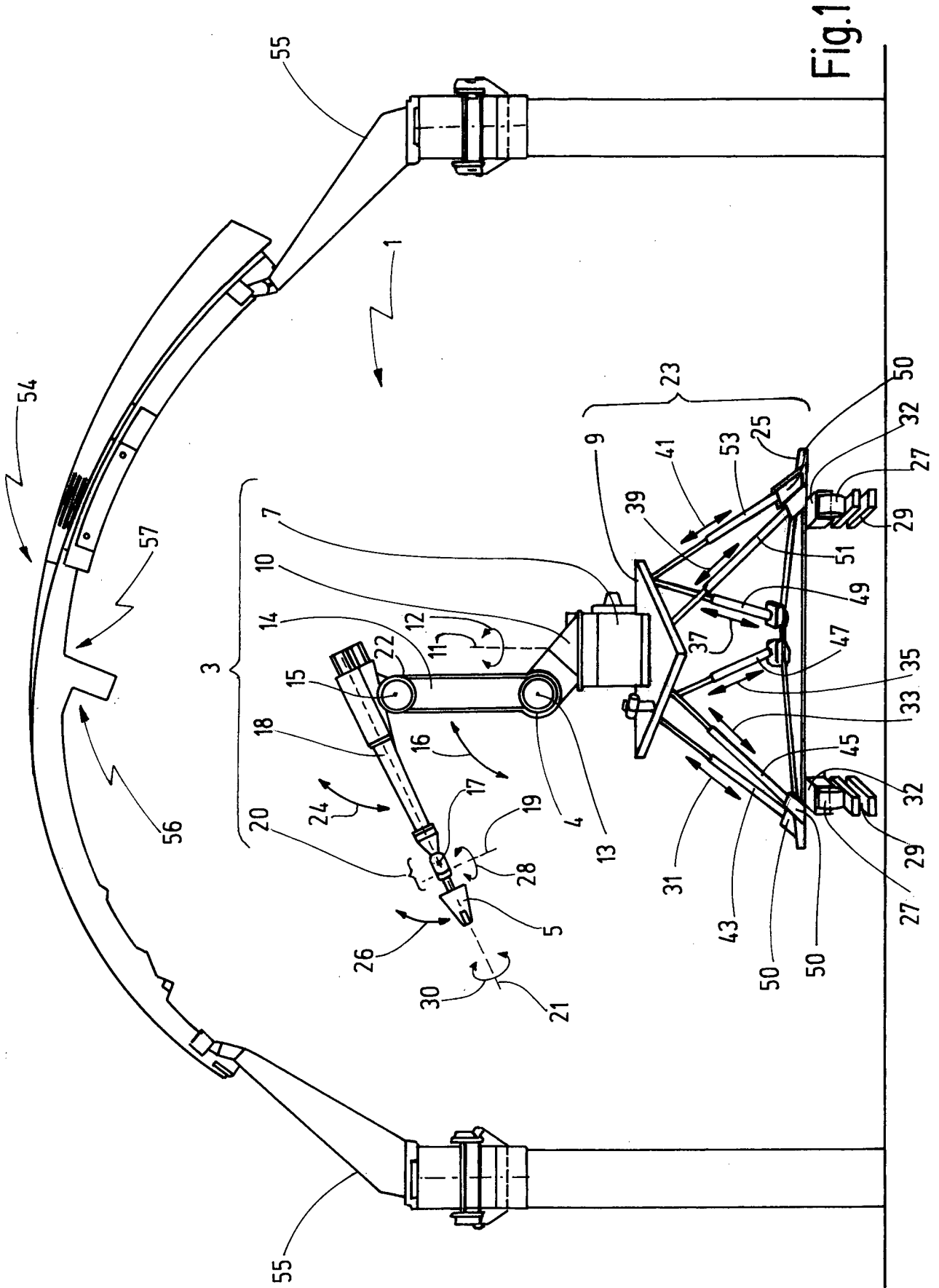
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (300) eine Baugruppe (304) zur Fourier-Analyse von Messsignalen enthält, die mit der Messeinrichtung (260) verbunden ist, um Frequenz (v_n), Amplitude (A_n) und Phasenlage (φ_n) von Schwingungen der Trägerstruktur (209) zu erfassen.

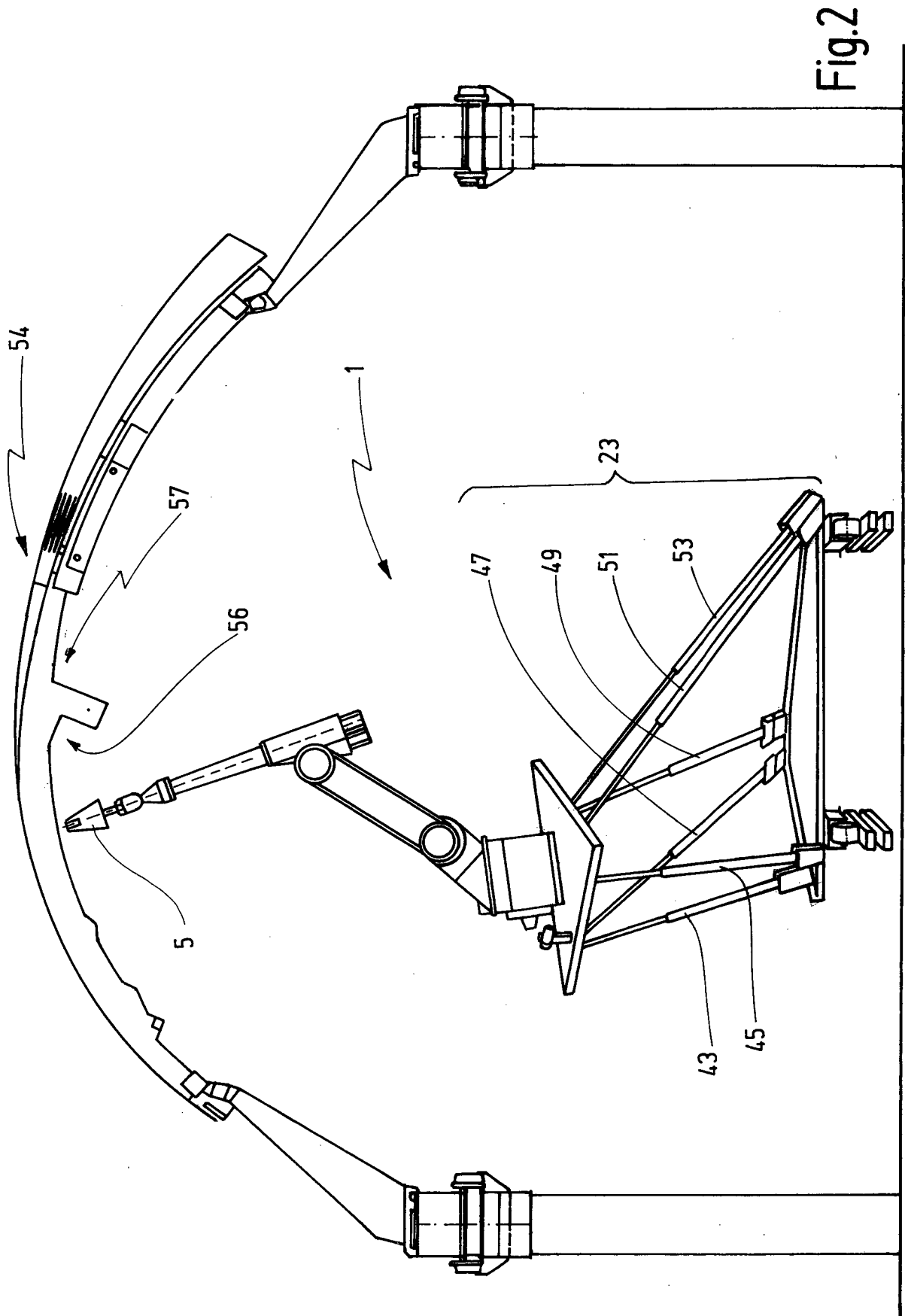
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (300) einen Regelkreis (306) umfasst, der von der Baugruppe (304) zur Fourier-Analyse von Messsignalen die Frequenz (v_n), Amplitude (A_n) und Phasenlage (φ_n) von Schwingungen der Trägerstruktur (209) als Regelgröße erhält, und der Steuersignale (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5) für die den Bewegungsachsen (231, 233, 235, 237, 239) der Parallelkinematik (223) zugeordneten Antriebe (240, 242, 244, 246, 248) bereitstellt, die ein

aktives Bedämpfen von Schwingungen der Trägerstruktur (**209**) bewirken.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen





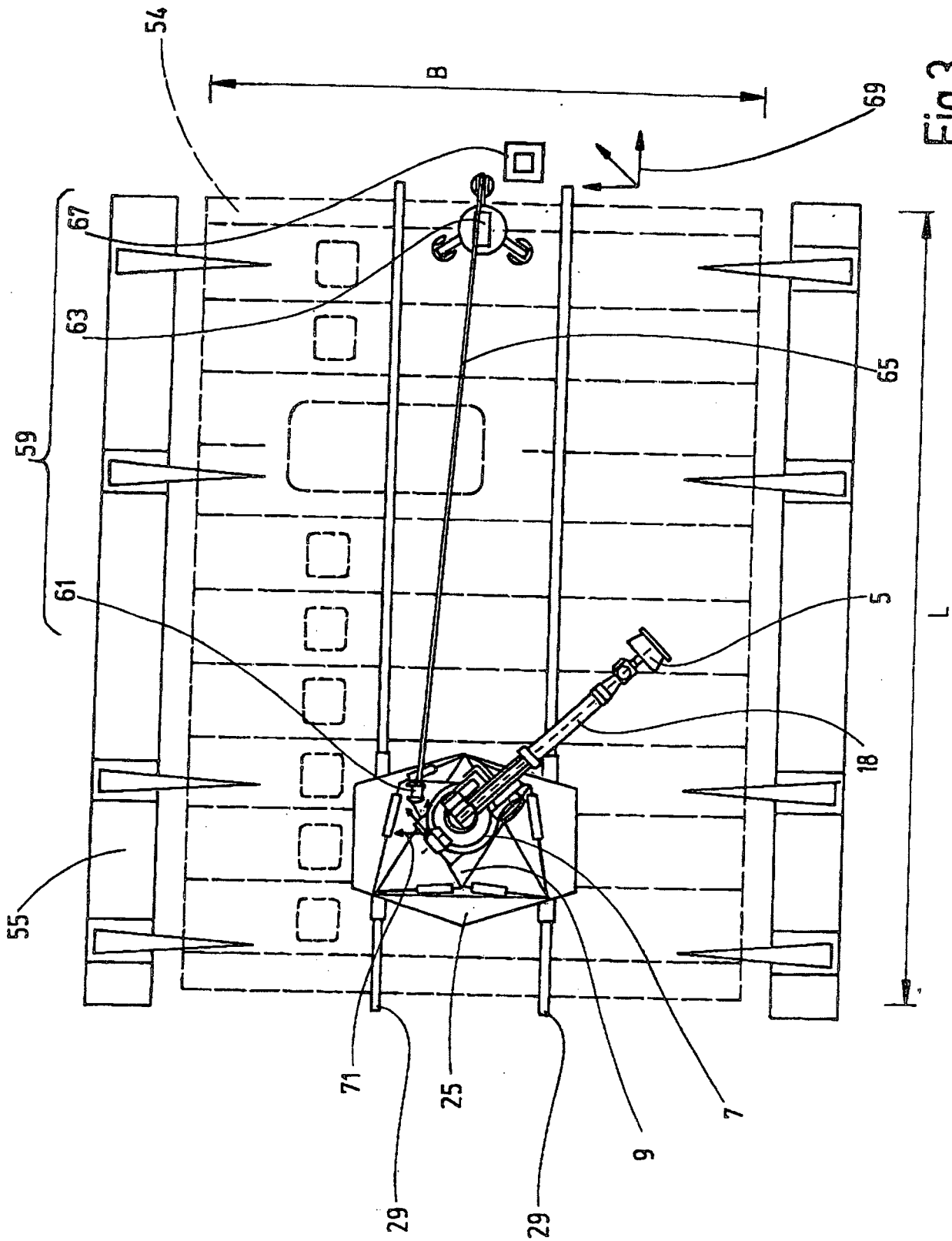
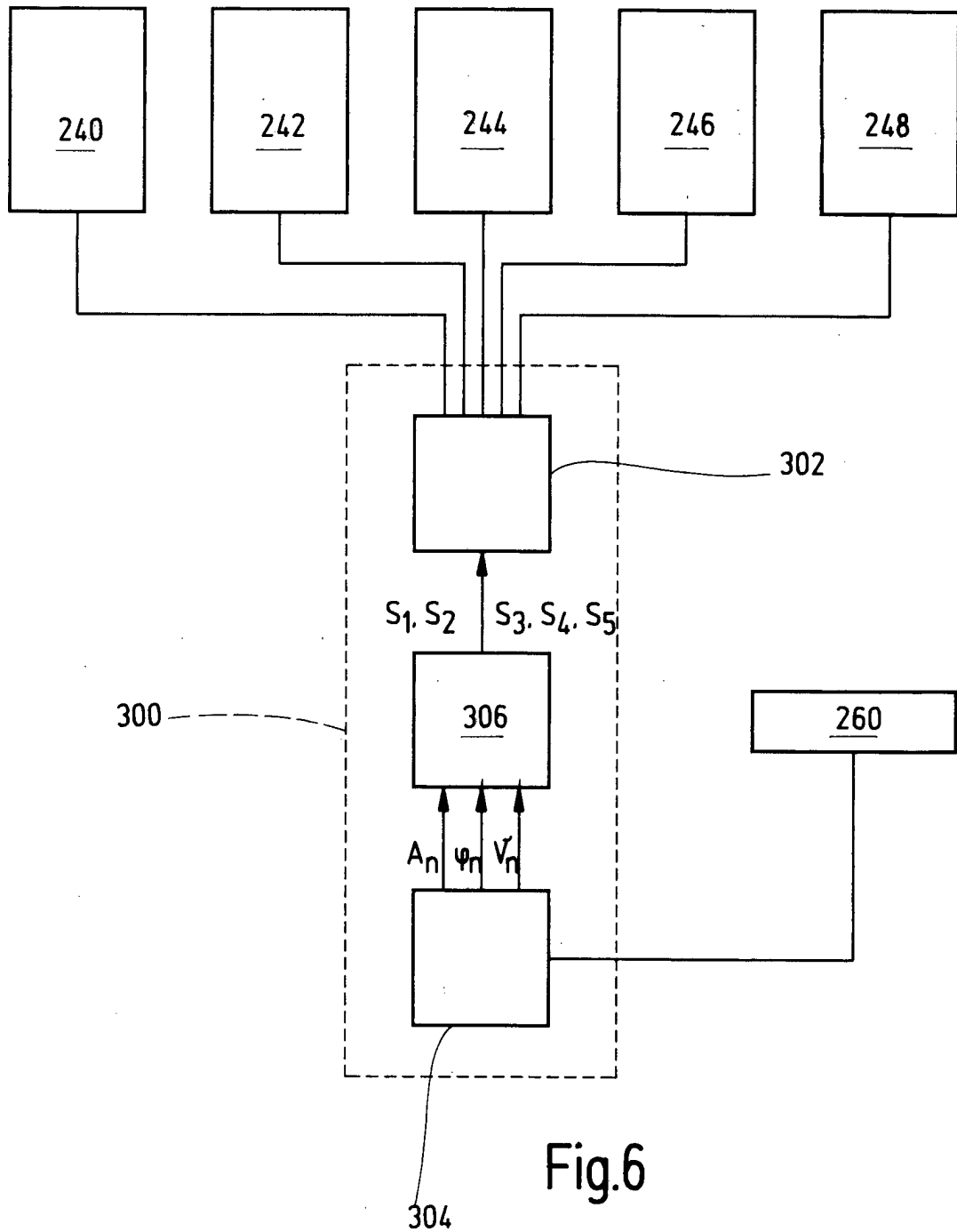


Fig. 3



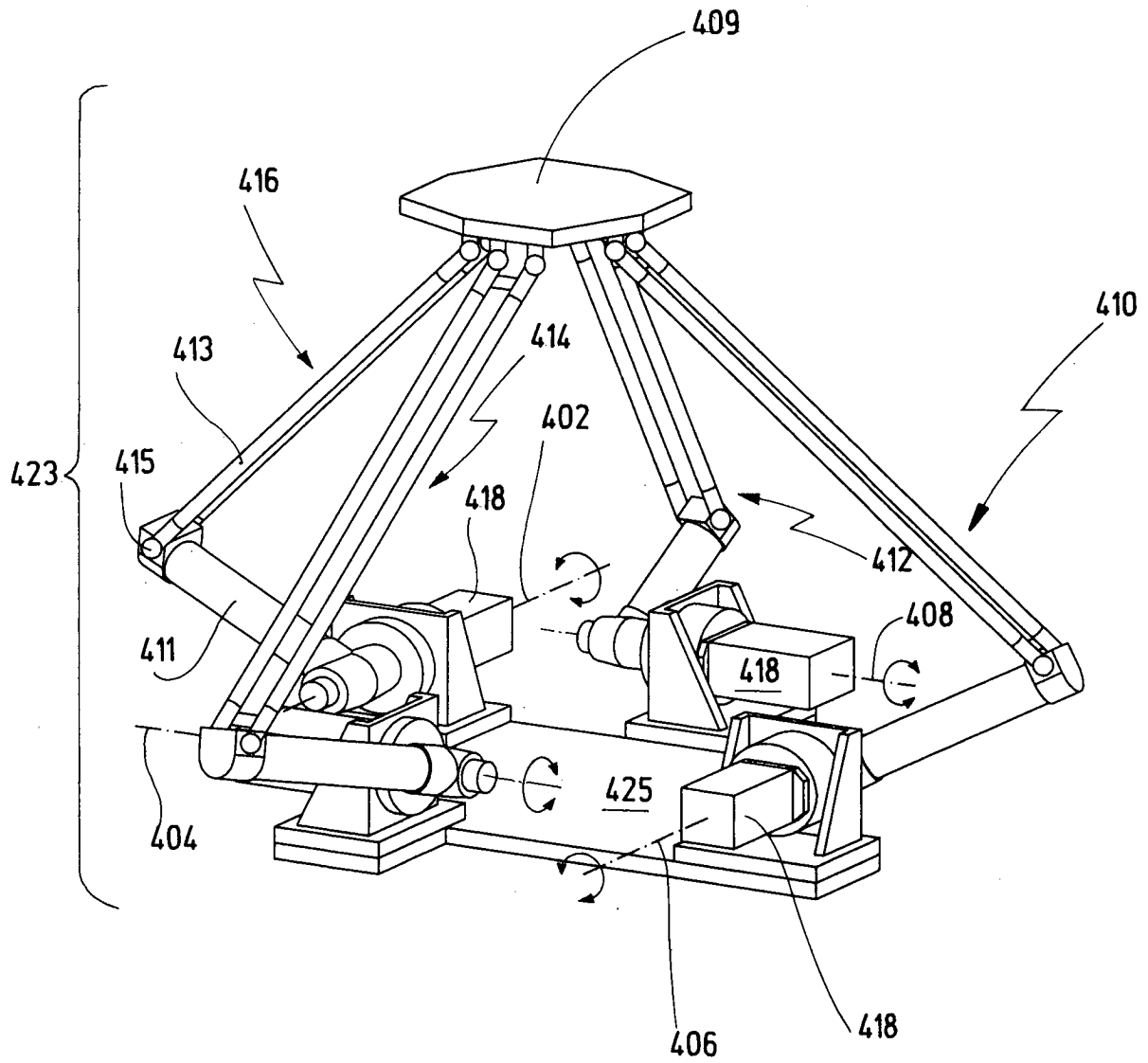


Fig.7

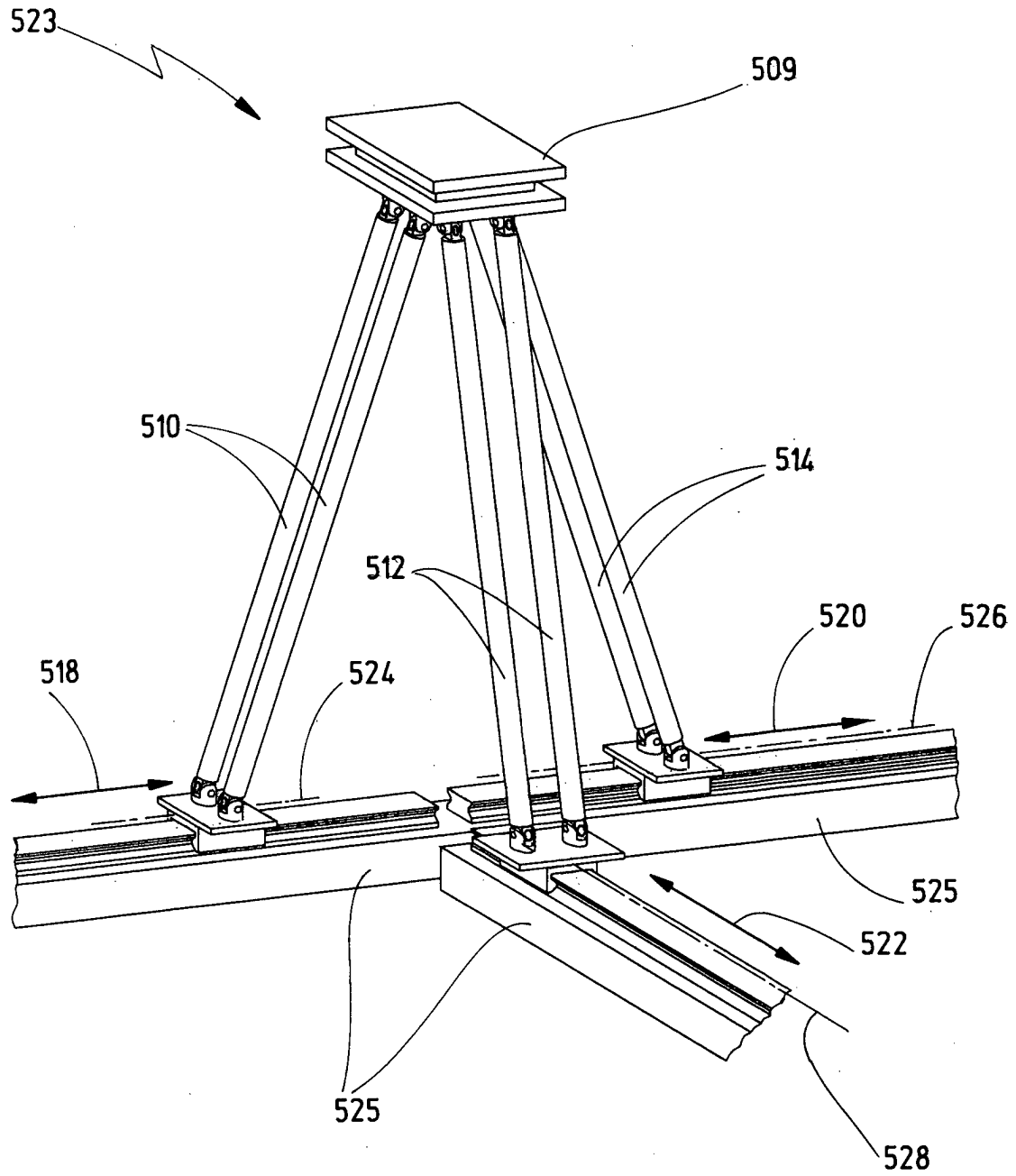


Fig.8