



AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP B 25 J / 322 061 5	(22)	23.11.88	(44)	28.03.90
(71)	Akademie der Wissenschaften, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse, Kurstraße 33, Berlin, 1086, DD				
(72)	Thom, Heinz, Dr.-Ing.; Palm, Rainer, Dr.; Zier, Peter, Dipl.-Ing., DD				
(54)	Zweiarmiger Industrieroboter				

(55) Industrieroboter, zweiarmig, gemeinsame Drehachse, rechtshändig, linkshändig, Bekleidungsindustrie, folienverarbeitende Industrie

(57) Die Erfindung betrifft das Manipulieren von Körpern mittels zweiarmiger Industrieroboter. Sie ist vorteilhaft zum Abräumen der Schnitte beim Zuschnitt in der Bekleidungsindustrie sowie in der folienverarbeitenden Industrie einsetzbar. Dabei sollen im asynchronen Betrieb der Arme kleinflächige Körper mit jedem Arm einzeln und im synchronen Betrieb großflächige Körper in einem möglichst großen Arbeitsbereich bei verminderter Kollisionsgefahr und verringerter Rechenzeit für die Steuerung und Regelung manipuliert werden. Erfindungsgemäß haben die Arme am Ständer eine gemeinsame Drehachse und sind als biegesteife Horizontal-Knick-Arme mit jeweils drei Freiheitsgraden ausgeführt. Beide Arme sind sowohl links- als auch rechtshändig einzeln und koordiniert bewegbar. Fig. 1

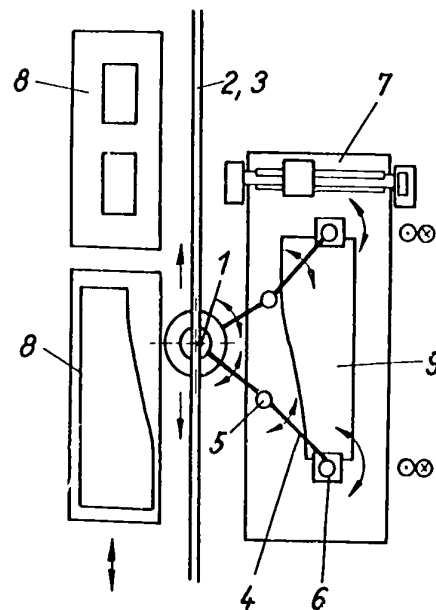


Fig. 1

Patentansprüche:

1. Zweiarmiger Industrieroboter, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Arme am Ständer (1) eine gemeinsame Drehachse aufweisen und als biegesteife Horizontal-Knick-Arme (4) mit jeweils mindestens drei Freiheitsgraden ausgeführt sind, wobei das Knickgelenk (5) und die Armbehaftung am Ständer (1) so ausgebildet sind, daß der Schwenkbereich $\geq 270^\circ$ ist und daß beide Arme sowohl links- als auch rechtshändig einzeln und koordiniert bewegbar sind.
2. Zweiarmiger Industrieroboter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß am Handgelenk eines Armes ein Kraftsensor zur Durchführung von Bahnkorrekturen angebracht ist, durch den es möglich ist, während der Handhabung biegeschlaffe großflächige Körper in der Ebene straff zu halten.
3. Zweiarmiger Industrieroboter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß jeder Antrieb der Arme einen Steller und einen Positioniermodul besitzt.
4. Zweiarmiger Industrieroboter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die höheren hierarchischen Regelungsniveaus mit einem Vielfachen der Abtastzeit des untersten Servoniveaus getaktet werden.
5. Zweiarmiger Industrieroboter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Gesamtbahngenerator für die Bahn des gegriffenen Teils und daran angeschlossene Einzelbahngeneratoren für die Manipulatorenpunkte vorhanden sind.
6. Zweiarmiger Industrieroboter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Industrieroboter linear verfahrbar ist.

Hierzu 4 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft das Manipulieren von insbesondere großflächigen Körpern. Sie ist vorteilhaft beim Abräumen der Schritte beim Zuschnitt in der Bekleidungsindustrie sowie in der folienverarbeitenden Industrie einsetzbar.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Gemäß des Standes der Technik wurden entsprechende Aufgaben bisher entweder manuell gelöst oder mittels normaler einarmiger Roboter. Dabei besitzt der Roboterarm eine Traverse, an der mindestens zwei Greifelemente befestigt sind. Ein Nachteil dieser Lösung besteht darin, daß damit ein Handhaben biegeschlaffer großflächiger Materialien, die auch im gespannten Zustand transportiert werden müssen, nicht möglich ist. Es wurden auch Lösungen mit zweiarmigen Robotern bekannt, bei denen die Arme an Schultern befestigt sind. Dabei sind die Arme entweder nur in Schulterrichtung beweglich (und nicht frei programmierbar [EP-PS 066014]) oder sie sind frei programmierbar, haben jedoch eine eingeschränkte Beweglichkeit, u. a. vertikale Beweglichkeit der Schultergelenke (DE-PS 3635076). Wesentlicher Nachteil dieser Anordnung der Arme am Schultergelenk ist der eingeschränkte Arbeitsbereich. So können die Arme, bezogen auf das Schultergelenk, asynchron nicht über einen Bereich von $1\frac{1}{4}\pi$ arbeiten.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist ein zweiarmiger Industrieroboter zum Handhaben von vorwiegend großflächigen Körpern, mit dem im synchronen Betrieb die Arme großflächiger Körper und im asynchronen Betrieb kleinflächige Körper mit jedem Arm einzeln in einem möglichst großen Arbeitsbereich bei verminderter Kollisionsgefahr manipuliert werden können.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen zweiarmigen Industrieroboter zu schaffen, dessen Arme synchron über einen Bereich von 2π und asynchron von $1\frac{1}{2}\pi$ arbeiten können und bei dem die Rechenzeit für die Steuerung der Arme verringert werden kann.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die Arme am Ständer eine gemeinsame Drehachse aufweisen und als biegesteife Horizontal-Knick-Arme mit jeweils mindestens drei Freiheitsgraden ausgeführt sind. Die unabhängig voneinander angetriebenen Knick-Gelenke und die Armbehaftung am Ständer sind dabei so ausgebildet, daß der Schwenkbereich $\geq 270^\circ$ ist. Beide Arme sind sowohl links- als auch rechtshändig synchron und asynchron bewegbar. Vorteilhaft ist das Vorhandensein eines Kraftsensors am Handgelenk eines Armes, der zur Steuerung der erforderlichen synchronen Bewegungen der Arme dient, um biegeschlaffe großflächige Körper bei der Handhabung in der Ebene straff halten zu können. Jeder Antrieb der Arme besitzt einen Steller und einen Positioniermodul. Die höheren hierarchischen Regelungsniveaus werden mit einem Vielfachen der Abtastzeit des untersten Servoniveaus getaktet. Für die Bahn des gegriffenen Teils ist ein Gesamtbahngenerator und für die Manipulatorenendpunkte sind an den Gesamtbahngenerator angeschlossene Einzelbahngeneratoren vorhanden. Günstig ist es weiterhin, den Roboter linear verfahrbar auszubilden.

Ausführungsbeispiele

Die Erfindung wird an einem Ausführungsbeispiel zum Abräumen eines Zuschnitts näher erläutert. Dabei zeigen die Zeichnungen in

- Fig. 1: die Draufsicht auf den Zuschnittsbereich als Prinzipdarstellung,
 Fig. 2: die Seitenansicht des erfindungsgemäßen Industrieroboters als Prinzipdarstellung,
 Fig. 3: die Darstellung der auftretenden Kräfte beim Transport der geschnittenen Stoffbahnen,
 Fig. 4: die Struktur der Steuerung und Regelung des erfindungsgemäßen Industrieroboters.

Für den Zuschnitt werden mehrere Stofflagen $n > 20$ mittels eines Luftunterdruckes verschiebungsfest auf eine bürstenartige Unterlage gepreßt. Der Schnitt wird mit einem Messer, daß sich stoßend vertikal bewegt, horizontal nach einem Schnittbild durch ein Zuschnittsprogramm gesteuert. Nachdem der Zuschnitt beendet ist, sind die Folien, die die porösen Stofflagen gegenüber ihrer Umgebung abdichten und mittels Unterdruck an die Unterlage pressen, abzunehmen. Gemäß der bisherigen Technologie werden die Schnittformen gekennzeichnet. Diese aufwendige manuelle Handhabung kann entfallen, wenn sämtliche Schnittformen in für sie entsprechend codierte Container abgelegt und transportiert werden. Das automatisierte Abräumen des Zuschnitts 7 von in der Ebene biegeschlaffen Schnittformen kann vorzugsweise mit einem mehrachsigen, zweiarmigen Horizontal-Knick-Arm-Roboter ausgeführt werden, dessen Arme 4 unabhängig voneinander programmiert ansteuerbar sind, und die am Ständer 1 eine gemeinsame Drehachse haben. Kleine Schnittformen können demzufolge nur mit einem Arm 4 gegriffen und abgelegt werden, womit eine doppelte Abräumer-effektivität erzielt wird. Sind dagegen größere Schnittformen vom Zuschnittstisch 7 abzuräumen, so greifen beide Arme 4 mit möglichst großem Abstand eine Schnittform. Durch den besonderen Robotertyp, zwei mehrachsige Arme mit gemeinsamer Drehachse am Ständer, können große Schnittformen sehr einfach zur Ablageposition geführt werden, ohne daß auf die unkontrollierte Zugbeanspruchungen wirken. Bei einer angemessenen Zugkraft, die von den Armen über die Greifvorrichtung auf die gegriffene Schnittform übertragen wird, kann die Stofflage der Schnittform während der Handhabung in der Ebene straff gehalten werden. Der sich auf dem Zuschnittstisch 7 befindliche zugeschnittene Stoffstapel, z. B. für eine Hose, wird gemäß Fig. 1 von dem an einer Deckenschiene 2 und einer Bodenschiene 3 befestigten und verfahrbaren Industrieroboter mit dem Ständer 1 und den zwei Horizontal-Knick-Armen 4 mit gemeinsamer Drehachse von den am Handgelenk befindlichen Greifern 6 eingeklemmt und mittels Drehung in den bereitgestellten, längs der Schienen 2; 3 und parallel zum Zuschnittstisch 7 verfahrbaren Container 8, der sich auf der gegenüberliegenden Seite des Industrieroboters befindet, abgelegt. Aus der Seitenansicht des Industrieroboters ist ersichtlich, daß die Arme durch ihre Befestigung am Ständer 1 in unterschiedlicher Höhe und den unterschiedlich großen Knickgelenken einen großen Schwenkbereich aufweisen, in welchem kollisionsfrei gearbeitet werden kann. Bezüglich der Steuerung ist es günstig, einen Arm als Masterarm und den einen als Slavearm zu betrachten. Zur Handhabung der Schnittformen, die als Stofflagen eng aneinander liegen, ist eine Greifvorrichtung mit zwei Greiffingern vorgesehen, die am Ende als Haken ausgebildet sind. Diese Haken werden längs zur Schnitttrichtung der Schnittform, wenn gerade Schnittspur von $l > 80\text{ mm}$ gegeben ist, positioniert und mittels pneumatischen Antriebs eines Hubzylinders durch die vertikale Schnittebene bis in die bürstenartige Auflage des Zuschnitts hineingeführt und anschließend werden die Greiffinger und damit auch der Haken synchron senkrecht zur Schnitttrichtung um 90° gedreht. Danach kann der Haken des Greiffingers an die Stofflagen unterhalb der zu handhabenden Schnittform geführt und der erforderliche Anpreßdruck an die Grundplatte, die Daumenfläche, der Greifvorrichtung erzeugt werden. Mit einer Druckluftdusche, die unterhalb am konisch ausgebildeten Greiffingerhaken wirkt, wird die vertikale Schnittebene der Stofflage für den Greiffinger aufgeweitet bzw. freigelegt. Die Erkennung der Schnittebene zur Feinpositionierung der Greifvorrichtung wird mit dem Einsatz, z. B. von zwei Luft-Düsen-Zeilen, durchgeführt. Nach abgeschlossenem Greifprozeß beginnt die Handhabung der Schnittform, Anfahren der Ablageposition eines mobilen entsprechend codierten Containers, Zurückführen der Greiffinger in ihre Ausgangsposition und somit ist die Schnittform abgelegt.

Das Abgreifen von Stapeln bzw. des Stapels mit entsprechender Greiftechnik, kann sowohl mit einem Arm ohne Kooperation als auch mit zwei Armen mit Kooperation stattfinden.

a) Einarmiges Greifen

Analog zum menschlichen Körper werden die Arme in verschiedenen Arbeitsphasen als rechts- bzw. linkshändig definiert. Das einarmige Greifen beginnt mit einer Rechtshändigkeit des Masterarms und einer Linkshändigkeit des Slavearms. Der Transportprozeß erfolgt über eine sogenannte singuläre Konfiguration, bei der beide Arme ausgestreckt jeder für sich eine Gerade bilden. Die Ablage in die Container erfolgt, indem der Master links- und der Slave rechtshändig werden. Dieser Wechsel ist nicht zwingend, bringt aber Vorteile für die Ausnutzung des Arbeitsraums und sichert eine höhere Kollisionsfreiheit.

b) Zweiarmiges Greifen

Entsprechend dem einarmigen Greifen ist der Master rechts- und der Slave linkshändig eingerichtet. Der Transport erfolgt durch *synchrones Bewegen der Arme derart, daß die Relativpositionen und -orientierungen der Greifpunkte während des Transportprozesses konstant bleiben*. Konfigurationen von zwei rechts- bzw. linkshändigen Armen sind möglich, aber wegen der Kollisionsgefahr zu vermeiden.

Da die Antriebe für den Ellbogen und die Hand jeweils am Ort angebracht sind, leisten sie auch einen hohen Beitrag zur Masse und zum Trägheitsmoment der Arme. Um eine genaue Bahn zu erzielen, müssen daher die Servoregler mit entsprechenden Algorithmen wie Kompensationsverfahren (Paul, R. P.: Robot Manipulators The MIT Press Series in Artificial Intelligence Cambridge USA 1981) oder Adaptionalgorithmen (Ahlbehrendt, N.; Mädiger, B.: Algorithmus for Point-to-Point and Continuous Path Control for Industrial Robots Italian National Research Council, National Program on Computer Science Project MODIAC, The Automation of Industrial Processes, Turin 1983; Pham Thuang Cát; SamlóJ.: Robust Model Reference Adaptive control of Manipulators, International Conference on Industrial Roboter ROBCON 4 20-23 Oct. 1987, Sofia, Vol. II S. 27-47) ausgelegt sein. Hervorzuheben ist, daß es bei Handhabungen mit einem Arm auf eine solche Bewegungsgenauigkeit nicht ankommt, daß aber bei zweiarmiger Handhabung die Anforderungen an die Bahngenauigkeit gering, aber an die Genauigkeit der Relativbewegung beider Greifer höher sind. Diese Anforderungen sind umso größer, je weniger Toleranzen diesbezüglich zugelassen werden. Die

höchsten Anforderungen werden gestellt, wenn die Stapel biegeschlaffer Körper vollkommen gespannt transportiert werden sollen, da dann die einzige Nachgiebigkeit in der Elastizität des Stoffes liegt. Wird der Stapel dagegen in einem gewissen Maße durchhängend transportiert, so entstehen dadurch Toleranzreserven, die durch eine nicht so anspruchsvolle Servoregelung ausgenutzt werden können. Ein im Greifer des Masterarms befestigter 3-komponentiger Kraftsensor gestattet die Ausregelung einer vorgegebenen Spannkraft F_z (Palm, R. Horch, H.-J.; Melmann, A.: Task Specification and Closed loop Control of Manipulators in the Presence of External Sensory 6th CISM-IFTOM Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators Ro.man.Sy '86, 9–12 Sept. 1986, Krakau Polen, Reprints S.227–234). (s. Fig.3). Die koordinierte Transportbewegung mehrerer Roboter unter Einbeziehung von Manipulationsgleichungen ist bei Palm, R.: Aktion, Reaktion und Wechselwirkung bei sensorgeführten Robotern Diss.B, eingerichtet Mai 1988, beschrieben. In Fig.3 sind folgende Vereinbarungen zu Koordinationssystemen zu ersehen:

- KX – Basissystem für beide Manipulatoren
- KH1 – Greifersystem Manipulator 1
- KH2 – Greifersystem Manipulator 2
- KO – Objektsystem

Weiterhin bedeuten

- T1 – Transformationsmatrix zwischen KH1 und KX
- T2 – Transformationsmatrix zwischen KH2 und KX
- CEN – Transformationsmatrix zwischen KO und KX
- REC – Transformationsmatrix zwischen KH1 und KH2
- REC1 – Transformationsmatrix zwischen KO und KH2

In den Transformationsmatrizen sind die zeitabhängigen Relativpositionen und Orientierungswinkel enthalten. CEN beschreibt die Bahn des Objekts. REC die Reaktion zwischen den beiden Greifern. REC1 beschreibt die Relativorientierung und -position zwischen Stapelschwerpunkt und Greifer 2. Dann können für den Master- und den Slavemanipulator folgende Manipulationsgleichungen formuliert werden, die die Bewegungen von Master und Slave bestimmen:

$$T1 = CEN \cdot REC1^{-1} \cdot REC^{-1} \text{ (Mastergleichung)}$$

$$T2 = CEN \cdot REC1^{-1} \text{ (Slavegleichung)}.$$

Die Korrekturen durch Kraftadaption erfolgen im Mastermanipulator mittels Variation der Reaktionstransformation REC. Die erforderlichen Spannkraften hängen stark von dem Gewicht des zu greifenden Stapels ab und sind daher experimentell zu bestimmen.

Im folgenden wird die Steuerungs- und Regelungsstruktur (s. Fig.4) näher erläutert.

Das System erhält entweder durch ein übergeordnetes Programm oder durch einen Belehrungsvorgang die Bahndatei z. B. in Form von Schwerpunkt und Orientierung (Hauptträgheitsachse) der einzelnen zu greifenden Teile. Weiterhin existiert ein vorher entworfenes Nutzerprogramm, das in einer Robotersprache VAL 2 geschrieben ist.

Nutzerprogramm und Daten werden in einem Programminterpretierblock umgesetzt und interpretiert. Ein Bahngenerator für die Gesamtbahn berechnet sowohl die Bahnen der beiden Roboterarme für die Annäherungsphase als auch die Bahn des gegriffenen Teils. Aus der letzteren generieren die Blöcke Bahngenerierung 1 und 2 getrennte Bahnen für die Manipulatorenendpunkte. Weiterhin gibt der Bahngenerator für die Gesamtbahn die Trajektorie für den Linearantrieb vor, da diese weitgehend unabhängig von den anderen Bahnabschnitten berechnet werden kann.

Ein Teach-In Block gestattet eine Belehrung von Greifpunkten für jeden einzelnen Manipulator und für die Kooperation beider. Ein Sensoralgorithmusblock korrigiert entsprechend der durch einen Block der Sensorvorverarbeitung der Greifersensorik gelieferten Daten die Bahn des Mastermanipulators.

Jeder Antrieb wird durch einen Servoreglerblock digital geregelt. Diese Regelungssoftware sollte auf gesonderten Positioniermodulen ausgelagert sein.

Die Greifersteuerungen 1 und 2 beinhalten die Software für den adaptiven Greifvorgang und werden direkt vom Interpretationsebene durch spezielle Sprachbefehle gesteuert.

Auf den Steuerungs- und Regelungsniveaus 1 und 2 entsprechend Fig.4 werden die beiden Arme und der Linearantrieb jeweils gesondert synchronisiert. Der Servoregler jedes dieser drei Komplexe besitzt eine feste Taktfrequenz, in der geregelt wird. Diese Taktfrequenzen sind gleich gewählt, wobei die Phasenverschiebung zwischen jeweils zwei Reglern zufällig ist aber maximal nur einen Feintakt betragen kann. Das Servoniveau sollte eine Taktzeit $T_1 \leq 10 \text{ ms}$ haben (Niveau 1). Das darüber gelegene Niveau 2 hat einen Zeittakt von $T_2 = 4 \cdot T_1$.

Damit bekommt das Niveau 1 nach jeweils T_2 seine Sollwerte angeboten. Diese Sollwerte sollen durch Linearinterpolation auf die Feintakte T_1 aufgeteilt werden. Eine Sensorkorrektur auf Niveau 2 erfolgt ebenfalls im Takt T_2 , wobei eine systembedingte Taktzeit zwischen einer Messung und dem Einstellen einer geforderten Korrektur von $\tau_{\max} = 2 \cdot T_2$ liegt.

Die Servorechner sollten hinsichtlich des Niveaus allerdings synchronisiert werden, da im anderen Fall in bezug auf das Niveau 3 eine maximale Phasenverschiebung um T_2 auftreten kann, was bei höheren Verfahrensgeschwindigkeiten zu unerwünschten Soll-Ist-Abweichungen führen kann.

Neben diesem Anwendungsbeispiel sind auch diverse andere günstige Anwendungen möglich, wie z. B. das Bekleben von Möbelplatten mit Folien.

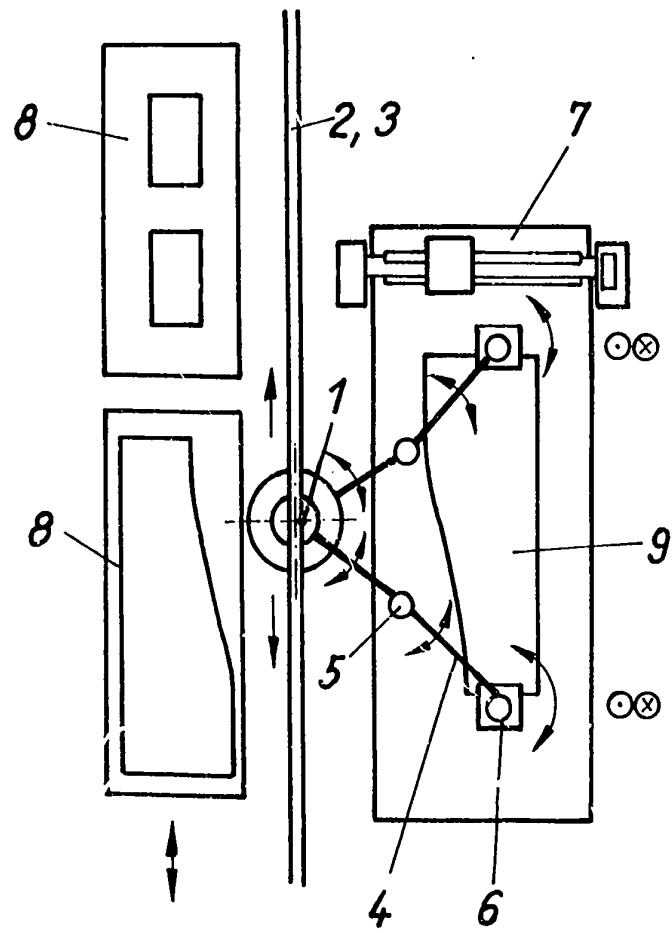


Fig. 1

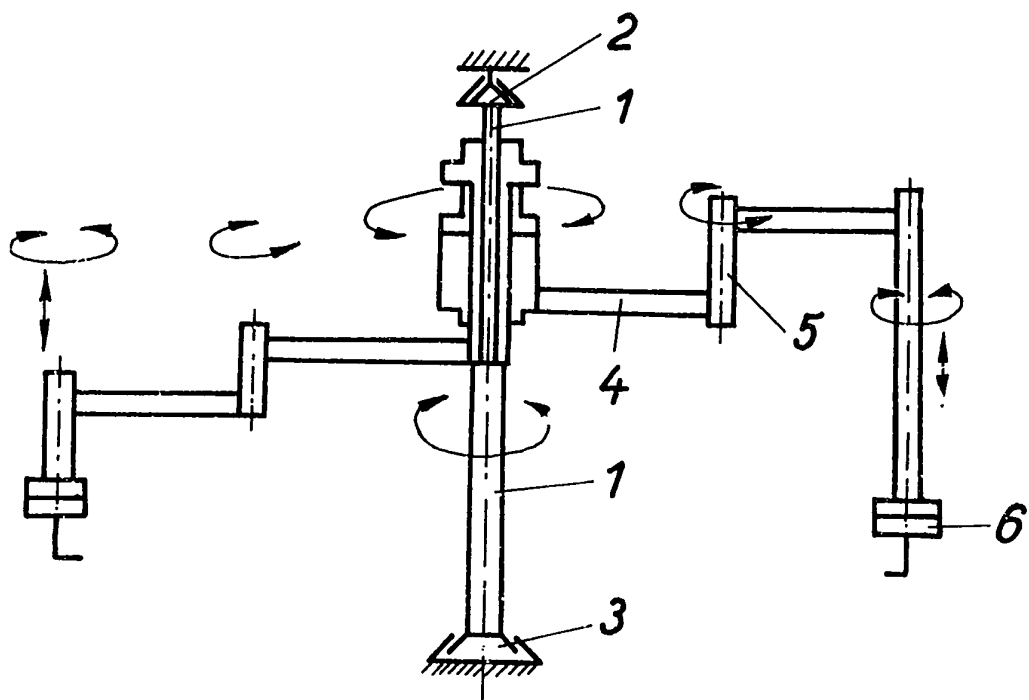
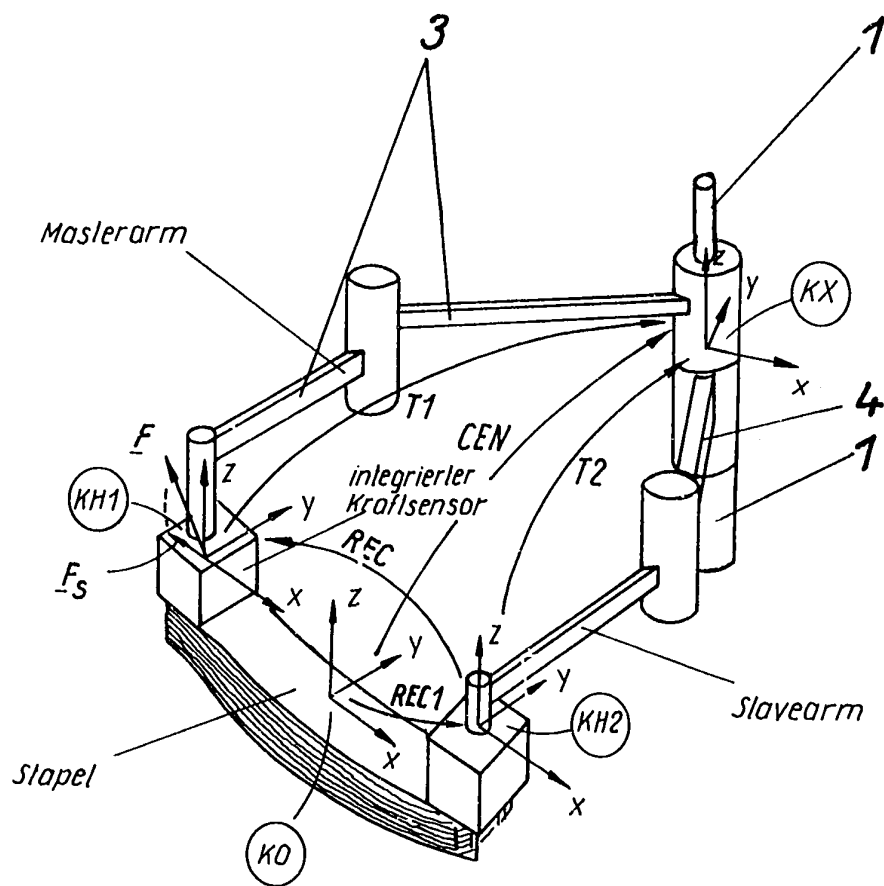


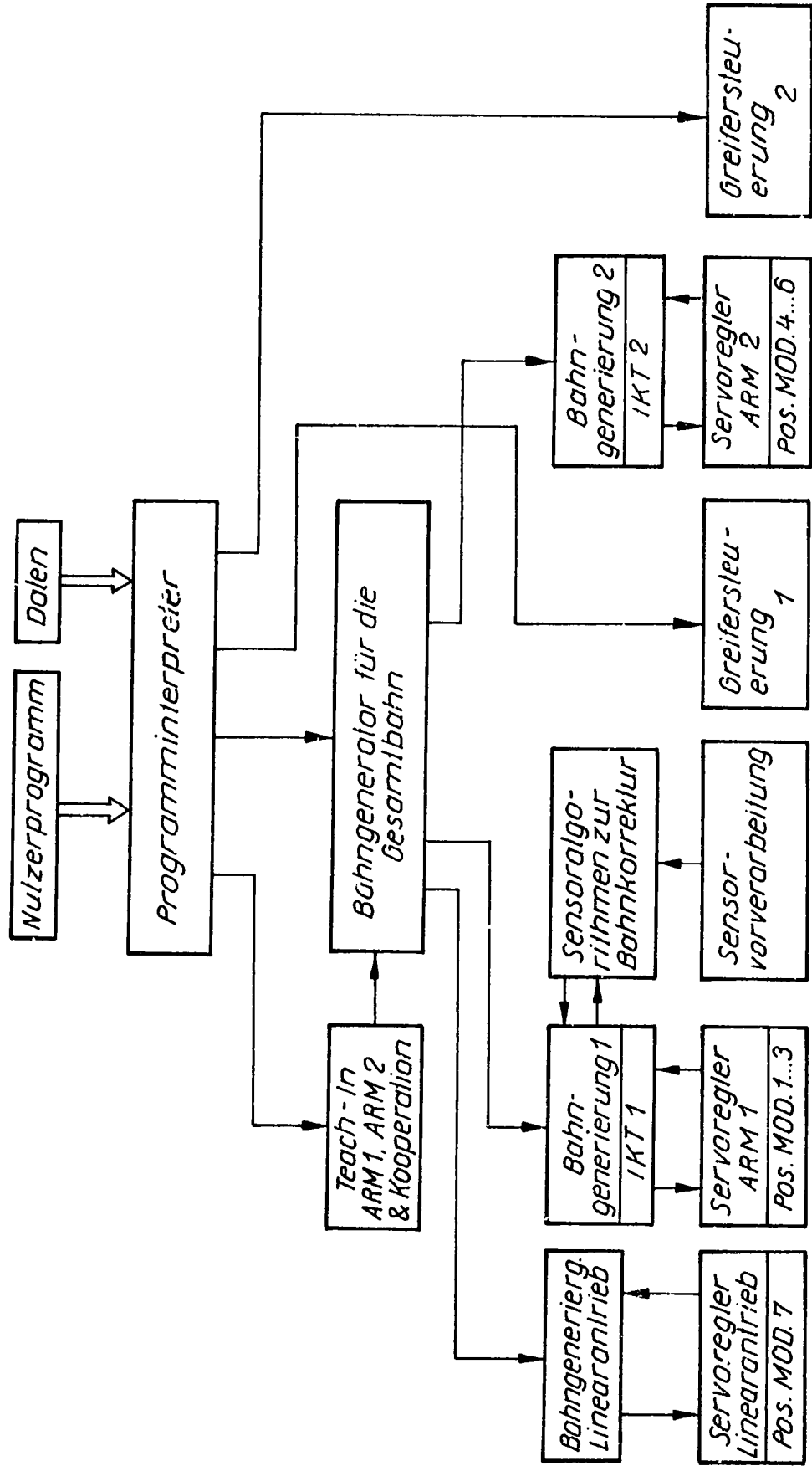
Fig. 2



\underline{F} - Gesamtkraft
 \underline{F}_S - Spannkraft

Fig. 3

Softwarestruktur



IKT: Inverse Koordinatentransformation

Fig. 4

277230

4