



AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

(21)	WP B 25 J / 279 975 1	(22)	26.08.85	(45)	19.10.88
(71)	Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Erntemaschinen, Betriebsteil Automatisierungstechnik, Schö- nauer Straße 113, Leipzig, 7031, DD				
(72)	Lehmann, Manfred, Dipl.-Math.; Rebentrost, Andreas, Dr.-Ing.; Körber, Karl-Heinz, Dipl.-Ing.; Kollmus, Klaus, Dipl.-Ing., DD				
(54)	Verfahren zur adaptiven Korrektur der vorprogrammierten Punkte einer Sollbahn bei einer Punkt-zu- Punkt-Steuerung eines Industrieroboters				

(55) Roboter, Steuerung, Sensor, Sollbahn, Istbahn, technologisch, Prozeß, Koordinaten, Handkoordinaten, Handgelenkmittelpunkt, Roboterkinematik, mehrachsig, Effektorpunkt, Werkzeug, zyklisch, virtuell, dynamisch, adaptiv

(57) Verfahren zur sensorgestützten Steuerung eines mehrachsigen Industrieroboters mit der Aufgabe der adaptiven Beeinflussung einer vorprogrammierten Soll-Bahn im technologischen Prozeß, zur Führung eines Arbeitspunktes eines Werkzeuges, dem Effektorpunkt, auf der Ist-Bahn, zum Beispiel dem tatsächlichen Schweißnahtverlauf, unter Nutzung der abgespeicherten Daten der Handkoordinaten, als Handstruktur, sowie der Koordinaten der Roboterhauptachsen und der Sensorkennndaten. Das wird gemäß der Erfindung erreicht, indem die Daten der sich in Richtung der Handkoordinaten 4, 5, 6 vom Handgelenkmittelpunkt 7 bis zum Effektorpunkt 8 erstreckenden Handlängen 9, 10, 11 mit eingespeichert werden und dann im technologischen Prozeß aus den Sensorsignalen ein Korrekturvektor 20 in bezug auf den Effektorbezugspunkt 21 auf der Soll-Bahn errechnet wird, der zerlegt in entsprechende Handlängendifferenzen 22, 23, 24 die Handlängen 9, 10, 11 virtuell verändernd die Steuerung auf der Ist-Bahn ermöglicht. Fig. 2

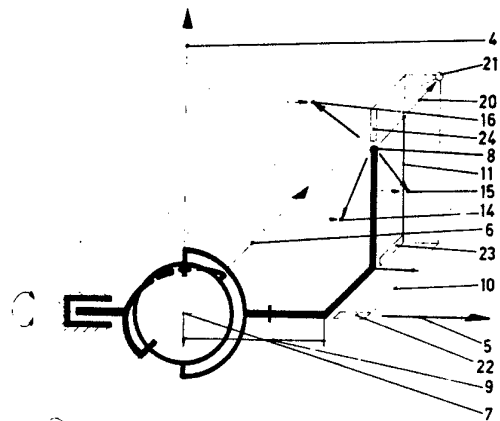


Fig.2

Patentanspruch:

Verfahren zur adaptiven Korrektur der vorprogrammierten Punkte einer Soll-Bahn bei einer Punkt- zu Punkt-Steuerung eines Industrieroboters, im technologischen Prozeß, zur exakten Bahnbewegung eines Effektorpunktes auf den tatsächlichen Verlauf zum Beispiel einer Schweißnaht eines Werkstückes, mit Hilfe von am Werkzeug angebrachten Sensoren und den in der Steuereinheit des Industrieroboters integrierten Baugruppen der rechentechnischen Abspeicherung, Aufbereitung und Weiterleitung, auf der Basis der vor dem technologischen Prozeß eingespeicherten Daten der Punkte der Soll-Bahn des Effektorpunktes und der Roboterhauptachsen, einschließlich des Handgelenkes, als auch der Daten der Koordinatensysteme der Roboterhauptachsen und des Handgelenkmittelpunktes, **dadurch gekennzeichnet**, daß mit, durch die Sensoren ermittelten und durch die Steuereinheit des Industrieroboters im technologischen Prozeß zyklisch abgefragten Meßwerten, in bezug auf den tatsächlich zu erfolgenden Bahnverlauf des Effektorpunktes (8), durch Vergleich mit den Daten der vorprogrammierten Soll-Bahn jeweils eine Bahndifferenz, bezogen auf die vom Handgelenkmittelpunkt (7) ausgehenden Handkoordinaten (4, 5, 6), als Handlängendifferenzen (22, 23, 24), errechnet wird, und daß mit der Bahndifferenz eine Korrektur der Bahn Daten für die Soll-Bahnbewegung des Effektorpunktes (8) zum nächsten Tasterpunkt der Soll-Bahn, unter Verwendung der ermittelten Handlängendifferenzen, vorgenommen wird.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur sensorgestützten Steuerung, im Sinne einer adaptiven, das heißt im On-line-Betrieb erfolgenden Beeinflussung einer, durch externe oder Teach-in-Programmierung vorprogrammierten Soll-Bahn, eines Arbeitspunktes eines Werkzeuges, entsprechend einer Ist-Bahn, zum Beispiel eines tatsächlichen Verlaufes einer Schweißnaht, eines mehrachsigen Industrieroboters.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Es ist gemäß der DE-PS 3046634 ein Verfahren bekannt, bei dem nach externer Vorprogrammierung und entsprechender Einspeicherung des Bahnverlaufes in die Steuereinheit des Industrieroboters der Industrieroboter gemäß diesem Programm mit einem an der Stelle seines Werkzeuges einsetzbaren Sensors, zum Beispiel eines Meßfühlers, an einem Muster entlang geführt und so das Programm korrigiert wird, das heißt, eine neue Soll-Bahn vorprogrammiert ist, worauf dann der Industrieroboter, mit seinem Werkzeug versehen, den eigentlichen technologischen Prozeß, zum Beispiel den Schweißprozeß, realisiert. Der grundsätzliche Nachteil liegt darin, daß in der Praxis die Werkstücke einer Serie untereinander durch Fertigungs- und andere Prozeßtoleranzen mit ihren zu bearbeitenden Ist-Bahnen von der vorprogrammierten Soll-Bahn so abweichen, daß bei diesem Verfahren für eine exakte Arbeitsausführung ein erneutes vorhergehendes Abtasten der einzelnen Werkstücke erforderlich ist. Der Zeitaufwand dafür liegt oft wesentlich höher, als der für den technologischen Prozeß, das heißt den eigentlichen Arbeitsprozeß. Die vorprogrammierte Soll-Bahn dient dabei lediglich der Erleichterung des Ab tastens des Ist-Bahnverlaufes. Es ist des weiteren, gemäß der DE-OS 3210675, ein Verfahren bekannt, bei dem die Soll-Bahn eines Werkzeugmittelpunktes, das heißt dem Arbeitspunkt eines Werkzeuges oder dem sogenannten Effektorpunkt allgemein, durch Festlegung der vorbestimmten Bewegungspunkte, auch als intermediäre oder Effektorbezugspunkte bezeichnbar, durch eine externe oder Teach-in-Programmierung definiert und erfaßt, das heißt gespeichert wird. Diese Soll-Bahn ist dann als Vorprogramm festgelegt und während des automatischen Betriebsmodus, das heißt während des technologischen Prozesses, wirksam. Zur Anpassung an die jeweils tatsächliche Ist-Bahn, definiert durch den Bahnverlauf an dem jeweiligen Werkstück, wird die Soll-Bahn auf der Basis des Koordinatensystems des Industrieroboters während des technologischen Prozesses dynamisch, das heißt ständig aktiv, modifiziert. Beim automatischen Betrieb erfolgt die Modifizierung mit Hilfe von am Werkzeug angebrachten Sensoren, zum Beispiel Naht-Folge-Sensoren und denen zugeordneten elektronischen Baugruppen der Aufbereitung und Weiterleitung der Sensorsignale über ein Bahn-Abänderungsprogramm. Dabei erfolgt die Verrechnung der Sensorsignale einzeln in bezug auf die intermediären Punkte der Soll-Bahn, wobei sogar in einer Verfahrensvariante der Arbeitspunkt des Werkzeuges immer wieder erst auf den intermediären Punkt der Soll-Bahn zurückbewegt und erst in einem nächsten Verfahrensschritt auf den, auf die Ist-Bahn modifizierten Arbeitspunkt, positioniert wird. Daraus ergibt sich der besondere Nachteil, des hohen steuerungsinternen und auch Zeitaufwandes während des Arbeitsprozesses. Außerdem muß für jedes Werkzeug, bezogen auf dessen Arbeitspunkt, die Soll-Bahn neu berechnet und gespeichert werden. Darüber hinaus schränkt die ständige neue Berechnung, immer in bezug auf die intermediären Punkte der Soll-Bahn, bei der Punkt-zu-Punkt-Steuerung, die Größe der zulässigen Abweichung der Ist-Bahn ein.

Weiterhin existieren Verfahren zur Programmierung und sensorgestützten Korrektur im Arbeits-, das heißt im eigentlichen technologischen Prozeß, die die Auswirkung der Sensorsignale im Arbeitsbereich des Industrieroboters in der Programmierphase registrieren, wie gemäß DE-PS 2735632. Dabei finden die Sensorsignale in Richtung und Größe ihren Ausdruck in den Sensierungsvektoren, gleichbedeutend mit den Korrekturvektoren die in der Richtung der Sensierungskordinaten liegen, wobei zwei im Winkel zueinander stehende Koordinaten eine Sensierungsebene und drei im

Winkel zueinander stehende Koordinaten einen Sensierungsbereich, gleichbedeutend mit ihrer Arbeitsebene oder mit ihrem Arbeitsbereich, erfassen. Dabei sind die wirksamen Sensierungsrichtungen streng an die Koordinaten der Bewegungsrichtungen der Hauptachsen des Industrie-Roboters gebunden. Nachteilig ist auch, daß dieses Verfahren nicht für den gesamten Arbeitsraum des Industrie-Roboters wirksam ist, da zum Beispiel bei einer längeren toleranzbehafteten Bewegung ein technologisch unvermeidbarer Fehler entsteht, weil bei mehrachsigen Industrierobotern mit translatorischen und/oder rotatorischen Achsen die Sensorkorrektur nur im vorher ausgemessenen Punkt, beziehungsweise Bereich, exakt Gültigkeit besitzt. Außerdem wirkt sich der hohe Programmieraufwand, insbesondere durch das oft zu wiederholende Abfahren der Sensorkorrekturrichtungen, zur Begrenzung der Fehler und der damit verbundene große Speicherplatzbedarf, ungünstig aus. Es ist außerdem ein Steuerungsverfahren, gemäß der DE-OS 3 143 834 bekannt, daß die Wirkung der Sensorsignale auf die Industrieroboter-Grundkinematik, in Abhängigkeit von der Stellung der Handachsen, zusammengefaßt in der Gelenkvorrichtung, das heißt dem mehrachsigen Handgelenk, speichert. An dem Handgelenk ist ein Werkzeug, zum Beispiel ein Schweißkopf installiert. Die Soll-Bahn wird in Form von Positionsdaten, gleichbedeutend mit den intermediären, beziehungsweise Effektorbezugspunkten, bezogen auf den Arbeitspunkt des Werkzeuges, hier die Schweißkopfspitze und damit unter anderem auch auf den Handgelenkmittelpunkt, in die Steuereinheit des Industrieroboters, als Vorprogramm erfaßt, das heißt eingespeichert. Dabei wird zugleich ein für den Schweißkopf gültiges Erkennungs-Koordinatensystem, gleichbedeutend mit dem System der Handkoordinaten, das heißt der Handstruktur mit ihren, für den technologischen Prozeß gültigen Daten, erfaßt. Zugleich werden vor Prozeßbeginn die Koeffizientenwerte, das heißt die Kenndaten der am Werkzeug angeordneten Sensoren in Fest- oder variablen Speichern, einprogrammiert. Die dann folgende Steuerung während des technologischen Prozesses erfolgt, indem die Daten der Soll-Bahn des jeweiligen Werkzeuges, hier speziell des Schweißkopfes, aus dem Speicher abgefragt werden. Wird das Werkzeug gewechselt, wie es zum Beispiel für die unterschiedliche Bearbeitung einer Werkstückkontur notwendig ist, so muß stets ein neuer, auf das jeweilige Werkzeug bezogener, Soll-Bahnverlauf in der Steuereinheit einprogrammiert sein. Das gleiche gilt für die zur Anwendung kommenden unterschiedlichen Sensoren zur sensorgestützten Korrektur der Soll-Bahn in bezug auf die vorliegende Ist-Bahn. Insbesondere daraus ergibt sich der Nachteil eines hohen Speicher- und steuerungsinternen Aufwandes. Außerdem weist das Verfahren keinerlei Flexibilität bei der Umstellung auf eine veränderte Sensoranordnung oder Aktivierung, das heißt Zu- oder Abschaltung, von physisch vorhandenen Sensoren auf.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist ein Verfahren zur sensorgestützten Steuerung eines Industrieroboters zur adaptiven Beeinflussung der als Soll-Bahn vorgegebenen Bewegungsbahn in bezug auf die Ist-Bahn, das mit einem Minimum an Eingangsinformationen, insbesondere in Form von mehreren Vorprogrammen, Speicherplatzbedarf, rechentechnischem und Zeitaufwand realisierbar ist und eine große Flexibilität zuläßt.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist ein Verfahren zur sensorgestützten Steuerung eines mehrachsigen Industrieroboters, das auf der Basis einer vorprogrammierten Soll-Bahn für den Effektorpunkt, als den Arbeitspunkt von Werkzeugen und der Anordnung und damit auch der Einspeicherung der Daten von Sensoren, sowie der Daten der Koordinaten der Hauptachsen des Industrieroboters und der Handstruktur in Form der vom Handgelenkmittelpunkt ausgehenden Handkoordinaten, entsprechend der Roboterkinematik, durch eine unmittelbar im technologischen Prozeß, bei freier Wahl der Sensierungsrichtungen, erfolgende sensorgestützte adaptive Beeinflussung der Soll-Bahn eine Führung des Effektorpunktes des jeweiligen Werkzeuges auf der Ist-Bahn des zu bearbeitenden Werkstückes ermöglicht.

Das wird gemäß der Erfindung erreicht, indem in der Handstruktur sich zwischen dem Handgelenkmittelpunkt und dem Effektorpunkt erstreckende und in Richtung der Handkoordinaten liegende Handlängen erfaßt werden, dann im technologischen Prozeß durch die Steuereinheit des Industrieroboters, von den Sensoren beliebiger Anzahl auf den Effektorpunkt und die Ist-Bahn bezogene Sensorsignale zyklisch abgefragt und aufbereitet werden, dann aus diesen Sensorsignalen ein resultierender Korrekturvektor in bezug auf den entsprechenden Effektorbezugspunkt der Soll-Bahn errechnet wird, dann aus dem Korrekturvektor auf die Richtungen der Handlängen bezogene Handlängendifferenzen errechnet werden, dann durch Addition der Handlängendifferenzen gemäß ihrem Vorzeichen mit den Handlängen, diese virtuell verändert werden, dann mit diesen steuerungsintern die Roboterkinematik virtuell verändert wird, dann damit die eigentliche Positionierung des Effektorpunktes auf der Ist-Bahn über die Steuereinheit des Industrieroboters realisiert wird, dann zwischen dem bereits ermittelten Korrekturvektor und dem, bei der jeweils darauf folgenden zyklischen Abfrage der Daten errechneten nächsten Korrekturvektor ein Versatzvektor errechnet wird, dann jeweils sich aus diesem Versatzvektor ergebenden Anteile der Handlängendifferenzen zu den vorhergehenden Handlängendifferenzen, entsprechend ihrem Vorzeichen, addiert werden, mit den so dynamisch virtuell sich verändernden Handlängen steuerungsintern die dynamisch virtuelle Veränderung der Roboterkinematik vorgenommen wird und dann damit die Steuerung des Effektorpunktes des jeweiligen Werkzeuges auf der Ist-Bahn realisiert wird.

Die Erfindung ermöglicht die sensorgestützte adaptive Beeinflussung der vorprogrammierten Soll-Bahn mehrachsiger Industrieroboter beliebiger Grundkinematik, wie kartesisch, zylindrisch, sphärisch und anthropomorph mit bis zu drei rotatorischen Freiheitsgraden in der Handstruktur im technologischen Prozeß. Sie ermöglicht die freie Wahl der Werkzeuge ohne Neuprogrammierung der Soll-Bahn und die freie Wahl der Anzahl von Sensoren und deren Sensierungsrichtungen. Die Umrechnung der Sensorsignale zur virtuellen Veränderung der Handlängen über die Verrechnung der wechselnden Handlängendifferenzen reduzieren den Speicherplatz und rechentechnischen Aufwand. Das Verfahren ist mit wenigen grundlegenden Vorprogrammen, Handstruktur- und Sensorparametern sehr flexibel realisierbar.

Ausführungsbeispiel

An einem Ausführungsbeispiel soll die Erfindung näher erläutert werden. Es zeigt:

Fig. 1: Roboterkinematik eines Gelenkroboters

Fig. 2: Prinzipdarstellung der Handstruktur und den aus ihr erfindungsgemäß erfaßten, das heißt als Teil des Vorprogramms zusätzlich eingespeicherten Daten der Handlängen, sowie der im technologischen Prozeß aus den Sensorsignalen ermittelten und sich jeweils verändernden Handlängendifferenzen

Fig. 3: Anordnung eines sensorbestückten Schweißbrenners am Industrieroboterhandgelenk

Die Roboterkinematik des in der Fig. 1 dargestellten Industrieroboters verfügt über eine Drehachse 1, den zwei Schwenkachsen 2, 3 und den drei Handachsen mit den entsprechenden Freiheitsgraden. Das dadurch gebildete und in der Fig. 2 im Detail dargestellte System der Handkoordinaten 4, 5, 6 hat als Handstruktur seinen Zentralpunkt im Handgelenkmittelpunkt 7 und führt jede Bewegung des Handgelenkes mit aus. Die sich zwischen dem Handgelenkmittelpunkt 7 und dem Effektorpunkt 8, als dem Arbeitspunkt des Werkzeuges, zum Beispiel des Schweißbrenners 12 der Fig. 3, über den Handkoordinaten 4, 5, 6 erstreckenden Handlängen 9, 10, 11 werden gemäß der Erfindung zusätzlich zu den Daten der Soll-Bahn und den Daten von Sensoren 13 beliebiger Anzahl, erfaßt, das heißt in den der Steuereinheit des Industrieroboters zugeordneten Baugruppen, eingespeichert. Ein mit drei rotatorischen Freiheitsgraden konzipiertes Handgelenk schöpft die Möglichkeiten des Verfahrens voll aus. Die am Schweißbrenner 12 angeordneten Sensoren 13 spannen durch ihre Sensierungsvektoren 14, 15, definiert durch ihre Winkellage 17, die Dreh-Winkelstellung 18 und die Neigungs-Winkelstellung 19 eine entsprechende Sensierungsebene, das heißt ihre Arbeitsebene auf. Die Prinzipdarstellung Fig. 2 weist zur Erfassung eines geeigneten Sensierungsbereiches drei im Winkel zueinander stehende Sensierungsvektoren 15, 16, 17 auf. Die sich daraus ergebenden Sensorsignale werden im technologischen Prozeß, das heißt im eigentlichen Arbeitsprozeß, hier zum Beispiel dem Schweißprozeß, von der Steuereinheit des Industrieroboters in einem festen Zeitraster zyklisch abgefragt. Aus den Sensorsignalen gegenüber der Ist-Bahn wird dann ein resultierender Korrekturvektor 20 in bezug auf den entsprechenden Effektorbezugspunkt 21 auf der vorprogrammierten Soll-Bahn. Dieser Korrekturvektor 20 wird in, in Richtung der Handlängen 9, 10, 11 liegende, Handlängendifferenzen 22, 23, 24 zerlegt, dann durch Addition mit den Handlängen 9, 10, 11, diese virtuell, das heißt scheinbar verändert und damit steuerungsintern, das heißt nicht physisch, auch die Roboterkinematik virtuell verändert und dementsprechend die Positionierung des Effektorpunktes 8 auf der Ist-Bahn realisiert. Aus dem bereits ermittelten Korrekturvektor 20 und dem aus der jeweils darauffolgenden zyklischen Abfrage ermittelten nächsten Korrekturvektors 20 wird ein Versatzvektor errechnet. Die sich aus diesem Versatzvektor ergebenden Anteile der Handlängendifferenzen 22, 23, 24 werden mit letzteren verrechnet, so daß sich dynamisch, das heißt ständig aktiv, virtuell eine Veränderung der Handlängen 9, 10, 11 ergibt und mit der damit bewirkten dynamisch virtuellen Veränderung der Roboterkinematik auf der Basis der, auf die physische Roboterkinematik bezogenen Soll-Bahn, die Steuerung des Effektorpunktes 8 auf der Ist-Bahn realisiert wird.

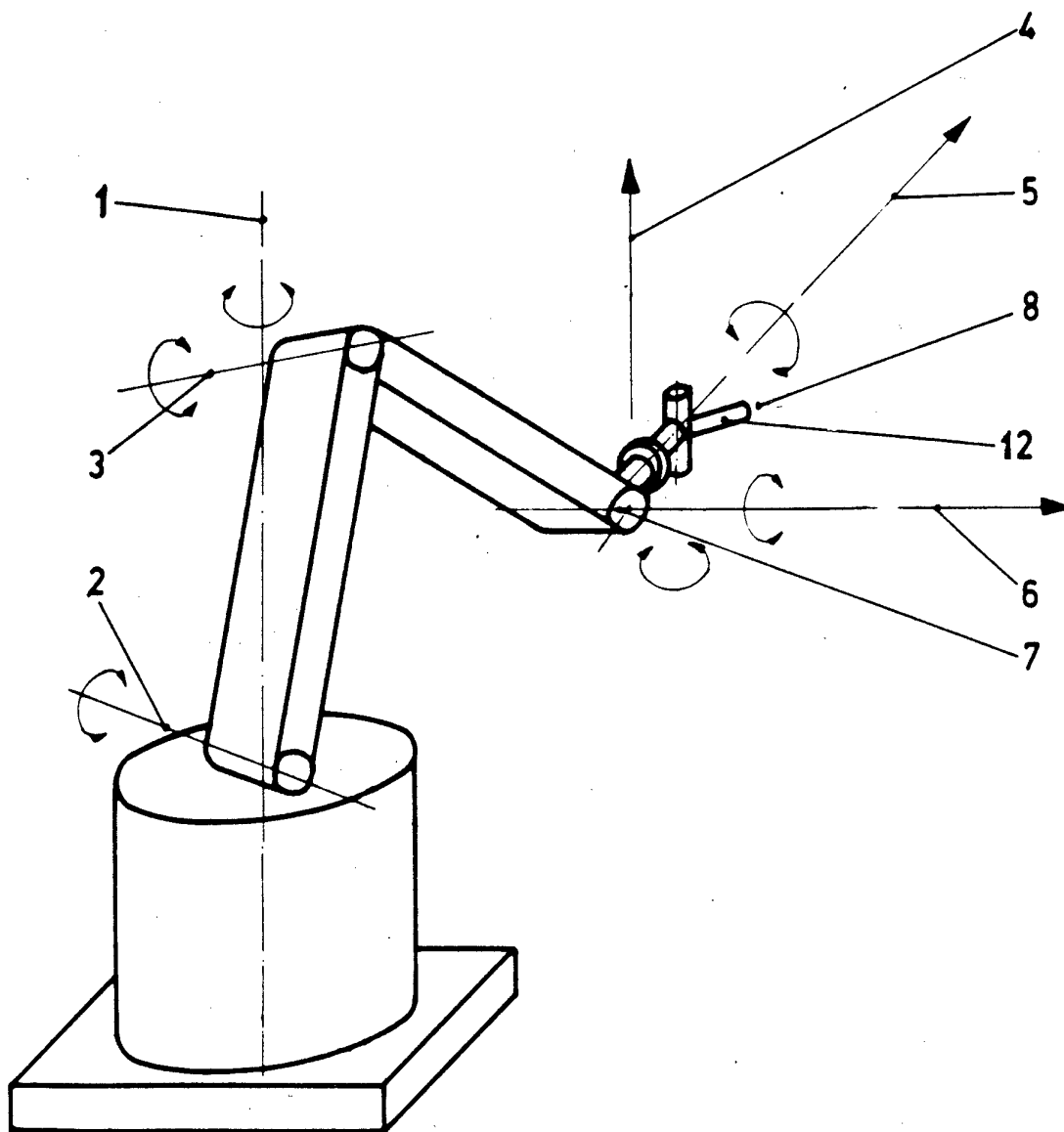


Fig.1

21.1.88-4/9605

