



Republik
Österreich
Patentamt

(11) Nummer: **AT 401 318 B**

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 2350/92

(51) Int.Cl.⁶ : **G05B 19/19**

(22) Anmeldetag: 27.11.1992

(42) Beginn der Patentdauer: 15.12.1995

(45) Ausgabetag: 26. 8.1996

(56) Entgegenhaltungen:

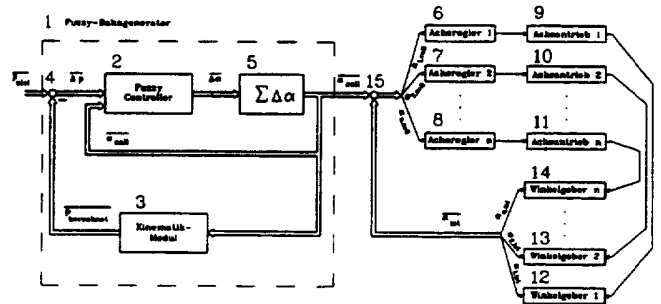
EP 0402849A2 JP 03139704A US 5065337A US 4764881A
US 4536690A

(73) Patentinhaber:

KHACHATOURI YEGHIAZARIANS VAHEH DIPL.ING.
A-1020 WIEN (AT).

(54) FUZZY STEUERUNGSSYSTEM FÜR MANIPULATOREN

(57) Das erfindungsgemäße Steuerungssystem dient zur Steuerung von Handhabungseinrichtungen mit beliebig vielen Freiheitsgraden, Insbesondere Industrieroboter mit mehreren rotatorischen Achsen mittels eines Fuzzy-Bahngenerators (1), der zur Generierung der einer vorgegebenen kartesischen Position entsprechenden Sollachsstellungen die an sich bekannte Methode von Fuzzy-Control verwendet. Ein Fuzzy-Controller (2) wird zur Berechnung von vorzunehmenden Achswinkeländerungen aus der Abweichung der berechneten Istposition von der Zielposition eingesetzt. Diese Berechnung erfolgt so, daß die kartesische Abweichung der Manipulatorposition von der Zielposition kleiner wird. Die momentane kartesische Position des Manipulators (16) wird rein rechnerisch ohne Zuhilfenahme von Sensoren ermittelt. Die vorzunehmenden Achswinkeländerungen werden im komulierenden Addierer (5) zu den berechneten Momentanwerten der Achsstellungen addiert und als Achswinkelsollwerte an die Achsregler (6 bis 8) weitergegeben.



AT 401 318 B

Die Erfindung betrifft einen Fuzzy-Bahngenerator für Handhabungs- und Positioniereinrichtungen mit beliebig vielen Freiheitsgraden, insbesondere für einen Industrieroboter mit mehreren rotatorischen Achsen, der einen Fuzzy-Controller, einen Integrator und einen die Gleichungen der derikten Kinematik verarbeitenden Kinematikmodul enthält.

5 Der erfindungsgemäße Fuzzy-Bahngenerator verwendet zur Ermittlung der einer kartesischen Zielposition und -orientierung entsprechenden Achsstellungen nur die eindeutigen Gleichungen der direkten Kinematik (auch als Hintransformation bezeichnet).

Es sind bereits Einrichtungen und Verfahren zur Steuerung von Manipulatoren bekannt, die durch Sensorsysteme die Kartesische Istposition und -Orientierung des Manipulators erfassen oder diese unter
 10 Verwendung der direkten Kinematik aus den von den Winkelgebern der einzelnen Achsen gemessenen Achsstellungen ermitteln und zur kartesischen Regelung des Roboters nach der an sich bekannten Methode von Fuzzy-Control verwenden (EP-0-402-849 A2 (HITACHI)). Während diese Systeme eine Rückkopplung der gemessenen Istposition in die Steuerungseinheit voraussetzen und somit als Regelungssysteme zu verstehen sind, ist die gegenständliche Erfindung ein reines Steuerungssystem, da sie keine Rückkopplung
 15 der Istposition in die Steuereinheit voraussetzt. Das in der gegenständlichen Anmeldung beschriebene System erlaubt eine sanftere (ruckfreie) Bewegung und eine höhere Geschwindigkeit des Roboters bei der gleichen dynamischen Genauigkeit (Bahntreue) oder eine höhere dynamische Genauigkeit bei gleicher Geschwindigkeit als die oben erwähnten Systeme zur kartesischen Regelung. Ein weiterer Vorteil des gegenständlichen Systems gegenüber den oben erwähnten Systemen zur kartesischen Regelung ist die
 20 Tatsache, daß die Dynamik des Manipulators im Regelsatz des Fuzzy-Controllers nicht berücksichtigt zu werden braucht. Abgesehen von den erwähnten Vorteilen gegenüber Regelungssystemen kann das gegenständliche Steuerungsverfahren zur Berechnung der inversen Kinematik zum Beispiel in der Robotersimulation eingesetzt werden, da das gegenständliche System keine Rückkopplung von der am Manipulator gemessenen Position und Orientierung des End-Effektors oder von den am Manipulator gemessenen
 25 Winkelstellungen der Achsantriebe voraussetzt.

Durch den erfindungsgemäßen Fuzzy-Bahngenerator werden Systeme der eingangs beschriebenen Art dadurch verbessert, daß der Fuzzy-Bahngenerator die Handhabungs- und Positioniereinrichtung, insbesondere einen Industrieroboter, sensorfrei und somit ohne Rückmeldung der Ist-Position der Achsen an den Fuzzy-Bahngenerator steuert.

30 Es ist dabei notwendig, daß der Ausgang des Integrators, der zugleich den Ausgang des Fuzzy-Bahngenerators bildet, mit dem Eingang des Kinematik-Moduls, dessen Ausgang über ein differenzbildendes Element mit den Werten der kartesischen Zielposition und Zielorientierung verknüpft wird und an den Eingang des Fuzzy-Controllers herangeführt wird, verbunden ist.

Ebenso ist es vorteilhaft, daß der Ausgang des Integrators an den Eingang des Fuzzy-Controllers
 35 herangeführt wird, um die Nichtlinearität der inversen Kinematik von Manipulatoren mit rotatorischen Achsen zu kompensieren.

Besonders geeignet zur Erreichung einer höheren dynamischen Genauigkeit und Bahntreue ist es, daß für jede an den Eingang des Bahngenerators angelegte kartesische Zielposition und Zielorientierung in mehreren iterativen Berechnungsdurchläufen die entsprechenden Winkelstellungen der Achsantriebe auf
 40 eine beliebige vorgegebene Genauigkeit ermittelt werden.

In den Zeichnungen wird die Erfindung anhand von beispielsweise Ausführungsformen erläutert und zwar zeigen:

Fig. 1 Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung im Blockschaltbild,

Fig. 2 Ein Ausführungsbeispiel des Fuzzy-Bahngenerators für einen Manipulator bestehend aus zwei
 45 rotatorischen Achsen und

Fig. 3 Das Modell des dem in der Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel zugrundegelegten Manipulators.

Das Kernstück der Erfindung besteht aus dem Fuzzy-Bahngenerator 1, bestehend aus den folgenden in einer geschlossenen Schleife angeordneten Einheiten:

50 Fuzzy-Controller-Einheit 2,
 Kinematik-Modul 3,
 differenzbildendes Element 4 und
 Integrator 5.

Die aktuellen, berechneten Winkelwerte $\bar{\alpha}_{\text{soil}}$ für die Achsantriebe 9-11 werden an den Eingang des
 55 Kinematik-Moduls 3 herangeführt. Am Ausgang des Kinematik-Moduls, in dem das kinematische Modell des Manipulators in Form des Gleichungssystems der direkten Kinematik realisiert ist, liegen die sich aus diesen Winkelwerten eindeutig ergebenden Position und die Orientierung des Manipulatorendeffektors $\bar{p}_{\text{berechnet}}$. Die Abweichung von $\bar{p}_{\text{berechnet}}$ von der am Eingang des Fuzzy-Bahngenerators 1 anliegenden

Zielposition und -orientierung \bar{p}_{Ziel} wird mit Hilfe des differenzbildenden Elementes 4 gebildet. Diese Abweichung wird in Fig. 1 und Fig. 2 als $\bar{\Delta p}$ bezeichnet. Wenn $\bar{\Delta p}$ der erforderlichen, vorgegebenen Genauigkeit entspricht, werden die aktuellen, berechneten Winkelwerte $\bar{\alpha}_{\text{Soll}}$ zur Weitergabe an die Achsregler 6-8 als Sollwerte freigegeben. Aus der Abweichung $\bar{\Delta p}$ und den aktuellen, berechneten Winkelwerten $\bar{\alpha}_{\text{Soll}}$ werden von dem Fuzzy-Controller 2 inkrementelle Korrekturwerte $\bar{\Delta \alpha}$ generiert, die die Abweichung von $\bar{p}_{\text{berechnet}}$ von \bar{p}_{Ziel} verkleinern. Die Korrekturwerte $\bar{\Delta \alpha}$ werden durch den Integrator 5 zu den im vorigen Iterationsschritt berechneten Winkelwerten $\bar{\alpha}_{\text{Soll}}$ aufintegriert, sodaß ein neuer Satz von Winkelwerten $\bar{\alpha}_{\text{Soll}}$ entsteht.

Die Achsregler 6-8 sind Positionsregler, die vorzugsweise je nach den erforderlichen Taktraten in einem oder mehreren Signalprozessoren implementiert sind. Die Istpositionen der Achsantriebe 9-11 werden durch je einen Winkelgeber 12-14, vorzugsweise optische Inkrementgeber, erfaßt und nach der Differenzbildung im Summierpunkt 15 in die Achsregler 6-8 rückgekoppelt. Die Regelung der Achsantriebe erfolgt durch an sich bekannte digitale Regelalgorithmen, vorzugsweise PID-Regler mit Geschwindigkeitsvorsteuerung.

Durch eine zusätzliche Weiterentwicklung des erfindungsgemäßen Steuerungsverfahrens durch die Erweiterung der Regelbasis des Fuzzy-Controllers 2 kann es zur Steuerung kinematisch redundanter Manipulatoren eingesetzt werden.

Patentansprüche

1. Fuzzy-Bahngenerator für Handhabungs- und Positioniereinrichtungen mit beliebig vielen Freiheitsgraden, insbesondere für einen Industrieroboter mit mehreren rotatorischen Achsen, der einen Fuzzy-Controller, einen Integrator und einen die Gleichungen der derikten Kinematik verarbeitenden Kinematikmodul enthält, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Fuzzy-Bahngenerator die Handhabungs- und Positioniereinrichtung, insbesondere einen Industrieroboter, sensorfrei und somit ohne Rückmeldung der Ist-Position der Achsen an den Fuzzy-Bahngenerator steuert.
2. Fuzzy-Bahngenerator nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Ausgang des Integrators, der zugleich den Ausgang des Fuzzy-Bahngenerators bildet, mit dem Eingang des Kinematik-Moduls, dessen Ausgang über ein differenzbildendes Element mit den Werten der kartesischen Zielposition und Zielorientierung verknüpft wird und an den Eingang des Fuzzy-Controllers herangeführt wird, verbunden ist.
3. Fuzzy-Bahngenerator nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Ausgang des Integrators an den Eingang des Fuzzy-Controllers herangeführt wird.
4. Fuzzy-Bahngenerator zum Betrieb eines Steuerungssystems nach den Ansprüchen 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß für jede an den Eingang des Bahngenerators angelegte kartesische Zielposition und Zielorientierung in mehreren iterativen Berechnungsdurchläufen die entsprechenden Winkelstellungen der Achsantriebe auf eine beliebige vorgegebene Genauigkeit ermittelt werden.

Hiezu 3 Blatt Zeichnungen

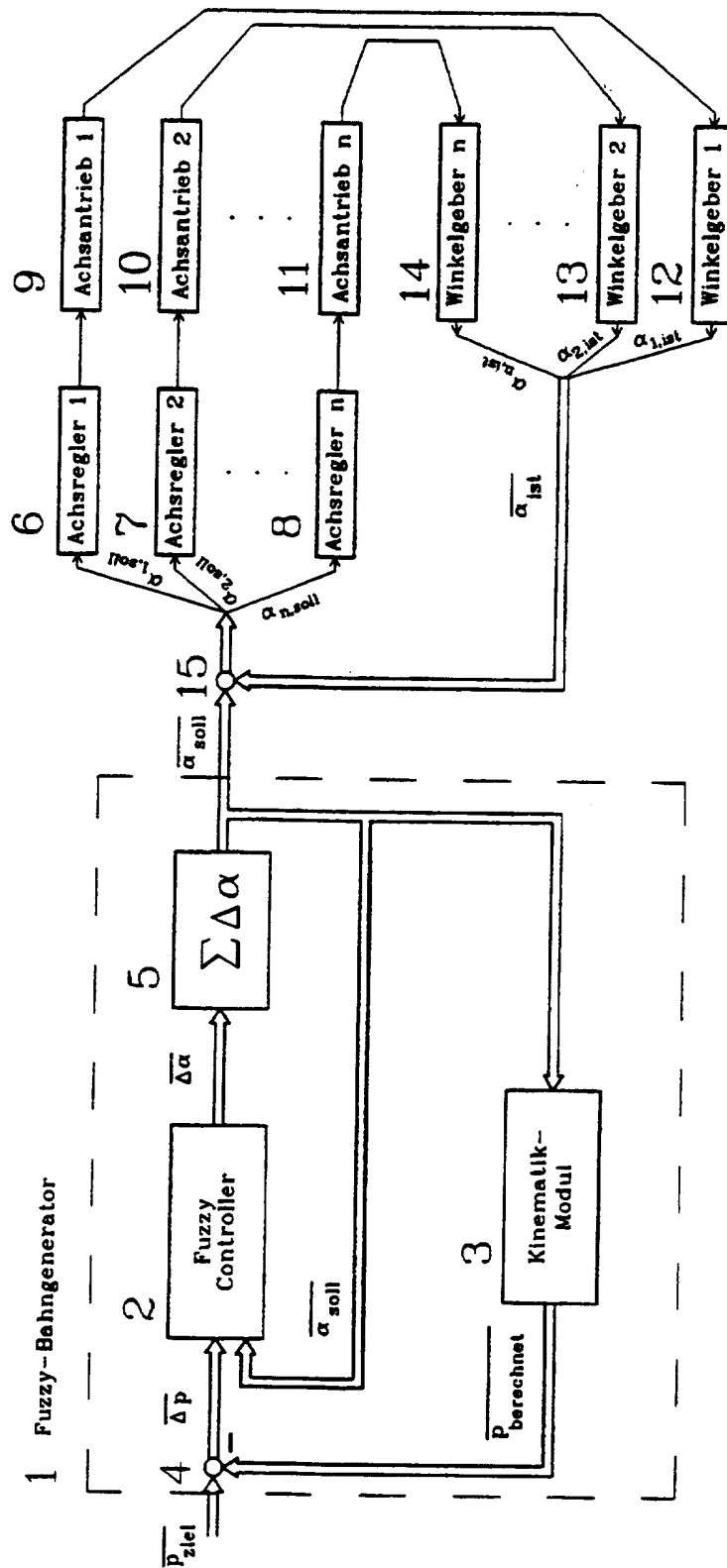


Fig. 1

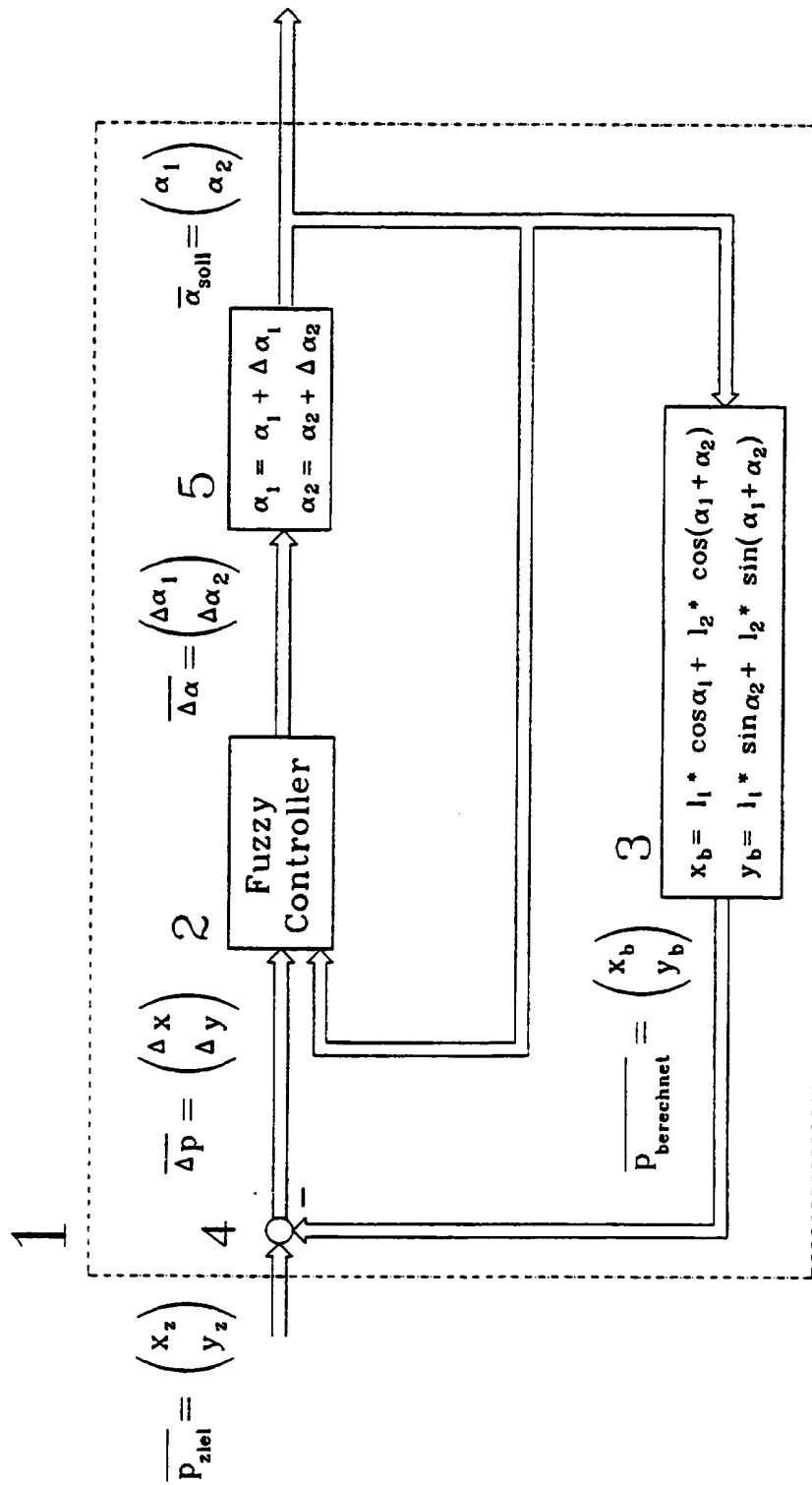


Fig. 2

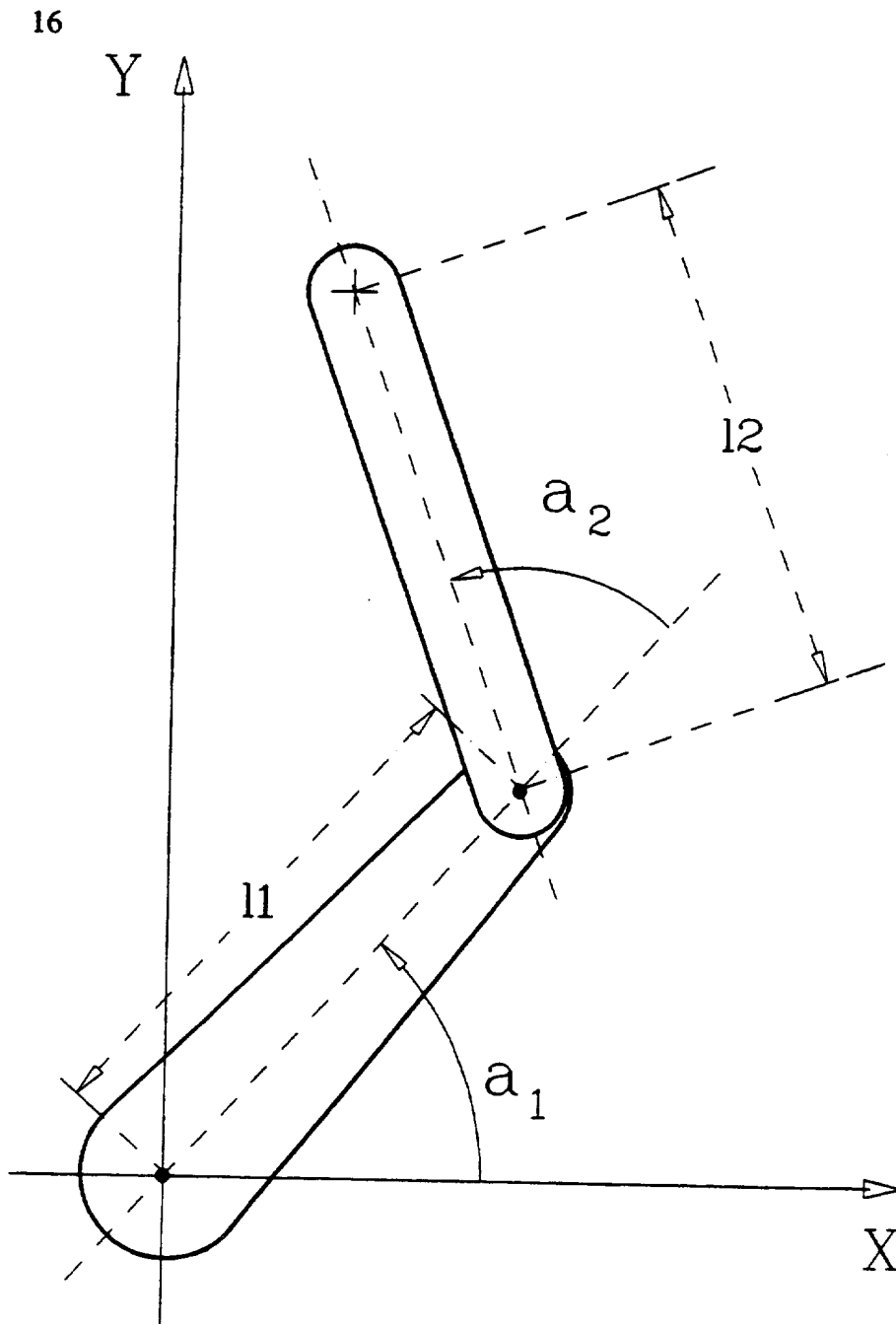


Fig. 3