



PCT
WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 5 : G05B 19/18	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 94/07187 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 31. März 1994 (31.03.94)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE93/00841 (22) Internationales Anmeldedatum: 11. September 1993 (11.09.93) (30) Prioritätsdaten: P 42 31 613.8 22. September 1992 (22.09.92) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, D-70442 Stuttgart (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US) : BARG, Juergen [DE/DE]; Heinrich-Ritzel-Str. 8, D-64720 Michelstadt (DE). WITKA, Waltraud [DE/DE]; Stadtring 302, D-64720 Michelstadt (DE). GRIMM, Wolfgang [DE/DE]; Alsfelderstr. 16, D-64720 Michelstadt (DE).		(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>

(54) Title: PROCESS FOR TESTING THE WORKING ACCURACY OF AN NC MACHINE

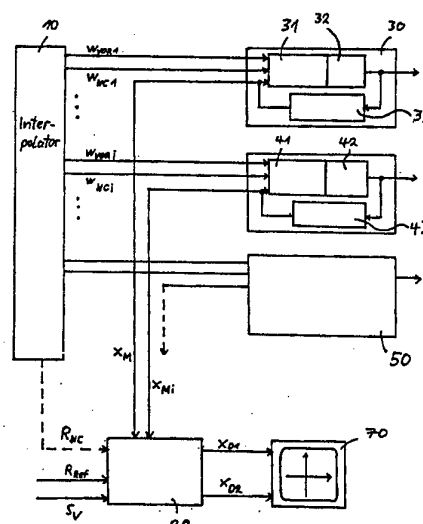
(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ÜBERPRÜFUNG DER ARBEITSGENAUIGKEIT EINER NC-MASCHINE

(57) Abstract

A process is disclosed for testing the working accuracy of an NC-machine by comparing a circular set path with a real orbit that describes the actual movement of an NC-machine with at least two axes and at least two axis drives for guiding each a slide according to a position guiding signal which describes the set path of movement, as well as servoregulation circuits having a position sensor for sensing and feeding back the position of the slide. The real orbit R_M is derived from the position signals (X_M) supplied by the position sensor (33, 43); each position signal (X_M) measured by the position sensor (33, 43) is preferably compared with the corresponding position guiding signal (W_{NC}).

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überprüfung der Arbeitsgenauigkeit einer NC-Maschine durch Vergleich einer kreisförmigen Sollbahn mit einer die tatsächliche Maschinenbewegung beschreibenden Ist-Kreisbahn für eine wenigstens zweiachsige NC-Maschine mit wenigstens zwei, jeweils einen Achsantrieb zur Führung eines Schlittens gemäß einem die Sollbewegungsbahn beschreibenden Lage-Führungssignal, sowie ein Wegmeßsystem zur Erfassung und Rückführung der Position des Schlittens aufweisenden Servoregelkreisen. Hierbei wird die Ist-Kreisbahn R_M aus den vom Wegmeßsystem (33, 43) gelieferten Positionssignalen (X_M) gebildet, wobei vorzugsweise jedes von dem Wegmeßsystem (33, 43) gemessene Positionssignal (X_M) verglichen wird mit dem zugehörigen Lage-Führungssignal (W_{NC}).



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	FI	Finnland	MR	Mauritanien
AU	Australien	FR	Frankreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GA	Gabon	NE	Niger
BE	Belgien	GB	Vereinigtes Königreich	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GN	Guinea	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	GR	Griechenland	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	HU	Ungarn	PL	Polen
BR	Brasilien	IE	Irland	PT	Portugal
BY	Belarus	IT	Italien	RO	Rumänien
CA	Kanada	JP	Japan	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SD	Sudan
CG	Kongo	KR	Republik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	SK	Slowakischen Republik
CM	Kamerun	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CN	China	LU	Luxemburg	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LV	Lettland	TG	Togo
CZ	Tschechischen Republik	MC	Monaco	UA	Ukraine
DE	Deutschland	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
DK	Dänemark	ML	Mali	UZ	Usbekistan
ES	Spanien	MN	Mongolei	VN	Vietnam

- 1 -

Verfahren zur Überprüfung der Arbeitsgenauigkeit einer NC-Maschine

Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren nach der Gattung des Hauptanspruchs. Zur Erfassung der Arbeitsgenauigkeit von NC-Maschinen wurde der sogenannte Kreisformtest entwickelt. Bei diesem Testverfahren wird eine von der NC-Maschine ausgeführte Kreisbahn mit einer vorgegebenen Referenzkreisbahn verglichen. Ein Verfahren dieser Art ist z.B. in "Der Kreisform-Test zur Prüfung von NC-Werkzeugmaschinen", W. Knapp, S. Hrovat, 1986, Seiten 19 bis 25. beschrieben. Gemäß dieser Schrift besteht der Kreisformtest in einem Vergleich einer Kreisbahn, die von einer NC-Maschine abgefahren wird, mit einem Kreis, der durch ein hochgenaues Referenzwerkstück, dem Kreisnormal, mit bekanntem Durchmesser vorgegeben wird. Zur Durchführung des Tests wird der Steuerung der NC-Maschine eine dem Kreisnormal entsprechende Kreisbahn programmiert und mit der durch einen zweidimensionalen Taster ermittelten Ist-Kontur der von der NC-Maschine tatsächlich ausgeführten Kreisbahn verglichen. Die Differenz wird grafisch und/oder numerisch dargestellt. Aufgrund der bei einem Kreisformtest gefundenen Bahnabweichung lassen sich die Einhaltung der Toleranzen der NC-Maschine überprüfen sowie Aussagen über die möglichen Ursachen von Abweichungen gewinnen.

...

- 2 -

Eine ausführliche Darstellung, wie die mit dem Kreisformtest gewonnenen Ergebnisse auszuwerten sind, findet sich ebenfalls in der Schrift von Knapp/Hrovat.

Ein anderes Prinzip zur Durchführung des Kreisformtests ist aus dem Prospekt der Fa. RENISHAW von 1991, "Das neue PC-gestützte Meßsystem zur Überprüfung von Bearbeitungszentren" bekannt. Bei dieser Anordnung wird ein längenveränderbarer Meßstab mit einem Ende in der Mitte eines von der Maschine abzufahrenden Kreises und mit dem anderen Ende an der Spindel der Maschine befestigt. Die beim Durchfahren des Kreises auftretenden Längenänderungen am Meßstab werden zur Anzeige gebracht.

Nachteilig an diesen bekannten Verfahren ist insbesondere der große Zeitaufwand, der zur Justierung der mechanischen Anordnungen erforderlich ist. Dies gilt insbesondere für die Justierung des Kreisnormals bei dem Verfahren nach Knapp / Hrovat. Das Verfahren nach RENISHAW ist zwar schneller durchführbar, jedoch weist das Meßsystem selbst zwei Gelenke auf, welche eine zusätzliche Fehlerquelle darstellen können, und deshalb auf Kosten der Genauigkeit gehen.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Kreisformtest-Verfahren anzugeben, welches hinsichtlich seines Ergebnisses schneller und einfacher durchführbar ist als die vorstehend beschriebenen bekannten Verfahren.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Hauptanspruchs. Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, daß eine zusätzliche externe Meßeinrichtung nicht erforderlich ist. Es ist sowohl einfach wie auch schnell und dadurch beliebig häufig durchführbar.

...

- 3 -

In einer besonderen Ausgestaltung wird das erfindungsgemäße Verfahren in Ergänzung mit einem der vorstehend beschriebenen bekannten Verfahren durchgeführt. Auf diese Weise ist eine besonders genaue Analyse der Maschinenarbeitsgenauigkeit erreichbar.

Ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens wird in der nachfolgenden Beschreibung anhand der Zeichnung näher erläutert.

Zeichnung

Figur 1 zeigt ein Blockschaltbild eines bekannten Kreisformtests, Figur 2 ein Blockschaltbild des erfindungsgemäßen Verfahrens, Figur 3 eine grafische Darstellung der mit dem Kreisformtest erzielbaren Ergebnisse, Figur 4 die Struktur eines Verfahrens zur Durchführung des vorgeschlagenen Kreisformtests.

Beschreibung

Eine vereinfachte Darstellung einer zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeigneten Anordnung zeigt Figur 2. Dargestellt ist ein Teil der Steuerung einer nicht weiter dargestellten mehrachsigen NC-Maschine, das vorgeschlagene Verfahren ist aber grundsätzlich für alle Maschinenarten, sowie ebenso z. B. auch für Roboter geeignet. Bei der Steuerung handelt es sich um eine übliche Steuerung, deren Aufbau und Funktion bekannt sind. In der Figur 2 sind deshalb nur die nachfolgend zu Beschreibungszwecken benötigten Elemente der gesamten Steuerung dargestellt.

Ein Interpolator 10 generiert definitionsgemäß und in bekannter Weise zu den von einer Satzaufbereitung kommenden Stützpunkten einer Bewegungssollbahn Zwischenstützstellen. Ausgangssignal des Interpolators 10 ist eine vektorielle Führungsgröße $\vec{w}_{NC}$ zur

...

- 4 -

Führung von wenigstens zwei Schlitten der Maschine entlang einer kreisförmigen Sollbewegungsbahn R_{NC} . Die Komponenten der Führungsgröße $\vec{w}_{NC}$ sind Lageführungssignale $w_{NC1}, w_{NC2}, \dots, w_{NCi}, \dots$ für nachgeschaltete Servoregelkreise 30, 40, 50 zur Steuerung der einzelnen Achsen.

Weiter verfügt der Interpolator 10 über eine nicht dargestellte Vorsteuereinrichtung. Diese bildet zu den vom Interpolator 10 ausgegebenen Lageführungssignalen $w_{NC1}, w_{NC2}, \dots, w_{NCi}, \dots$ Vorsteuersignale $w_{vor1}, w_{vor2}, \dots, w_{vori}, \dots$ welche gleichfalls auf die nachgeschalteten, jeweils aus Antrieb 31, 41, Schlitten 32, 42, sowie Wegmeßsystem 33, 34 bestehenden Servoregelkreise 30, 40, 50 aufgeschaltet werden. Vorgesteuert werden zweckmäßig zumindest die erste und die zweite Zeitableitung, sprich Führungsgeschwindigkeit und Führungsbeschleunigung, der vom Interpolator 10 ausgegebenen Lageführungssignale $w_{NC}, w_{NC2}, \dots, w_{NCi}, \dots$. Zwar ist eine Vorsteuerreinrichtung nicht unbedingt erforderlich, verbessert aber die mit dem Kreisformtest gewonnenen Ergebnisse erheblich. Eine Darstellung des Prinzips der Vorsteuerung findet sich z.B. in der Schrift P. Stoph, "Verminderung dynamischer Bahnabweichungen bei numerisch bahngesteuerten Werkzeugmaschinen", Zeitschrift für industrielle Fertigung, 1978, Seiten 329 bis 333. Ein Verfahren, wie die zur Durchführung der Vorsteuerung benötigten sogenannten Vorsteuerparameter gewonnen werden können, ist aus der deutschen Anmeldung Aktenzeichen P 40 39 620.7 bekannt.

Dem Interpolator 10 nachgeschaltet sind entsprechend der Anzahl der Achsen der betrachteten Maschine mehrere, zumindest aber zwei, Servoregelkreise 30, 40, 50, von denen aus Gründen der Übersichtlichkeit in Figur 2 nur drei dargestellt sind, es können jedoch mehr als drei vorhanden sein. Alle Servoregelkreise 30, 40, 50 sind prinzipiell gleichartig aufgebaut und bestehen jeweils aus einem Achsantrieb 31, 41 mit einer nicht dargestellten

...

Regelvorrichtung, der gemäß dem vom Interpolator 10 vorgegebenen Lageführungssignal einen Schlitten 32,42 entlang einer im allgemeinen linearen Achse steuert. Die auf einer Istbahn R_M liegenden Istpositionen $x_{M1}, x_{M2}, \dots, x_{Mi}, \dots$ der Schlitten 32,42 bezüglich eines maschinenfesten Referenzpunktes werden von einem Wegmeßsystem 33,43 achsweise erfaßt und dem Achsantrieb 31,41 zurückgeführt. Die Wegmeßsysteme 33,43 sind zweckmäßig Längenmaßstäbe für eine direkte Längenmessung, die orthogonal zueinander angeordnet sind und optisch abgetastet werden. Wegmeßsysteme dieser Art sowie deren Funktionsweise sind z.B. in der Zeitschrift "Konstruktion", 43, 1991, S. 401 bis 410 beschrieben.

Wenigstens zwei der Achsantriebe 31, 41 wirken auf zueinander orthogonale Achsen, welche eine Ebene aufspannen. Aufgrund der von wenigstens zwei Achsantrieben 31, 41 bewirkten Bewegung werden die zugeordneten Schlitten 32, 42 entlang der betreffenden Achsen derart bewegt, daß ihre Relativbewegung der vom Interpolator 10 als Führungsgröße $\vec{w}_{NC}$ vorgegebenen Sollbahn R_{NC} entspricht. Unerheblich ist, welche Schlitten 32, 42 bewegt werden. Auch kann die Bewegung der Schlitten 35, 36 von jeweils mehr als einem Achsantrieb gesteuert sein und entlang mehr als drei Achsen erfolgen. Entscheidend ist die Relativbewegung der Schlitten 35 und 36 zueinander.

Die vom Wegmeßsystem 31,41 erfaßten Schlittenpositionen $x_{M1}, x_{M2}, \dots, x_{Mi}, \dots$ werden weiterhin einer Diagnoseeinheit 20 zugeführt. Der Diagnoseeinrichtung 20 sind außerdem ein Signal der Sollkreisbahn R_{NC} , welche durch das Führungsgrößensignal w_{NC} bestimmt ist, ein Referenzsignal R_{Ref} , sowie ein Signal S_V zur Skalierung zugeführt. Das Ausgangssignal der Diagnoseeinheit 20, welches zweckmäßig aus zwei zueinander orthogonalen Informationspfaden x_{D1}, x_{D2} besteht, ist einer Anzeigeeinheit 70, vorzugsweise in Form eines Bildschirmes, zugeführt.

...

- 6 -

Figur 1 zeigt eine nach dem Stand der Technik bekannte Meßanordnung mit Kreisnormal und Taster, wie sie beispielsweise aus der Schrift von Knapp/Hrovat hervorgeht. Bereits anhand von Figur 2 beschriebene Elemente sind mit denselben Bezugszeichen versehen. Außer einem Wegmeßsystem 33,43 weist die Anordnung nach Figur 1 insbesondere einen 2-D-Taster, im wesentlichen bestehend aus einem Tastkopf 60 und einer Meßspitze 61, welche mechanisch miteinander verbunden sind, auf. Der 2-D-Taster ist mechanisch mit wenigstens einem der Schlitten 32, 42 verbunden, was durch ein Mechanikglied 65 berücksichtigt ist. Während der Meßkopf 60 entsprechend der von der Steuerung vorgegebenen Soll-Kreisbahn R_{NC} bewegt wird, wird die Meßspitze 61 entlang einem als Kreisnormal ausgebildeten ringförmigen Meßkörper 62 auf einer durch diesen physikalisch definierten Bahn geführt. Dabei wird mit Blick auf die spätere Auswertung der Meßergebnisse zwischen einer Abtastung an der Innenseite des Kreisnormal 62, dem Innennormal, und der Außenseite des Kreisnormal, dem Außennormal unterschieden. Die Ausgangssignale R_{2DT} des 2-D-Tasters werden einer Summierstelle 63 zugeführt, der außerdem ein Referenzsignal R_{Ref} zugeführt sein kann. Das Ausgangssignal der Summierstelle 63 ist wiederum einer Anzeigeeinheit 70 in Form eines Bildschirmes zugeführt.

Nachfolgend wird die Funktionsweise der in den Figuren dargestellten Anordnungen näher erläutert, wobei zunächst auf Figur 2 Bezug genommen wird.

Bei der Durchführung des Kreisformtests gibt der Interpolator 10 eine zuvor über die Steuerung 11 programmierte kreisförmige Sollbahn R_{NC} vor. Zweckmäßig ist die Soll-Kreisbahn R_{NC} so gewählt, daß sie jeweils genau in einer von zwei Achsen aufgespannten Ebene liegt. Bei der Ausführung der Soll-Kreisbahn R_{NC} durch die Maschine sind dann entsprechend nur die die Kreisebene

...

- 7 -

aufspannenden Maschinenachsen aktiv, während die übrigen Achsen inaktiv sind. Ein solches maschinenangepasstes Vorgehen erleichtert die spätere Auswertung der Ergebnisse. Die Soll-Kreisbahn R_{NC} wird von der Maschine mit konstanter Bahngeschwindigkeit durchfahren. Das Wegmeßsystem 33,43 erfaßt die während der Maschinenbewegung von den Schlitten 32, 42 tatsächlich ausgeführte Istbahn R_M , indem es jeweils die Positionen der an der Bewegung beteiligten Schlitten 32,42 erfaßt. Für eine eindeutige Bestimmung einer Position der relativen Schlittenbewegungsbahn bedarf es der Positionen der Schlitten wenigstens zweier Servoregelkreise 30,40,50. Liegt die gefahrene Istbahn R_M nicht genau in einer Ebene bezüglich des Wegmeßsystems 33,43, müssen zumindest die Schlittenpositionen dreier Servoregelkreise 30,40,50 bekannt sein. Alle erfaßten Positionen der Istbahn R_M werden an die Diagnoseeinheit 20 übermittelt. Für jede durch das Lageführungssignal w_{NC} vorgegebene Sollposition, d.h. für jeden Interpolationsschritt des Interpolators 10 ermittelt die Diagnoseeinheit 20 anschließend die Differenz zwischen der Position der Schlitten 32 und 42 zueinander auf der Sollbahn R_{NC} und der zugehörigen vom Wegmeßsystem 40 gemessenen Position auf der Istbahn R_M . Diese in der Diagnoseeinheit 20 ermittelte Differenz stellt bereits das Ergebnis des Kreisformtests in Form einer Bahnabweichung ΔR dar, welches auf der Anzeige 70 dargestellt wird.

Zur Vereinfachung der Deutung des erhaltenen Ergebnisses wird der Bahnabweichung ΔR anschließend zweckmäßig noch ein vorgegbares Referenzsignal R_{Ref} in Form einer Referenzkreisbahn hinzuaddiert bzw. in einer zweiten Ausführung von dieser abgezogen. Auf diese Weise wird eine anschauliche Darstellung der Ergebnisse, die dann auch als Kreise sichtbar sind, gewonnen. Zudem sind Ergebnisse aus verschiedenen Kreisformtests vergleichbar. Wird die in der Diagnoseeinheit 20 gefundene Bahnabweichung ΔR von der

...

- 8 -

Referenzkreisbahn R_{Ref} subtrahiert, erscheint auf der Anzeige 70 eine zu kleine Ist-Kreisbahn R_M als ein zu großer Kreis, eine zu große Istbahn R_M dagegen als ein zu kleiner Kreis. Damit sind der Anzeige 70 direkt die nötigen Korrekturen entnehmbar. Diese Darstellungsart entspricht einem Kreisformtest nach der in Figur 1 dargestellten Weise mit einer Abtastung am Innennormal. Wird die in der Diagnoseeinheit 20 ermittelte Bahnabweichung ΔR zu dem Referenzsignal R_{Ref} hinzuaddiert, erscheint ein zu kleiner Kreis in der Anzeige 70 zu klein und ein zu großer Kreis zu groß. In diesem Fall sind der Anzeige 70 direkt die Abweichungen zwischen Soll- und Istbahn zu entnehmen, die Darstellung entspricht einem Kreisformtest nach Figur 1 mit Abtastung am Außennormal. Zur Deutung und Auslegung der Ergebnisse wird nochmals auf eingangs bereits angegebene Schrift von Knapp/Hrovat verwiesen. Die darin beschriebenen Auswerteverfahren können bei dem hier vorgeschlagenen Kreisformtest ebenfalls angewendet werden.

Um die Ablesbarkeit zu erleichtern, werden die Darstellungen auf der Anzeige zweckmäßig durch Skalierung des der Anzeige zugrundeliegenden Koordinatensystems mit einem vorgebbaren Vergrößerungsfaktor S_V vergrößert, geeignete Vergrößerungsfaktoren liegen dabei in der Größenordnung 1000.

Grundgedanke des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, die im Servoregelkreis ohnehin vorhandenen Informationen über die Istposition des Schlittens und der gewünschten Sollposition zur Durchführung des Kreisformtestes heranzuziehen. Eine Schwierigkeit bei diesem scheinbar naheliegendem Verfahren besteht jedoch darin, die vom NC-Interpolator 10 vorgegebenen Sollpositionen und die vom Direktwegmeßsystem 33, 43 gemessenen Istpositionen zur Bildung

...

- 9 -

einer Kreisabweichung richtig zuzuordnen. Infolge des Schleppfehlers, welcher in unterschiedlicher Größe bei allen numerisch gesteuerten Maschinen auftritt, bedingt z.B. schon durch die Ausführung der Lagereger in den Servoregelkreisen als Proportionalregler, usw, tritt nämlich allgemein der Effekt auf, daß der von der Steuerung vorgegebene Sollwert dem von der Maschine erreichten Istwert voreilt. Dadurch ist wiederum bedingt, daß im Falle einer Kreisbewegung der Radius des von der Maschine tatsächlich abgearbeiteten Istkreises stets kleiner ist als der angestrebte Radius des Sollkreises. Soll- und Istbahn können deshalb nicht durch einfache Auswertung der zu gleichen Zeitpunkten ermittelten Soll- bzw. Istpositionen verglichen werden.

Das durch den Schleppfehler bedingte Zuordnungsproblem ist in Figur 3 bildlich dargestellt. R_{NC} bezeichnet die Soll-Kreisbahn, welche bedingt durch die digitale Arbeitsweise der Maschine durch eine Folge von Sollpositionen, in der Figur 3 als Minutenstriche angedeutet, als Polygonzug angenähert ist, R_N bezeichnet die vom Wegmeßsystem 33, 43 erfaßte Istkreisbahn, die im Beispiel der Figur 3 im Uhrzeigersinn durchlaufen werden soll. Dargestellt ist eine durch beliebige zwei orthogonale Achsen aufgespannte x-y-Ebene. Zum Zeitpunkt t_1 wird die Sollposition x_1, y_1 von der Steuerung vorgegeben. Infolge des Schleppfehlers befindet sich die Maschine zu dem selben Zeitpunkt t_1 tatsächlich an der Position x_{M1}, y_{M1} .

Aus Figur 3 ist erkennbar, daß ein Vergleich zwischen Soll- und Istposition zu einem festen Zeitpunkt t_1 eine Aussage über das Maschinenverhalten nicht liefern könnte, da die zum Zeitpunkt t_1 vorliegende scheinbare Bahnabweichung ΔR nicht mit der zu diesem Zeitpunkt wirklich vorliegenden Bahnabweichung ΔR übereinstimmt.

...

- 10 -

Das vorgeschlagene Verfahren eignet sich deshalb besonders für Maschinen, deren Steuerungen eine Vorsteuereinrichtung 12 beinhalten. Da es Ziel der Vorsteuerung ist, Schleppfehler zu vermeiden, stimmen bei Steuerungen dieser Art Soll- und Istposition bei einer Kreisbewegung im allgemeinen überein.

Allerdings kann auch eine Vorsteuerung den dynamisch bedingten Schleppfehler zwar deutlich verringern, ihn aber nie ideal zu Null machen. Ferner sind Anwendungen denkbar, in denen eine Vorsteuerung nicht möglich oder unerwünscht ist.

Ein andere Möglichkeit, das Zuordnungsproblem zu lösen, besteht deshalb darin, den vorgeschlagenen Kreisformtest zunächst ohne Korrekturen auszuführen, die gewonnenen Ergebnisse dann aber unter nachträglicher mathematischer Berücksichtigung des Schleppabstandes auszuwerten. Ein Verfahren dieser Art ist in Figur 4 dargestellt. Zunächst, Schritt 21, durchfährt die NC-Maschine eine vorgegebene Sollkreisbahn R_{NC} . Sollpositionen w_{NC} und gemessene Istpositionen x_M werden achsweise abgespeichert, wobei Sollpositionen w_{NC} und gemessene Istpositionen x_M jeweils zu gleichen Zeiten erfaßt werden.

Aus den im ersten Schritt 21 abgespeicherten Positionswerten werden den Istpositionen x_M in Schritt 22 für zwei ein kartesisches Koordinatensystem aufspannende Achsen j neue korrigierte Lagesollwerte w_{NC} wie folgt zugeordnet :

(neu)

$$(1) w_{NCi} = R_{NC} \sqrt{(x_{M1} - x_{M2})^2} \cdot X_{Mj} \quad j = 1, 2$$

...

- 11 -

Mit den neuen Lagesollwerten w_{NC} wird im nächsten Schritt 23 für jede Istposition die zu einem Zeitpunkt t_1 tatsächlich an der NC-Maschine auftretende Bahnabweichung R , wie folgt bestimmt:

$$(2) \Delta R = \sqrt{(w_{NC1} - x_{M1})^2 + (w_{NC2} - x_{M2})^2}.$$

Zur besseren Veranschaulichung des Ergebnisses wird die nach Gleichung 2 gefundene Bahnabweichung wiederum zweckmäßig einem Referenzsignal R_{Ref} in Form eines Referenzkreises aufaddiert bzw. von diesem subtrahiert. In Schritt 24 werden deshalb z.B. durch interaktive Eingabe das Referenzsignal R_{Ref} sowie die gewünschte Darstellung im Innen- Außennormal festgelegt. Die zur punkweisen

Darstellung bezüglich eines kartesischen Koordinatensystems auf der Anzeige 70 benötigten Achskomponenten werden damit wie folgt berechnet:

$$(3) \text{ für das Innennormal: } x_{Dj} = x_{Mj} - (1 - R/R_{NC}) w_{NCj}; \quad j = 1, 2 \quad (neu)$$

$$(4) \text{ für das Außennormal: } x_{Dj} = (1 + R/R_{NC}) w_{NCj} - x_{Mj}; \quad j = 1, 2 \quad (neu)$$

Im nachfolgenden Schritt 25 erfolgt die Vergrößerung der gefundenen Bahnabweichungen ΔR . Dies geschieht durch Festlegen eines Skalierungsfaktors, wiederum z.B. interaktiv, zur Skalierung des der anschließenden Anzeige auf dem Bildschirm 70 zugrunde liegenden Koordinationsystems.

Anschließend wird mit den gemäß Gleichungen (3) oder (4) ermittelten Achskomponenten die Bahnabweichung ΔR auf der Anzeige 70 wie folgt dargestellt:

$$(5) \Delta R = \sqrt{x_{D1}^2 - x_{D2}^2} = (R_R \pm R_{NC} - R_{IST}) \quad (5)$$

...

- 12 -

wobei Minuszeichen für das Innennormal und Pluszeichen für das Außennormal gilt und

$$(6) \Delta R_{IST} = \sqrt{x_{M1}^2 - x_{M2}^2}$$

Das gesamte Diagnoseverfahren wird in der Diagnoseeinrichtung 20 durchgeführt, die sowohl in der numerischen Steuerung selbst wie auch in einem externen Gerät realisiert sein kann.

Durch den vorgeschlagenen Kreisformtest wird, mit Hilfe des ohnehin vorhandenen Wegmeßsystems die Arbeitsgenauigkeit der Servoregelkreise selbst geprüft. Nicht erfaßt werden solche mechanisch bedingten Ungenauigkeiten, die von der nicht zum Servoregelkreis gehörenden, externen Mechanik der Maschine, z. B. einer Werkzeughalterung, verursacht werden.

In Fällen, wo ein zusätzliches Interesse am Einfluß der außerhalb der Servoregelkreise 30, 40, 50 liegenden Mechanik 65 auf die Arbeitsgenauigkeit der Maschine besteht, ist es zweckmäßig, den erfindungsgemäß vorgeschlagenen Kreisformtest in Verbindung mit einem bekannten, mechanischen Kreisformtestverfahren, z.B. dem nach Knapp/Hrovat, durchzuführen. Letzterer schließt, wie in Figur 1 gezeigt, die externe Mechanik 65 mit ein. Durch einfachen Vergleich beider Testverfahren können deshalb Aussagen über die externe Mechanik gewonnen werden. Die Durchführung beider Kreisformtestverfahren erfolgt zweckmäßig nacheinander, zum Zwecke des Beispiels sei angenommen, daß zuerst ein Test nach dem erfindungsgemäßen Verfahren durchgeführt worden sei. Für das zweite Verfahren wird auf einem der Schlitten, in der Regel an der Spindel, der 2-D-Meßtaster befestigt. Anschließend führt die

...

- 13 -

Maschine wiederum dieselbe programmierte Kreisbahnbewegung R_{NC} aus, die sie schon im Rahmen des vorher durchgeführten erfindungsgemäßen Kreisformtests ausgeführt hat. Die Kreisbahn R_{NC} stimmt überein mit der Außenkontur des Kreisnormals 62. An dieser Außenkontur liegt während der Maschinenbewegung der Meßtaster 61 an, der sich somit auf einer durch das Kreisnormal 62 definierten Kreisbahn bewegt. Während der Maschinenbewegung erfaßt der 2-D-Taster die relativen Bewegungen zwischen Tastkopf 60 und Meßtaster 61 und setzt sie in ein Ausgangssignal um. Da der Tastkopf 60 entlang der Istbahn, der Meßtaster 61 entlang der Sollkreisbahn, dem Kreisnormal 62, geführt wird, entspricht dieses Ausgangssignal der Kreisabweichung R . ein Signal R_{KN} , welche in der Summierstelle 63 voneinander subtrahiert werden. ΔR wird wiederum zweckmäßig auf dem Bildschirm 70 dargestellt. Zum besseren Verständnis kann dem Signal ΔR wieder, wie schon in der Beschreibung des erfindungsgemäßen Kreisformtests vorgeschlagen, ein Referenzsignal R_{Ref} in Form einer Referenzkreisbahn hinzuaddiert bzw. von dieser subtrahiert werden.

Zweckmäßig erfolgt die Bedienung der Diagnoseeinheit 20 mittels eines softwaremäßig realisierten Diagnosemenüs, welches insbesondere das Einstellen neuer Sollradien z.B. R_{NC} , anderer Referenzradien z.B. R_{Ref} , anderer Vergrößerungsfaktoren sowie Änderung des Drehsinns der Kreisbewegung und Vorgabe neuer Kreisbahngeschwindigkeiten gestattet. Vorteilhaft ist ferner die Auswertung der mit dem Kreisformtest erhaltenen Ergebnisse softwaremäßig in der Diagnoseeinheit realisiert. Ausgewertet werden können z.B. die Kreisformabweichung, die Kreisabweichung, die Durchmesserabweichung sowie Umkehrspannen.

Ansprüche

1. Verfahren zur Überprüfung der Arbeitsgenauigkeit einer NC-Maschine durch Vergleich einer kreisförmigen Sollbahn mit einer die tatsächliche Maschinenbewegung beschreibenden Ist-Kreisbahn für eine wenigstens zweiachsige NC-Maschine mit wenigstens zwei, jeweils einen Achsantrieb zur Führung eines Schlittens gemäß einem die Sollbewegungsbahn beschreibenden Lage-Führungssignals, sowie ein Wegmeßsystem zur Erfassung und Rückführung der Position des Schlittens aufweisenden Servoregelkreisen, dadurch gekennzeichnet, daß die Ist-Kreisbahn R_M aus den vom Wegmeßsystem (33, 43) gelieferten Positionssignalen (x_M) gebildet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jedes von dem Wegmeßsystem (33, 43) gemessene Positionssignal (x_M) verglichen wird mit dem zugehörigen Lage-Führungssignal (w_{NC}).
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß in einem ersten Schritt (21) die zu gleichen Zeitpunkten (t_1) gegebenen Werte für die Sollposition und für die vom Wegmeßsystem gemessene Istposition (x_M) erfaßt werden, und daß in einem zweiten Schritt (22) aus diesen Werten die die Istposition bestimmenden Sollpositionen ermittelt werden.

...

- 15 -

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Lage-Führungssignal ($\vec{w}_{NC}$) für die Servoregelkreise (30, 40, 50) geschwindigkeitsvorgesteuert wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Lage-Führungssignal ($\vec{w}_{NC}$) zusätzlich beschleunigungsvorgesteuert wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal (x_M) des Wegmeßsystems (33, 43) vom Ausgangssignal (w_{NC}) des Interpolators (10) subtrahiert wird, das Ergebnis anschließend von einem Referenzsignal (R_{Ref}) subtrahiert und auf einem Bildschirm (70) zur Anzeige gebracht wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal (x_M) des Wegmeßsystems (33, 43) vom Ausgangssignal (w_{NC}) des Interpolators (10) subtrahiert wird, das Ergebnis anschließend einem Referenzsignal (R_{Ref}) aufaddiert und auf einem Bildschirm (70) zur Anzeige gebracht wird.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Referenzsignal (R_{Ref}) eine Kreisbahn mit vorgebbarem Radius ist.

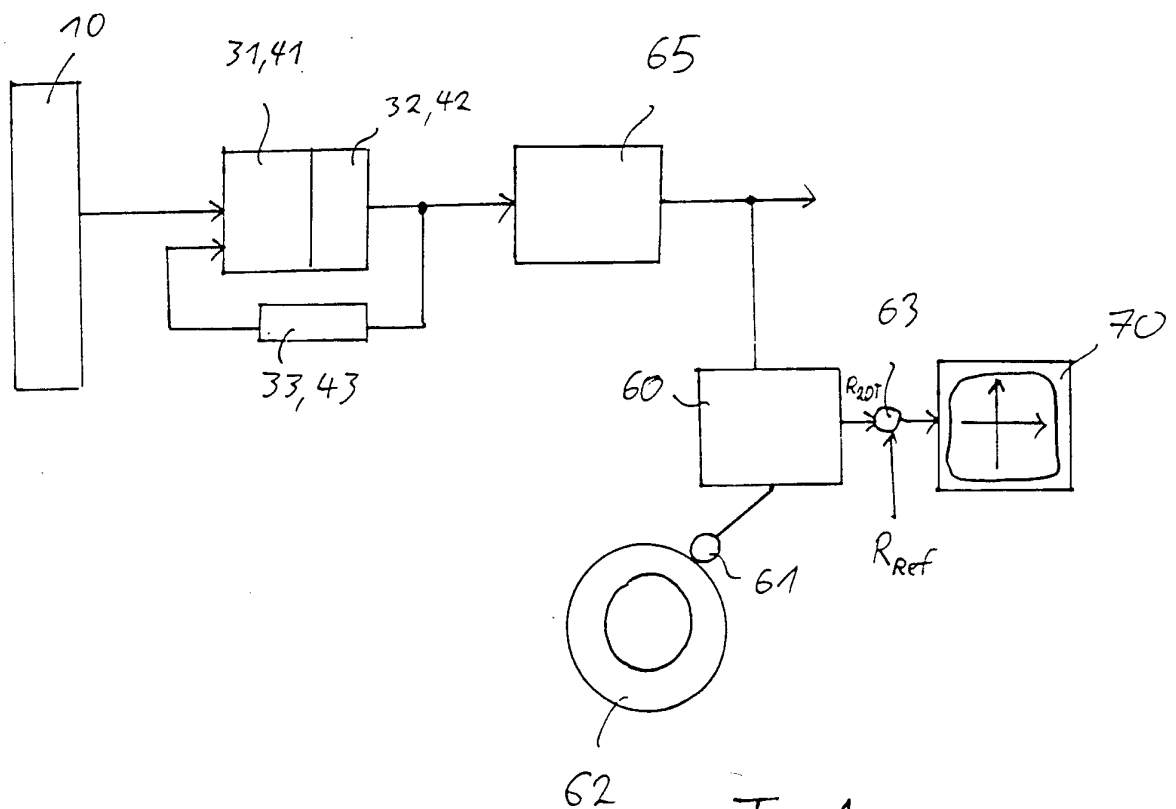
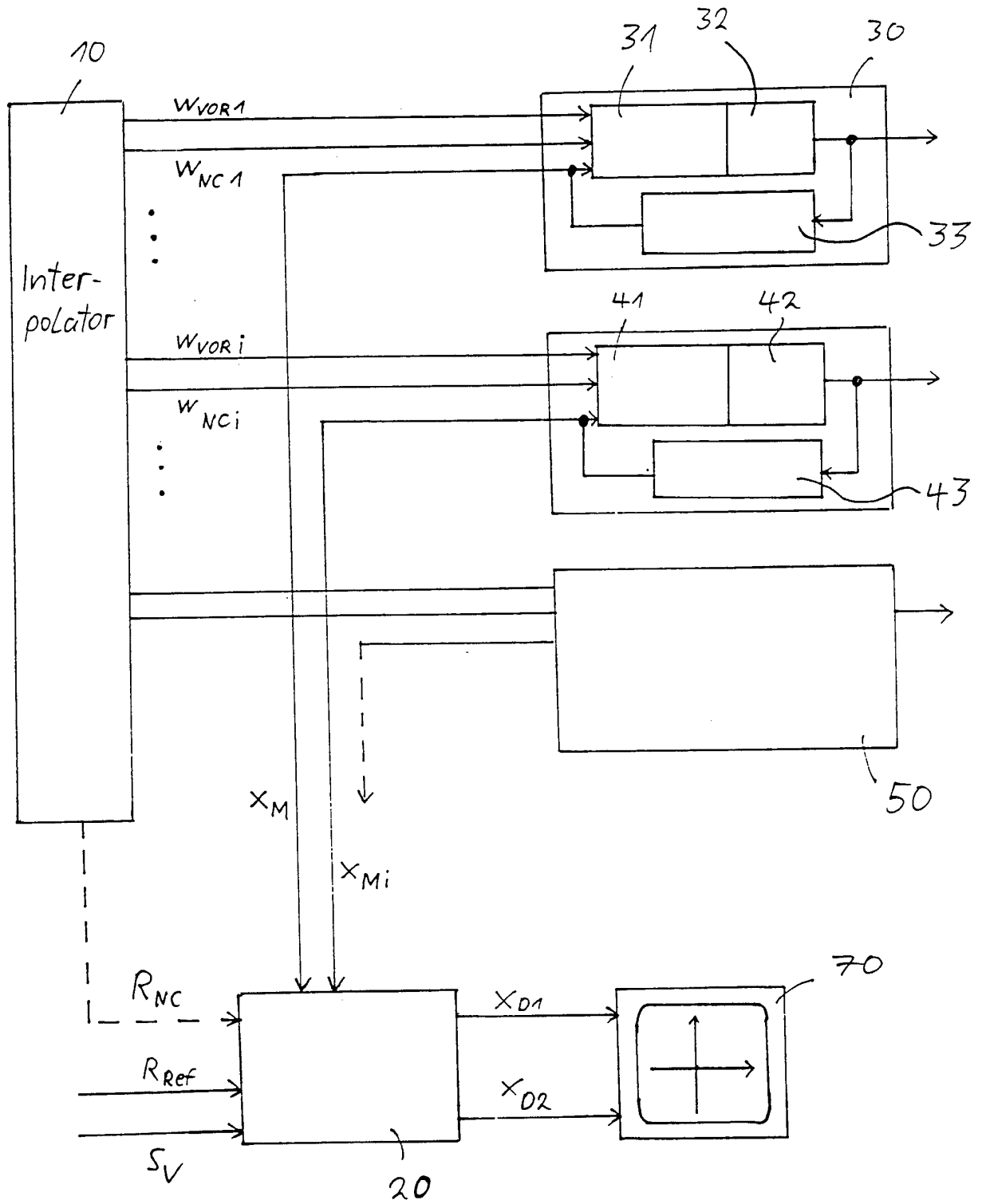
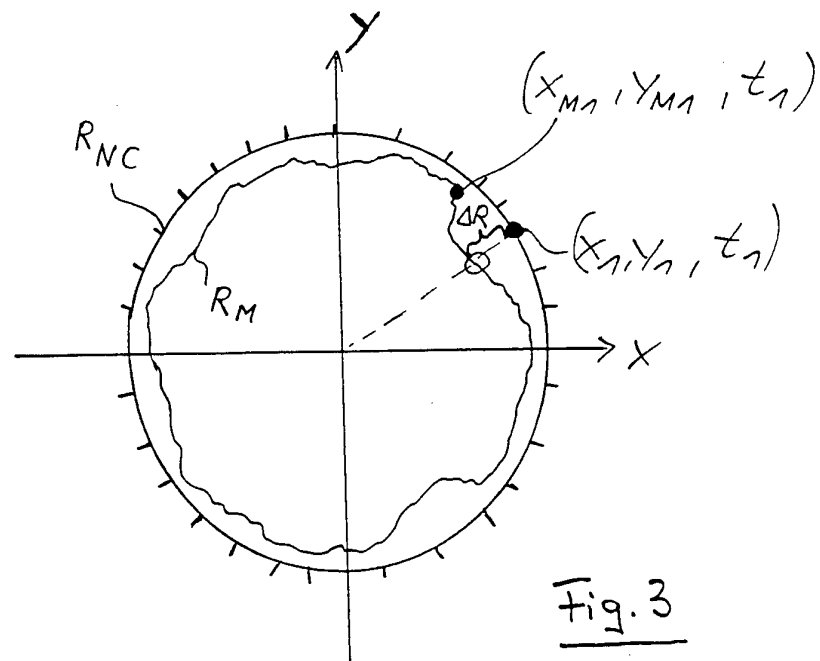
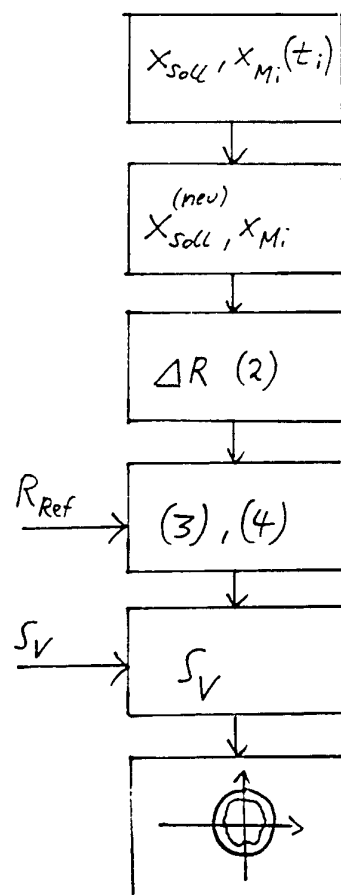
Fig. 1

Fig. 2



3 / 3

Fig. 3Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PC1/DE 93/00841

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 5 G05B19/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 5 G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO,A,92 09021 (FANUC LTD.) 29 May 1992 see abstract; figure 3	1-3,6-8
Y	& EP,A,0 510 204 (FANUC LTD.) 28 October 1992 see the whole document	4,5
Y	EP,A,0 000 261 (IBM CORP.) 10 January 1979 see page 6 - page 7; figure 1	4,5
A	DE,A,40 21 603 (TOSHIBA KIKAI K.K.) 7 February 1991 see the whole document	1-8
A	EP,A,0 429 857 (DR. W. KNAPP) 5 June 1991 see abstract; figures 1,8	1-8
	--- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 December 1993

Date of mailing of the international search report

21.01.94

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+ 31-70) 340-3016

Authorized officer

Moyle, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PC1/DE 93/00841

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP,A,0 258 471 (DR. Y. KAKINO) 9 March 1988 see claims 1-3; figures 1-3,8 -----	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 93/00841

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO-A-9209021	29-05-92	JP-A- 4177408 EP-A- 0510204	24-06-92 28-10-92
EP-A-0510204	28-10-92	JP-A- 4177408 WO-A- 9209021	24-06-92 29-05-92
EP-A-0000261	10-01-79	US-A- 4200827 AU-B- 511484 AU-A- 3483578 CA-A- 1100609 JP-A- 54012082	29-04-80 21-08-80 11-10-79 05-05-81 29-01-79
DE-A-4021603	07-02-91	JP-A- 3040004 US-A- 5189627	20-02-91 23-02-93
EP-A-0429857	05-06-91	NONE	
EP-A-0258471	09-03-88	JP-A- 61209857	18-09-86

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE 93/00841

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES IPK 5 G05B19/18		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 5 G05B		
Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO,A,92 09021 (FANUC LTD.) 29. Mai 1992 siehe Zusammenfassung; Abbildung 3	1-3,6-8
Y	& EP,A,0 510 204 (FANUC LTD.) 28. Oktober 1992 siehe das ganze Dokument	4,5
Y	EP,A,0 000 261 (IBM CORP.) 10. Januar 1979 siehe Seite 6 - Seite 7; Abbildung 1	4,5
A	DE,A,40 21 603 (TOSHIBA KIKAI K.K.) 7. Februar 1991 siehe das ganze Dokument	1-8
A	EP,A,0 429 857 (DR. W. KNAPP) 5. Juni 1991 siehe Zusammenfassung; Abbildungen 1,8	1-8
-/--		
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 23. Dezember 1993		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 21.01.94
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+ 31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Moyle, J

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 93/00841

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ^o	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP,A,0 258 471 (DR. Y. KAKINO) 9. März 1988 siehe Ansprüche 1-3; Abbildungen 1-3,8 -----	1-8

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 93/00841

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO-A-9209021	29-05-92	JP-A- 4177408 EP-A- 0510204	24-06-92 28-10-92
EP-A-0510204	28-10-92	JP-A- 4177408 WO-A- 9209021	24-06-92 29-05-92
EP-A-0000261	10-01-79	US-A- 4200827 AU-B- 511484 AU-A- 3483578 CA-A- 1100609 JP-A- 54012082	29-04-80 21-08-80 11-10-79 05-05-81 29-01-79
DE-A-4021603	07-02-91	JP-A- 3040004 US-A- 5189627	20-02-91 23-02-93
EP-A-0429857	05-06-91	KEINE	
EP-A-0258471	09-03-88	JP-A- 61209857	18-09-86