(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 28 854 T2** 2005.04.21

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 862 963 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 28 854.4**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP97/02532**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 930 866.5**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 98/003294**
(86) PCT-Anmeldetag: **22.07.1997**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **29.01.1998**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **09.09.1998**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **28.04.2004**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **21.04.2005**

(51) Int Cl.[7]: **B23K 9/095**
B23K 9/127

(30) Unionspriorität:
20764196 19.07.1996 JP

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE

(73) Patentinhaber:
Fanuc Ltd., Yamanashi, JP

(74) Vertreter:
Haseltine Lake Partners GbR, 81669 München

(72) Erfinder:
TERADA, Akihiro, Yamanashi 403, JP; OKUDA, Mitsuhiro, Minamitsuru-gun, Yamanashi 401-05, JP

(54) Bezeichnung: **STEUERVERFAHREN EINES SCHWEISSROBOTERS**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Steuer-Verfahren zum Steuern ein Schweiß-Roboters, insbesondere auf ein Steuer-Verfahren, das in der Lage ist, einen Bewegungsweg genau zu definieren, wenn der Schweiß-Roboter zum Durchführen einer Echtzeit-Spurverfolgung, die einen Laser-Sensor benutzt, einen Heftschweiß-Teil durchläuft.

[0002] Weiterhin ist eine Roboterbewegungsweg-Steuertechnik als eine Echtzeit-Spurverfolgungstechnik bekannt, die einen Laser-Sensor benutzt, wobei der Roboterbewegungsweg durch Korrigieren eines eingelernten Wegs in Übereinstimmung mit Erfassungsergebnissen des Laser-Sensors, der auf einem Roboter zum Vorab-Abtasten des davor liegenden Bereichs in der Vorbewegungsrichtung des Roboters von Augenblick zu Augenblick während eines Wiedergabevorgangs montiert ist, gesteuert wird.

[0003] Die Echtzeit-Spurverfolgungstechnik, die den Laser-Sensor benutzt, ermöglicht es dem Roboter, selbst in dem Fall einen genauen Bewegungsweg zu verfolgen, in dem einzelne Werkstücke ungenau positioniert sind, und stellt ein äusserst nützliches technisches Mittel für Industrie-Roboter zum Durchführen einer Vielfalt von Aufgaben zur Verfügung.

[0004] Eine solche Technik ist aus der Druckschrift JP-8039470 bekannt.

[0005] Wenn diese Technik jedoch auf einen Schweiß-Roboter zum Lichtbogen-Schweißen angewendet wird, tritt ein Problem bezüglich der Frage auf, wie mit einem sog. heftgeschweißten Teil umzugehen ist. **Fig.** 1, **Fig.** 2a u. **Fig.** 2b veranschaulichen dieses Problem, wobei **Fig.** 1 ein außeres Erscheinungsbild einer Hohlkehlen-Schweißverbindung zeigt, die heftgeschweißte Teile hat, **Fig.** 2a eine Schnittansicht darstellt, die eine Position eines durch einen Laser-Sensor erfassten Punkts auf einer Schweißecklinie der Hohlkehlen-Schweißverbindung in einem Abschnitt ohne heftgeschweißten Teil zeigt, wie er in in **Fig.** 1 gezeigt ist, und **Fig.** 2b eine Schnittansicht darstellt, die eine Position eines durch den Laser-Sensor erfassten Punkts auf der Schweißecklinie in einem Abschnitt mit dem heftgeschweißten Teil zeigt. Es angemerkt, dass ein Ausdruck "Referenz-Schweißlinie", der in der folgenden Beschreibung benutzt wird, eine Linie bezeichnet, die Referenz-Punkts verbindet, bei denen das Schweißen beabsichtigt ist (jeder Referenz-Punkt ist ein Punkt, an den ein körperfernes Ende eines Schweißdrahts zu bringen ist).

[0006] In **Fig.** 1, **Fig.** 2a u. **Fig.** 2b repräsentieren die Bezugszeichen W1 u. W2 zwei plattenartige Werkstücke, die eine Verbindung bilden, und das Schweißen wird auf einer Ecklinie durchgeführt, die zwischen den zwei Werkstücken W1 u. W2 gebildet ist. Punkte P_1, P_2, ... P_6 repräsentieren Schweißabschnitte, wobei P_1 ein Schweißstartpunkt (nahe einem eingelernten Punkt T_1) ist und P_6 ein Schweißendpunkt (nahe einem eingelernten Punkt T_2) ist. In diesem Beispiel bildet eine Schweiß-Referenzlinie WL einen im wesentlichen geraden Weg (nicht notwendigerweise gerade im strengen Sinne), der durch $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow ... \rightarrow P_6$ angegeben ist.

[0007] Ein Weg einer Bewegung des körperfernen Endpunkts eines Werkzeugs des Schweiß-Roboters soll mit der Schweiß-Referenzlinie WL (keine Verschiebung zur Justierung) oder einer Linie zusammenfallen, die durch Verschieben der Referenz-Schweißlinie um einen vorbestimmten Betrag zur Justierung gewonnen ist (z. B. ein Weg, der um 2 mm in vertikaler oder horizontaler Richtung von der Ecklinie entfernt ist).

[0008] In dem Fall, in dem einige heftgeschweißte Teile, wie A1 u. A2 in **Fig.** 1, längs der Schweiß-Referenzlinie WL vorhanden sind, ist die Ecklinie (die Schweiß-Referenzlinie WL) jedoch in einem Abschnitt P_2–P_3 und einem Abschnitt P_4–P_5 durch die Heftschweißstellen bedeckt und verborgen, und demzufolge kann die Position der Schweiß-Referenzlinie WL nicht durch den Laser-Sensor erfasst werden, was es schwierig macht, den gewünschten Weg wie zuvor erwähnt zu definieren.

[0009] In anderen Worten ausgedrückt heißt dies, dass wenn die Ecklinie querlaufend mit einem Laserstrahl LB von dem Laser-Sensor LS (mit einem Ablenkungsbereich SC) abgetastet wird, um auf diese Weise die Position der Ecklinie (die Position der Schweiß-Referenzlinie WL) zu erfassen, wie dies in **Fig.** 2a gezeigt ist, ein erfasster Punkt SA auf der Ecklinie in den Abschnitten (P_1–P_2, P_3–P_4, P_5–P_6) gewonnen werden kann, in denen kein heftgeschweißter Teil vorhanden ist. In den Abschnitten P_2–P_3, P_4–P_5) jedoch, in denen die heftgeschweißten Teile vorhanden sind, wird der erfasste Punkt SA nahe einem Rand des heftgeschweißten Teils A gewonnen und weicht demzufolge von der Position der Ecklinie (der Schweiß-Referenzlinie WL) ab, wie dies in **Fig.** 2b gezeigt ist. Dies verursacht, dass der Roboterweg seitlich abgelenkt wird und von dem zuvor erwähnten gewünschten Weg abweicht.

[0010] Ferner wird abhängig von the Form oder Größe des heftgeschweißten Teils A kein erfasster Punkt gefunden (Erfassungsfehler) oder die Position des erfassten Punkts ist gestört (falsche Erfassung). Wenn ein solcher Erfassungsfehler oder eine solche falsche Erfassung während eines gegenwärtigen Schweißvorgangs auftritt, kommt der Roboter vom richtigen Weg ab oder stoppt plötzlich in der Nähe des heftgeschweißten Teils, um den Schweißvor-

gang zu behindern.

[0011] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, die zuvor erwähnten Probleme zu lösen, mit denen das herkömmliche System konfrontiert wird, wenn ein heftgeschweißter Teil auf einem Schweißweg vorhanden ist. Das heißt, dass die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin besteht, ein Steuer-System und ein Verfahren zum Steuern eines Lichtbogenschweiß-Roboter zu schaffen, der eine Echtzeit-Spurverfolgungsfunktion mittels eines Laser-Sensors hat, wobei ein Bewegungsweg selbst dann genau definiert werden kann, wenn der Laser-Sensor einen heftgeschweißten Teil auf dem Schweißweg durchläuft. Mit der vorliegenden Erfindung ist daher beabsichtigt, den Bereich der Anwendbarkeit der Echtzeit-Spurverfolgungsfunktion, die den Laser-Sensor benutzt, zu vergrößern und die Leistungsfähigkeit und Qualität des Schweißbetriebs des Lichtbogenschweiß-Roboters zu steigern.

[0012] Ein Schweißroboter-Steuerverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung ist dazu bestimmt, einen Schweiß-Roboter zum Durchführen eines Lichtbogenschweißens durch Bewegen eines auf einem Roboter montierten Schweißbrenners längs einer Schweiß-Referenzlinie zu steuern.

[0013] Gemäß der Erfindung ist ein Verfahren für einen Schweiß-Roboter vorgesehen, wie es in dem vorliegenden Anspruch 1 angegeben ist.

[0014] Ein System, das in einem Ausführungsbeispiel der Erfindung benutzt werden kann, umfasst einen Laser-Sensor, der auf dem Roboter zum wiederholten Erfassen eines charakteristischen Punkts auf einer Verbindungsform zwischen Werkstücken durch Querabtastung eines Bereichs in einer Vorbewegungsrichtung des Schweiß-Roboter mit einem Laserstrahl montiert ist, und ein Genauigkeits-Bestimmungsmittel zum Bestimmen, ob der erfasste charakteristische Punkt als ein Punkt, der eine Position auf der Schweiß-Referenzlinie repräsentiert, genau oder ungenau ist, wenn der charakteristische Punkt durch den Laser-Sensor erfasst ist. Ein Zusammentreffen mit und eine Abweichung von einem heftgeschweißten Teil wird durch das Genauigkeits-Bestimmungsmittel auf Echtzeitbasis bestimmt.

[0015] Das System umfasst ferner ein erstes Speichermittel zum Speichern von Daten, welche die Position des erfassten Punkts als Daten eines Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkts darstellen, wenn der erfasste charakteristische Punkt durch das Genauigkeits-Bestimmungsmittel als genau bestimmt ist, ein Ersatz-Erfassungspunkt-Bestimmungsmittel zum Bestimmen eines Ersatz-Erfassungspunkts, der für den erfassten charakteristischen Punkt einzusetzen ist, wenn durch das Genauigkeits-Bestimmungsmittel bestimmt ist, dass der erfasste charakteristische Punkt ungenau ist und wenn der charakteristische Punkt nicht durch den Laser-Sensor erfasst ist, und ein zweites Speichermittel zum Speichern von Daten, die eine Position des Ersatz-Erfassungspunkts als Daten des Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkts repräsentieren.

[0016] Mit der zuvor angegebenen Anordnung werden die Daten des Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkts, der die Schweiß-Referenzlinie genau repräsentiert, vor einer Roboterbewegung in einem Bewegungsabschnitt mit keinem heftgeschweißten Teil und auch in einem Bewegungsabschnitt mit einem heftgeschweißten Teil gespeichert.

[0017] In dem System können die Zielpunkte der Bewegung beim Spurverfolgen der Reihe nach durch Behandeln der Daten der Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte als die Daten der erfassten Punkte in gewöhnlicher Echtzeit derart bestimmt werden, dass sie mit einem gewünschten Bewegungsweg in einem Abschnitt mit einem heftgeschweißten Teil und auch in einem Abschnitt mit keinem heftgeschweißten Teil übereinstimmen.

[0018] Es ist vorzuziehen, dass das Genauigkeitsbestimmungsmittel ein Mittel zum Gewinnen eines Abweichungs-Indexwerts, der eine Größe der Abweichung des erfassten charakteristischen Punkts von der Position der Schweiß-Referenzlinie repräsentiert, auf der Grundlage der Daten der Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte, die in jüngster Vergangenheit in den ersten und zweiten Speichermitteln gespeichert sind, und der Daten, welche die Position des erfassten charakteristischen Punkts repräsentieren, und ein Mittel zum Vergleichen des Abweichungs-Indexwerts mit einem Referenzwert umfasst.

[0019] Es ist vorzuziehen, dass das Ersatz-Erfassungspunkt-Bestimmungsmittel ein Mittel zum Bestimmen des Ersatz-Erfassungspunkts auf einer Verlängerungslinie der Schweiß-Referenzlinie enthält, die durch die Daten der Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte repräsentiert sind, die in jüngster Vergangenheit gespeichert sind. In diesem Fall ist es richtig, dass die Verlängerungslinie der Schweiß-Referenzlinie abhängig davon, ob sich der eingelernte Weg auf einer geraden Linie oder einem Kreisbogen erstreckt, als eine gerade Linie oder ein Kreisbogen definiert ist.

[0020] Fig. 1 zeigt eine perspektivische Ansicht einer Hohlkehlen-Schweißverbindung, die heftgeschweißte Teile hat.

[0021] Fig. 2a zeigt eine Schnittansicht, die eine Position eines Punkts darstellt, der durch einen Laser-Sensor auf einer Schweißecklinie der Hohlkehlen-Schweißverbindung in einem Abschnitt erfasst ist, in dem kein heftgeschweißter Teil vorhanden ist,

wie er in **Fig.** 1 gezeigt ist.

[0022] **Fig.** 2b zeigt eine Schnittansicht, die eine Position eines Punkts darstellt, der durch den Laser-Sensor auf der Schweißecklinie in einem Abschnitt erfasst ist, in dem ein heftgeschweißter Teil vorhanden ist.

[0023] **Fig.** 3 zeigt ein Blockschaltbild, das einen Hauptteil eines Laser-Sensor darstellt, der in einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung benutzt werden kann.

[0024] **Fig.** 4 zeigt eine Darstellung des Prinzips zum Gewinnen von Koordinaten einer Position eines Objekts relativ zu dem Sensor gemäß **Fig.** 3 auf der Grundlage einer Position, die durch durch eine lichtempfangende Einrichtung erfasst ist.

[0025] **Fig.** 5 zeigt ein Blockschaltbild, das einen Hauptteil eines Systems darstellt, das in einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung benutzt wird.

[0026] **Fig.** 6 zeigt eine vergrößerte perspektivische Ansicht, die einen Zustand darstellt, in dem sich ein Schweiß-Roboter einem heftgeschweißten Teil A1 der Hohlkehlen-Schweißverbindung nähert, die in **Fig.** 1 gezeigt ist.

[0027] **Fig.** 7 zeigt eine Darstellung einer Art und Weise zum Bestimmen eines Zielpunkts der Bewegung eines Werkzeugmittelpunkts (TCP) des Roboters in Übereinstimmung mit dem Ausführungsbeispiel gemäß **Fig.** 5.

[0028] **Fig.** 8 zeigt ein Flussdiagramm, das einen Überblick über einen Prozess zum Erzeugen repräsentativer Punkte für eine Schweiß-Referenzlinie und zum Erzeugen von Roboterpositions-Korrekturdaten auf der Grundlage der repräsentativen Punkte darstellt.

[0029] **Fig.** 9 zeigt ein Flussdiagramm, das einen Überblick über einen Prozess zum Bewegen des Roboter darstellt, der die Daten benutzt, die durch den Prozess erzeugt sind, der in **Fig.** 8 gezeigt ist.

[0030] Zunächst wird Laser-Sensor erklärt, der in einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung verwendbar ist. Da die allgemeine Anordnung und Funktion des Laser-Sensors bereits beim Stand der Technik bekannt sind, wird im folgenden nur ein Überblick über dieselben beschrieben.

[0031] **Fig.** 3 zeigt durch ein Blockschaltbild beispielhaft eine Anordnung eines Hauptteils eines Laser-Sensors, der in einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung verwendbar ist. In der Figur bezeichnet das Bezugszeichen **10** allgemein einen Erfassungsabschnitt, der einen Laseroszillator **11**, einen Schwingspiegel (Galvanometer) **12** zum Ausführen einer Laserstrahl-Abtastung und ein optisches System **13** zum Empfangen reflektierten Lichts und Erzeugen eines Bildes auf einem lichtempfangenden Element **14** umfasst.

[0032] Ein Steuerabschnitt **20**, der eine Sensoreinheit bildet, umfasst eine CPU **21** in Form eines Mikroprozessors, mit dem eine Eingabe/Ausgabe-Einrichtung **28** und ein Speicher **25** in Form eines ROM und eines RAM über einen Bus **29** verbunden sind. Mit der Eingabe/Ausgabe-Einrichtung **28** sind ein Laser-Treiberabschnitt **22** zum Treiben des Laseroszillators **11** zum Erzeugen ein Laserstrahls, ein Spiegel-Abtastabschnitt **23** zum Schwingenlassen des Schwingspiegels **12** und ein Signalerfassungsabschnitt **24** zur Positionserfassung auf der Grundlage einer Lichtempfangsposition in der lichtempfangenden Einrichtung **14** verbunden. Die Eingabe/Ausgabe-Einrichtung **28** ist außerdem über eine Leitung zum Austauschen verschiedener Befehle und Daten mit einer Roboter-Steuereinrichtung **40** (s. **Fig.** 5) verbunden.

[0033] Auf das Empfangen eines Laser-Sensor-Startbefehls von der Roboter-Steuereinrichtung **40** hin wird ein Laser-Sensor-Treiberprogramm, das in dem Speicher **25** gespeichert ist, gestartet, und die CPU **21** sendet einen Laser-Treiberbefehl an den Laser-Treiberabschnitt **22**, so dass der Laseroszillator **11** getrieben wird, um einen Laserstrahl zu erzeugen, und sendet außerdem einen Spiegel-Abtastbefehl an den Spiegel-Abtastabschnitt **23**, um den Schwingspiegel **12** zu veranlassen, weine Schwingbewegung auszuführen, wodurch der Laserstrahl, der durch den Laseroszillator **11** erzeugt wird, zum Abtasten auf ein Objekt W projiziert wird.

[0034] Der Laserstrahl, der einer diffusen Reflexion auf dem Objekt W unterzogen worden ist, erzeugt mit Hilfe des optischen Systems **13** ein Bild, das von der Position der Reflexion auf dem Objekt abhängt, in der lichtempfangenden Einrichtung **14**. Für die lichtempfangende Einrichtung kann eine CCD (Charge Coupled Device), die eine Einrichtung des Schichttyps ist, oder ein PSD (Position Sensitive Detector), die eine Einrichtung des Nichtschicht-Integrationstyps ist, und dgl. benutzt werden.

[0035] In diesem Ausführungsbeispiel wird eine eindimensionale CCD-Anordnung des Laser-Sensors als die lichtempfangende Einrichtung **14** benutzt. Das Licht (Bild des reflektierten Lichts), das auf die lichtempfangende Oberfläche der lichtempfangenden Einrichtung **14** fällt, wird in Photoelektronen umgewandelt und in deren Zellen gespeichert. In Reaktion auf ein CCD-Abtastsignal aus dem Signalerfassungsabschnitt **24** werden die Ladungen, die in den Zellen gespeichert sind, sequentiell von einem Ende

der Anordnung mit einer vorbestimmten Periode ausgegeben und durch den Signalerfassungsabschnitt **24** und die Eingabe/Ausgabe-Einrichtung **28** einer Verarbeitung, einer A/D-Wandlung und dgl. unterzogen, so dass die aktualisierten Daten in dem Speicher **25** gespeichert werden.

[0036] Die Abtastperiode der CCD wird auf eine Periode gesetzt, die ausreichend kürzer als diejenige des Schwingspiegel **12** ist (z. B. 1/mehrere Hundert), und eine Änderung des Winkels des Schwingspiegels **12** und eine Änderung des Ausgabezustands der CCD sind zur jeder gewünschten Zeit erkennbar. Der Ausgabezustand der CCD wird als die Position einer Zelle (Zellnummer) erkannt, die von allen das größte Ausgangssignal ausgibt, und auf diese Weise wird die Position einer Zelle erfasst, auf welche das reflektierte Licht fällt. Auf der Grundlage dieser Position wird die Position des Objekts W relativ zu dem Sensor ist berechnet.

[0037] **Fig.** 4 zeigt eine Darstellung, die das Prinzip zum Gewinnen der Koordinaten (X, Y) der Position des Objekts W relativ zu dem Sensor auf der Grundlage einer Position xa, die durch die lichtempfangende Einrichtung **14** erfasst ist, veranschaulicht. Hierbei sei angenommen, dass sich ein Sensor-Nullpunkt (0, 0) auf einer Linie befindet, die das Zentrum des optischen Systems und den Mittelpunkt der lichtempfangenden Einrichtung **14** verbindet. Es sei außerdem angenommen, dass die Y-Achse mit der Linie zusammenfällt, die das Zentrum des optischen Systems und den Mittelpunkt der lichtempfangenden Einrichtung **14** verbindet, und dass sich die X-Achse senkrecht zu der Y-Achse erstreckt.

[0038] Die Distanz von dem Nullpunkt zu dem Zentrum des optischen Systems ist L1, die Distanz von dem Zentrum des optischen Systems zu dem Mittelpunkt der lichtempfangenden Einrichtung **14** ist L2, die Distanz von dem Sensor-Nullpunkt zu dem Zentrum einer Taumelbewegung des Schwingspiegels **12** in X-Achsenrichtung ist D, die Distanz von dem Sensor-Nullpunkt zu dem Zentrum der Taumelbewegung des Schwingspiegels längs der Y-Achse ist L0, der Winkel zwischen dem reflektierten Licht des Laserstrahls, das durch den Schwingspiegel **12** reflektiert wird, und der Y-Achse ist θ, und die Position des Lichtempfangs auf der lichtempfangenden Einrichtung **14** ist xa. Unter diesen Bedingungen können Koordinaten (X, Y) der Position, in welcher der Laserstrahl auf das Objekt fällt und reflektiert wird, durch Berechnung in Übereinstimmung mit den folgenden Gleichungen gewonnen werden:

$$X = xa\cdot[(L1 - L0))\cdot\tan\theta + D]/(xa + L2\cdot\tan\theta) \quad (1)$$

$$Y = [L1\cdot xa + L2\cdot(L0\cdot\tan\theta - D)]/(xa + L2 - \tan\theta) \quad (2)$$

[0039] Im folgenden wird unter Bezugnahme auf **Fig.** 5 eine Anordnung eines vollständigen Systems beschrieben, das eine Roboter-Steuereinrichtung enthält, die in dem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung benutzt wird. Gemäß der Figur enthält die Roboter Steuereinrichtung, die allgemein mit **40** bezeichnet ist, einen Mikroprozessor **41** (im folgenden als CPU bezeichnet) als eine zentrale Verarbeitungseinheit zum Steuern des gesamten Systems. Die CPU **41** ist über eine Busleitung BL mit einem Speicher **42** in Form eines ROM, einem Speicher **43** in Form eines RAM, einem nichtflüchtigen Speicher **44**, einer Einlernbetriebs-Schalttafel **46**, die mit einer Flüssigkristallanzeige **45** ausgestattet ist, einer digitalen Servoschaltung **47**, die über einen Servoverstärker **48** mit einem Schweiß-Robotermechanismus RB verbunden ist, und einer Allzweck-Schnittstelle **49**, die sowohl mit dem Steuerabschnitt **20** des Laser-Sensors (s. **Fig.** 3) als auch mit einem Schweiß-Stromversorgungsabschnitt **30** verbunden ist, verbunden.

[0040] Der ROM **42** speichert verschiedene Systemprogramme, die durch die CPU **41** zum Steuern eines Roboterkörpers **1**, des Laser-Sensor-Steuerabschnitts **20**, des Schweiß-Stromversorgungsabschnitts **30** und der Roboter-Steuereinrichtung **40** selbst auszuführen sind. Der RAM **43** ist ein Speicher zum vorübergehenden Speichern von Daten für Berechnungen. In diesem RAM **43** werden auch Pufferspeicher 1 u. 2, die später erwähnt werden, gesetzt. Der nichtflüchtige Speicher **44** speichert gesetzte Werte verschiedener Parameter und Roboter-Bewegungsprogramme.

[0041] Im folgenden werden eine Prozedur und eine Verarbeitung für das Hohlkehlenschweißen, das in **Fig.** 1 gezeigt ist, durch das zuvor erwähnte System unter Bezugnahme auf **Fig.** 6 und die nachfolgenden Figuren beschrieben.

[0042] **Fig.** 6 zeigt eine vergrößerte perspektivische Ansicht, die einen Zustand darstellt, in dem sich der Schweiß-Roboter dem heftgeschweißten Teil A1 in dem Fall. der in **Fig.** 1 gezeigt ist, nähert. Zum Zecke der Veranschaulichung ist die Distanz zwischen einem körperfernen Ende eines Roboterarms und dem Endpunkt des Werkzeugs (dem körperfernen Ende des Schweißdrahts) übertrieben dargestellt. Außerdem werden in dieser Figur identische Bezugszeichen benutzt, um solche Elemente zu bezeichnen, die in **Fig.** 1 bis **Fig.** 5 gezeigt sind.

[0043] Wie in **Fig.** 6 gezeigt sind ein Lichtbogen-Schweißbrenner **2** und der Laser-Sensor LS auf einem körperfernen Ende eines Roboterarms des Schweiß-Roboters montiert. Von dem körperfernen Ende des Schweißbrenners **2** wird bei einer vorbestimmten Geschwindigkeit ein Schweißdraht **3** ausgestoßen. Der körperferne Endpunkt **4** eines Werkzeugs wird derart eingestellt, dass er mit einer ange-

strebten Position eines körperfernen Endes des Schweißdrahts **3** zusammenfällt. Der körperferne Endpunkt **4** wird bei einem Vorderende eines ausgebildeten Wulstes B und unmittelbar vor dem heftgeschweißten Teil A1 positioniert. Außerdem wird der körperferne Endpunkt **4** des Werkzeugs auf der Schweiß-Referenzlinie ($P_1 \rightarrow P_2 \ldots \rightarrow P_6$ (s. **Fig.** 1) längs der Ecklinie, die zwischen den überlappten Werkstücken gebildet ist, angeordnet. Der Punkt P_2 ist ein Punkt, bei dem die Schweiß-Referenzlinie mit einem Anfang des heftgeschweißten Teils A1 zusammentrifft, und der Punkt P_3 ist ein Punkt, bei dem die Schweiß-Referenzlinie mit einem Ende des heftgeschweißten Teils A1 zusammentrifft.

[0044] Wenn sich der Schweiß-Roboter bis zu der Position vorbewegt hat, die in in dieser Figur veranschaulicht ist, bildet der Laserstrahl, der von dem Laser-Sensor LS mit dem Ablenkungsbereich SC projiziert wird, eine helle Linie **5** über dem heftgeschweißten Teil A1. Die Bezugszeichen **51** u. **52** bezeichnen die sich gegenüberliegenden Enden der hellen Linie **5**. Ein Punkt SA, der auf der Grundlage der hellen Linie **5** erfasst wird, ist bei einem Punkt angeordnet, wo die helle Linie **5** die Grenze zwischen einem seitlichen Rand des heftgeschweißten Teils A1 und einer Oberfläche des Werkstücks W1 überquert, wie dies unter Bezugnahme auf **Fig.** 2a u. **Fig.** 2b erklärt ist.

[0045] Abhängig von der Situation kann der erfasste Punkt SA jedoch auf der gewölbten Oberfläche des heftgeschweißten Teils A1 verschoben sein, oder der erfasste Punkt SA kann nicht gefunden werden (unerfassbar sein). In jedem Fall kann ein Punkt Q auf der Schweiß-Referenzlinie, der erfasst werden sollte, wenn der heftgeschweißte Teil A1 nicht vorhanden wäre, schwerlich in der Praxis erfasst werden.

[0046] Demzufolge wird, wenn die Spurverfolgungs-Steuerung in einer Weise durchgeführt wird, dass ein Zielpunkt der Bewegung des TPC **4** des Roboters auf der Grundlage des erfassten Punkts SA bestimmt wird, wie dies veranschaulicht ist, der Roboter veranlasst, eine derartige Bewegung auszuführen, dass sich der TCP **4** nicht von dem Punkt P_2 in Richtung auf den Punkt Q, sondern in Richtung auf den Punkt SA vorbewegt. Wenn der erfasste Punkt SA stark von dem unmittelbar vorhergehenden erfassten Punkt abweicht oder wenn der zu erfassende Punkt SA nicht gefunden werden kann, irrt der Roboter selbstverständlich ab oder stoppt.

[0047] Gemäß diesem Ausführungsbeispiel werden solche Probleme dadurch beseitigt, dass sich der TCP **4** des Roboters von dem Punkt P_2 in Richtung auf den Punkt Q vorbewegt und dass dann aufeinanderfolgend ein Zielpunkt des TCP **4** längs der Schweiß-Referenzlinie während der Zeit und nachdem der Roboter den heftgeschweißten Teil A1 durchlaufen hat, bestimmt wird.

[0048] **Fig.** 7 veranschaulicht schematisch, wie der Zielpunkt für die Bewegung des Roboters (TCP) gemäß dem Ausführungsbeispiel bestimmt wird, wobei die Beziehung eines eingelernten Wegs, der sich über den heftgeschweißten Teil A1, eine Schweiß-Referenzlinie, eine Reihe von erfassten Punkten und eine Reihe von Zielpunkten der Bewegung erstreckt, in bezug auf den Fall dargestellt ist, der in **Fig.** 6 gezeigt ist.

[0049] Gemäß **Fig.** 7 sind T_1 u. T_2 eingelernte Punkte, die durch die Positionsdaten in einem Roboter-Bewegungsprogramm bestimmt sind, und eine gerade Linie T_1-T_2, die diese Punkte verbindet, bildet einen eingelernten Weg. Für einen Bogenblock ist ein bogenformiger Weg durch drei eingelernte Punkte definiert. Symbole S_1, S_2, S_3, S_4, ... S_{m-k}, S_{m-2}, S_{m-1}, S_m, S_{m+1}, S_{m+2}, ... S_{n-k}, ..., S_{n-2}, S_{n-1}, S_n, S_{n+1}, S_{n+2}, ... S_{r-1} und S_r repräsentieren eine Reihe von erfassten Punkten, die durch den Laser-Sensor LS erfasst sind.

[0050] Die folgende Beschreibung basiert auf der Annahme, dass r ausreichend größer als n ist und dass n ausreichend größer als m ist (d. h. der Erfassungszyklus ausreichend kurz ist und das Intervall zwischen benachbarten erfassten Punkten außerdem ausreichend klein ist).

[0051] Der erste erfasste Punkt S_1 und der letzte erfasste Punkt S_r entsprechen einem Beginnpunkt P_1 bzw. einem Endpunkt P_6 der Schweiß-Referenzlinie. Die Schweiß-Referenzlinie längs der Ecklinie der überlappten Werkstücke fällt nicht immer wegen einer Variation der Positionierung der Werkstücke, Fehlern beim Bearbeiten der Werkstücke usw. exakt mit dem eingelernten Weg T_1–T_2 zusammen, und daher weicht die Reihe von erfassten Punkten außerdem mehr oder weniger ab oder mäandert, wie dies veranschaulicht ist, und zwar selbst in Abschnitten, in denen kein heftgeschweißter Teil vorhanden ist (in der Figur ist das Mäandern etwas übertrieben dargestellt). Wenn sich der Roboter unter einer Spurverfolgungs-Steuerung auf der Grundlage der Reihe von erfassten Punkten S_1, S_2, S_3, ..., S_{r-1} und S_r wie zuvor erwähnt durch den ganzen Block bewegt, fällt der Bewegungsweg des TCP des Roboters fast mit der Linie zusammen, die diese erfassten Punkte verbindet. Wenn die Erfassung jedoch nicht möglich ist, kann der Roboter möglicherweise selbstverständlich abirren oder stoppen.

[0052] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird daher, wenn ein erfasster Punkt stark von der Schweiß-Referenzlinie abweicht oder die Erfassung überhaupt nicht möglich ist, entschieden, dass ein Abschnitt, der einen heftgeschweißten Teil enthält, Schwierigkeiten bereitet und es wird ein Punkt, der für einen solchen untauglich erfassten Punkt (oder wenn die Erfassung nicht möglich ist) einzusetzen ist, bestimmt. In dem Block, der in **Fig.** 7 gezeigt ist, sind

die Punkts S_{m+1}, S_{m+2}, ... S_{n-k}, ... S_{n-2} u. S_{n-1} untaugliche erfasste Punkts, und die Symbole Q_{m+1}, Q_{m+2}, ... Q_{n-k}, ... Q_{n-2} u. Q_{n-1} bezeichnen taugliche Punkte, die für diese untauglichen erfassten Punkte einzusetzen sind.

[0053] Diese Punkte, die bestimmt werden, wenn keine tauglich erfassten Punkte gewonnen werden, werden hierin "Ersatz-Erfassungspunkte" genannt. Außerdem wird der Ausdruck "Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte" für eine Kombination solcher Ersatz-Erfassungspunkte und der tauglich erfassten Punkte, wie S_1, S_2, ... S_m, benutzt. Der "Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkt" repräsentiert die Position der Schweiß-Referenzlinie (der Linie, die sich längs der Original-Eckelinie erstreckt). Demzufolge repräsentiert eine Linie, die eine Reihe von Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkten S_1, S_2, ... S_{m-1}, S_m, Q_{m+1}, Q_{m+2}, ... Q_{n+2}, Q_{n-1}, Q_n, S_{n+1}, S_{n+2}, ... S_{r-1}, S_r verbindet, die Schweiß-Referenzlinie.

[0054] Daher werden, wenn Q_{m+1}, Q_{m+2}, ... Q_{n-1} aufeinanderfolgend in bezug auf den heftgeschweißten Teil A1 vor der Roboterbewegung bestimmt werden können, wobei diese Punkte als die Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte betrachtet werden, die einer Reihe der erfassten Punkte S_{m+1}, S_{m+2}, ... S_{n-1} entsprechen, welche die Schweiß-Referenzlinie ungenau repräsentieren, die Zielpositionen für die Bewegung des Roboters aufeinanderfolgend auf der Grundlage der Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte bestimmt, so dass der Roboter auf einen Weg längs der Reihe der Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte gebracht wird.

[0055] Gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist die Verarbeitung zum Bestimmen jedes Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkts, wenn ein heftgeschweißter Teil durchlaufen oder nicht durchlaufen wird, in die folgenden zwei Stufen unterteilt:

(1) Stufe der Zusammentreff/Durchlauf-Bestimmung eines heftgeschweißten Teils zum Bestimmen, ob die Position des erfassten Punkts anzeigt, dass die Schweißlinie mit dem heftgeschweißten Teil zusammentrifft oder durchläuft oder nicht.

(2) Stufe der Erfassung von Ersatz-Punkten, von denen erwartet wird, dass sie auf der Schweiß-Referenzlinie liegen, wenn die Position des erfassten Punkts anzeigt, dass die Schweißlinie mit dem heftgeschweißten Teil zusammentrifft oder diesen durchläuft.

Stufe der Zusammentreff/Durchlauf-Bestimmung eines heftgeschweißten Teils

[0056] Diese Stufe wird in bezug auf die folgenden zwei Fälle betrachtet:

Erster Fall (Erfassungsfehler)

[0057] Dies ist ein Fall, in dem kein erfasster Punkt gefunden wird. In diesem Fall wird entschieden, dass mit einem heftgeschweißten Teil zusammengetroffen wird. Diese Regel trifft jedoch nicht auf den Fall zu, in dem ein Erfassungsfehler in einem Abschnitt unmittelbar nach dem Start des Schweißens auftritt, wo gegenwärtig kein heftgeschweißter Teil betrachtet werden kann.

Zweiter Fall (Erfassung erfolgreich)

[0058] Diese ist ein Fall, in dem ein erfasster Punkt gefunden ist. In diesem Fall wird ein Abweichungs-Indexwert berechnet, der hinweisend auf den Betrag einer seitlichen Abweichung von der Schweiß-Referenzlinie ist. Dann wird, wenn der Abweichungs-Indexwert größer als ein vorbestimmter Referenzwert ist, entschieden, dass mit einem heftgeschweißten Teil zusammengetroffen ist. Wenn der Referenzwert nicht durch den Abweichungs-Indexwert überschritten wird, wird entschieden, dass nicht mit einem heftgeschweißten Teil zusammengetroffen wurde (mit einem heftgeschweißten Teil noch nicht zusammengetroffen wurde oder dieser bereits durchlaufen worden ist).

[0059] Als der Abweichungs-Indexwert ist ein Indexwert geeignet, der den Betrag einer Abweichung eines gegenwärtig erfassten Punkts von dem Roboterweg unmittelbar vor der Erfassung des Punkts repräsentiert. Von einem solchen Roboterweg wird angenommen, dass er auf einer Reihe der Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte liegt, die zuvor bestimmt sind. Daher kann der unmittelbar vorhergehende Roboterweg auf der Grundlage der Daten der Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte, die den gegenwärtigen Daten unmittelbar vorhergehen, berechnet werden.

[0060] In diesem Ausführungsbeispiel wird daher ein Indexwert f_j (j > k) benutzt, der in **Fig.** 7 gezeigt ist. Der Abweichungs-Indexwert f_j ist durch die folgende Gl. (3) definiert:

$$f_j = ||<ek, j> \times < vj - 1, j>|| = |\sin\theta j| \cdot ||<j - 1, j>|| \qquad (3)$$

wobei <ek, j> und <vj – 1, j> Vektoren in einem Roboter-Koordinatensystem sind und wie unten beschrieben definiert sind.

[0061] Der Vektor <ek, j> ist ein Vektor auf der Grundlage der Daten der Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte der jüngsten Vergangenheit, d. h. dieser Vektor ist ein Einheitsvektor (L#nge: 1), der die Richtung des Roboterwegs angibt, die auf der Grundlage von k Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkten (k > 2) unmittelbar einem erfassten Punkt S_j vorhergehend zu berechnen ist, d. h. Q_{j-1},

(S_{j-1}, wenn Q_{j-1} nicht vorhanden ist, und dies ist mit dem Rest der Punkte der Fall, die im folgenden erwähnt sind), Q_{1-2} (S_{j-2}), ... Q_{j-k} (S_{j-k}). Der Vektor kann unmittelbar durch Gewinnen einer geraden Linie passend zu den vorhergehenden k (in diesem Beispiel "5") Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkten durch ein Verfahren "kleinstes Quadrat" oder dgl. berechnet werden.

[0062] Der Vektor <vk, j> ist ein Vektor in Richtung auf den erfassten Punkt S_j von dem Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkt Q_{j-1} aus (S_{j-1}, wenn Q_{j-1} nicht vorhanden ist) unmittelbar dem erfasst Punkt S_j vorhergehend (es sei angemerkt, dass dieser Vektor kein Einheitsvektor ist).

[0063] Der Abweichungs-Indexwert f_j, der wie zuvor beschrieben definiert ist, wird einer qualitativen Änderung unterzogen, die im folgenden erwähnt ist. Hier sei angenommen, dass k = 5 ist (daher werden f_1 bis f_5 nicht berechnet).

[0064] f_6 bis f_m: Da kein heftgeschweißter Teil vorhanden ist, wird eine Reihe von erfassten Punkten längs der Schweiß-Referenzlinie (genaue Ecke) gewonnen. Demgemäß ist der Abweichungs-Indexwert relativ klein.

[0065] f_{m+1}: wie aus **Fig.** 7 ersichtlich ist der erfasste Punkt S_{m+1} ein Punkt am Rand des heftgeschweißten Teils A1, der fürs erste erfasst ist, und die Abweichung von der Schweiß-Referenzlinie ist relativ groß. Demgemäß sind die äußeren Produkte der Vektoren <e5, m + 1> u. <vm, m + 1> außerdem relativ groß. f_{m+1} wird durch die folgende Gleichung berechnet:

$$f_{m+1} = |<e5, m + 1> \times <vm, m + 1>| \quad (4)$$

[0066] Die Vektoren <e5, m + 1> und <vm, m + 1> in dieser Gleichung werden in Übereinstimmung mit der zuvor erwähnten Definition berechnet, und die Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte und die erfassten Punkte, welche die Grundlagen für das Berechnen der zwei Vektoren sind, können als
<e5, m + 1>
geschrieben werden: Fünf Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte S_{m-4}, S_{m-3}, S_{m-2}, S_{m-1}, S_m → fünf erfasste Punkte (keine Erfassung von Ersatz-Punkten).

[0067] <vm, m + 1>: Zwei erfasste Punkte S_m, S_{m+1}

[0068] f_{m+2} bis f_{n-1}: Wie aus **Fig.** 7 ersichtlich, sind die erfassten Punkte S_{m+2} bis S_{n-1} eine Reihe von Punkten längs des Randes des heftgeschweißten Teils A1, und demzufolge ist die Abweichung von der Schweiß-Referenzlinie bei allen diesen Punkten relativ groß. Daher sind alle der Abweichungs-Indexwerte, die in Übereinstimmung mit den im folgenden angegebenen jeweiligen Gleichungen berechnet sind, ebenfalls relativ groß. Speziell nimmt der Wert f_j, der für eine Position berechnet wird, in der die Vorwölbung des Heftwulstes groß ist, selbstverständlich einen großen Wert an. Das Folgende sind die Gleichungen zum Berechnen von f_{m+2} bis f_{n-1}:

$$f_{m+2} = |<e5, m + 2> \times <vm + 1, m + 2>| \quad (5)$$

$$f_{m+3} = |<e5, m + 3> \times <vm + 2, m + 3>| \quad (6)$$

...

$$f_{n-2} = |<e5, n - 2> \times <vn - 3, n - 2>| \quad (7)$$

$$f_{n-1} = |<e5, n - 1> \times <vn - 2, n - 1>| \quad (8)$$

[0069] Die Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte und die erfassten Punkte, die Grundlagen für das Berechnen der Vektoren <ek, j> u. <vj – 1, j> in dem vorstehenden Gl. (4) bis (8) sind die folgenden:

[0070] <e5, m + 2>: Fünf Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte S_{m-3}, S_{m-2}, S_m – Q_{m+1} → vier erfasste Punkte + ein Ersatz-Erfassungspunkt.

[0071] <e5, m + 3>: Fünf Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte S_{m-2}, S_{m-1}, S_m, Q_{m+1}, Q_{m+2} → drei erfasste Punkte + zwei Ersatz-Erfassungspunkte.

[0072] <e5, n – 2>: Fünf Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte Q_{n-7}, Q_{n-6}, Q_{n-5}, Q_{n-4}, Q_{n-3} → vier Ersatz-Erfassungspunkte.

[0073] <e5, n – 1>: Fünf Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte Q_{n-6}, Q_{n-5}, Q_{n-4}, Q_{n-3}, Q_{n-2} → fünf Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte.

[0074] <vm + 1, m + 2>: Zwei erfasste Punkte S_{m+1}, S_{m+2}.

[0075] <vm + 2, m + 3>: Zwei erfasste Punkte S_{m+2}, S_{m+3}.

[0076] <vn – 3, n – 2>: Zwei erfasste Punkte S_{n-3}, S_{n-2}.

[0077] <vn – 2, n – 1>: Zwei erfasste Punkte S_{n-2}, S_{n-1}.

[0078] f_n: Da der erfasste Punkt S_n ein Punkt ist, wo der heftgeschweißte Teil A1 durchlaufen wird, ist die Abweichung von der Schweiß-Referenzlinie nicht länger groß. Demgemäß ist der Abweichungs-Indexwert, der durch die untenstehende Gleichung berechnet wird, relativ klein.

$$f_n = ||<e5, n> \times <vn - 1, n>|| \quad (9)$$

[0079] f_{n+1} to f_r: Nach dem Durchlaufen des heftge-

schweißten Teils A1 weichen die erfassten Punkte nicht stark von der Schweiß-Referenzlinie ab, bis auf den nächsten heftgeschweißten Teil A2 (s. **Fig.** 1) getroffen wird. Vom Anfang bis zum Ende des nächsten heftgeschweißten Teils A2 erfährt der Abweichungs-Indexwert eine Änderung, die ähnlich derjenigen ist, wie sie zuvor unter Bezugnahme auf den Fall des Zusammentreffens mit dem heftgeschweißten Teil A1 und Durchlaufens desselben beschrieben wurde.

Stufe des Erzeugens eines Ersatz-Erfassungspunkts

[0080] Wie aus der vorhergehenden Erklärung verständlich ist es in Fällen, in denen die Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte, die für die Berechnung des Abweichungs-Index erforderlich sind, einen oder mehrere Ersatz-Erfassungspunkte enthalten, notwendig, dass die Positionen der Ersatz-Erfassungspunkte vorher bestimmt werden. Jemand könnte besorgt sein, dass das Erzeugen von Ersatz-Erfassungspunkten auf der Grundlage des Ergebnisses der Berechnung des Abweichungs-Indexwerts zu einer unzutreffenden Schlussfolgerung führen könnte. Es sei jedoch angemerkt, dass dies nicht der Fall ist.

[0081] In anderen Worten ausgedrückt werden die Ersatz-Erfassungspunkte gemäß dem Ausführungsbeispiel von dem Punkt an, bei dem die Erzeugung eines Ersatz-Erfassungspunkt erstmals (S_{m+1} in dem Beispiel gemäß **Fig.** 7) notwendig geworden ist, aufeinanderfolgend erzeugt. Das bedeutet, dass ein Ersatz-Erfassungspunkt Q_{m+1} für den erfassten Punkt S_{m+1} auf der Grundlage der Daten der vergangenen k Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte erzeugt wird, die keinerlei Ersatz-Erfassungspunkt enthalten. Die Position des Ersatz-Erfassungspunkts Q_{m+1} wird als die Position eines Punkts berechnet, bei dem eine gerade Linie, die durch den Vektor <e5, m + 1> repräsentiert ist (gerade Linie, die als sich längs der Kurve ersteckend abgeschätzt ist) eine Linie durchschneidet, die sich senkrecht von dem erfassten Punkt S_{m+1} aus erstreckt.

[0082] Danach wird im allgemeinen, wenn es als notwendig erachtet wird, einen Ersatz-Erfassungspunkt zu erzeugen, die Position eines Ersatz-Erfassungspunkts Q_i für einen erfassten Punkt S_i als die Position eines Punkts berechnet, bei der die gerade Linie, die durch den Vektor <ek, i> repräsentiert ist, eine Linie durchschneidet, die sich senkrecht von dem erfassten Punkt S_i aus erstreckt. Ob ein Ersatz-Erfassungspunkt berechnet werden muss oder nicht, wird auf der Grundlage des Abweichungs-Index f_i bestimmt, der auf den Daten der erfassten Punkte und der Ersatz-Erfassungspunkte basiert, die bis dahin gewonnen sind. Wenn kein erfasster Punkt gefunden werden kann, wird ein Ersatz-Erfassungspunkt durch Extrapolieren der geraden Linie, die durch den zuvor erwähnten Vektor <e5, m + 1> repräsentiert ist, auf der Grundlage der erfassten Punkte und/oder der Ersatz-Erfassungspunkte gewonnen, die in jüngster Verfangenheit gespeichert wurden.

[0083] **Fig.** 8 u. **Fig.** 9 zeigen schematisch Flussdiagramme, die in dem Ausführungsbeispiel auszuführende Prozesse darstellen, um einen Bewegungsweg längs einer geeigneten Schweiß-Referenzlinie (einer Linie, die berechnet wird, um sich längs der Kurvenlinie zu erstrecken und auf der Grundlage einer Reihe von Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkten S_1, S_2, ... S, Q, Q, ... Q, Q, S, S, ... S_{r-1} u. S_r bestimmt wird) zu gewinnen. Das Flussdiagramm gemäß **Fig.** 8 (Verarbeitung 1) veranschaulicht den Prozess zum Erzeugen eines Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkts und den Prozess für Roboterpositions-Korrekturdaten auf der Grundlage des gewonnenen Punkts, und das Flussdiagramm gemäß **Fig.** 9 (Verarbeitung 2) veranschaulicht den Prozess zum Bewegen des Roboters auf der Grundlage der Daten, die in dem Prozess 1 erzeugt sind. Die Beschreibung von Verarbeitungen ist auf solche beschränkt, die in bezug auf die Bewegung des Roboters notwendig sind, und solche Verarbeitungen, die sich auf die EIN/AUS-Steuerung des Schweißbrenners und die Steuerung der Schweißbedingungen beziehen, sind fortgelassen.

[0084] Der Prozess 1 enthält die folgenden Schritte, wobei j ein Index ist, der die Anzahl von Malen der Erfassung, die ausgeführt wird, repräsentiert, und sein Anfangswert ist "1" (j = 1).

[0085] [G1] Wenn ein Laser-Sensor-EIN-Befehl ausgegeben ist (s. Verarbeitung 2), setzt sich die Prozedur zu Schritt G2 fort.

[0086] [G2] Der Laser-Sensor wird gestartet.

[0087] [G3] Die Erfassung eines Punkts S_j wird versucht.

[0088] [G4] Wenn die Erfassung des Punkts S_j mit einer Versagen endet, setzt sich die Prozedur zu Schritt G5 fort, und wenn die Erfassung erfolgreich endet, setzt sich die Prozedur zu Schritt G6 fort.

[0089] [G5] Wenn der Index j nicht größer als der gesetzte Wert k ist (in dem zuvor erwähnten Beispiel ist k = 5, und dies ist für den Rest der Fälle gegeben), kehrt die Prozedur zu Schritt G3 zurück, und die Erfassung des Punkts S_j wird erneut versucht. Dies ist ein Prozess zum Fertigwerden mit einer natürlichen Situation, in der kein erfasster Punkt gefunden werden kann, es sei denn, dass der Roboter eine Position unmittelbar vor der Position P_1 erreicht.

[0090] Wenn der Index j größer als der gesetzte Wert k ist, setzt sich die Prozedur zu Schritt G_{10} fort, und es wird die Position eines Ersatz-Erfassungs-

punkts Q_j (in dem Roboter Koordinaten-System) berechnet. Das heißt, dass wenn kein erfasster Punkt gefunden werden kann, selbst nachdem der Roboter die Position P_1 erreicht hat und das Schweißen der Hohlkehle startet, entschieden wird, dass mit einem heftgeschweißten Teil zusammengetroffen worden ist.

[0091] [G6] Unter Benutzung der gegenwärtigen Roboter-Orientierungsdaten wird die Position des erfassten Punkts S_j in dem Roboter-Koordinaten-System (räumliches Koordinaten-System, das unter Bezugnahme auf den Roboter gesetzt ist) gewonnen und in den Pufferspeicher 1 eingeschrieben. Der Pufferspeicher 1 speichert Daten der letzten k Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte in Form von Tabellendaten.

[0092] [G7] Wenn der Index j größer als der gesetzte Wert k ist, setzt sich die Prozedur zu Schritt G8 fort, und es wird der Wert des zuvor erwähnten Abweichungs-Index f_j berechnet. Wenn der Index j jedoch kleiner als k + 1 ist, setzt sich die Prozedur zu Schritt G12 fort. Dies ist deswegen der Fall, weil der Abweichungs-Index f_j nicht berechnet wird (nicht berechnet werden kann), bevor ein Minimum der Anfangsdaten, die für die Berechnung des zuvor erwähnten Vektors <ek, j> notwendig sind, gespeichert ist.

[0093] [G8] Es wird der Wert des zuvor erwähnten Index f_j berechnet. Diese Berechnung wird unter Benutzung der Positionsdaten der erfassten Punkte oder Ersatz-Erfassungspunkte auf der Grundlage des Roboter-Koordinaten-Systems durchgeführt.

[0094] [G9] Der auf diese Weise berechnete Wert des Index f_j wird mit einem Schwellwert f_0 verglichen, der auf einen geeigneten Wert gesetzt ist, und wenn ersterer größer als letzterer ist, wird entschieden, dass auf einen heftgeschweißten Teil gestoßen wurde. Daher setzt sich die Prozedur zu Schritt G10 fort. Wenn der Schwellwert nicht überschritten wird, wird entschieden, dass auf keinen heftgeschweißten Teil getroffen wurde, und die Prozedur setzt sich zu Schritt G12 fort.

[0095] [G10] Es wird die Position des Ersatz-Erfassungspunkts Q_j in dem Roboter-Koordinaten-System gewonnen und in den Pufferspeicher 1 eingeschrieben.

[0096] [G11] Auf der Grundlage der Position des Ersatz-Erfassungspunkts Q_j wird ein Positions-Korrekturwert in bezug auf den eingelernten Weg in dem Roboter-Koordinaten-System gewonnen und in den Pufferspeicher 2 eingeschrieben.

[0097] [G12] Auf der Grundlage der Position des erfassten Punkts S_j wird ein Positions-Korrekturwert in bezug auf den eingelernten Weg in dem Roboter-Koordinaten-System gewonnen und in den Pufferspeicher 2 eingeschrieben.

[0098] [G13] Es wird eine Bestimmung dahingehend vorgenommen, ob ein Laser-Sensor-AUS-Befehl ausgegeben worden ist oder nicht (s. Prozess 2). Wenn ein Laser-Sensor-AUS-Befehl ausgegeben worden ist, wird der Laser-Sensor ausgeschaltet, und die Prozedur wird beendet. Andernfalls setzt sich die Prozedur zu Schritt G14 fort.

[0099] [G14] Der Index j wird um "1" erhöht, und die Prozedur kehrt zu Schritt G3 zurück.

[0100] Der Prozess 2 enthält die folgenden Schritte, wobei t einen eingelernten Punkt-Index repräsentiert. In diesem Beispiel sind der Anfangswert und der Sättigungswert des Index t "1" bzw. "2".

[0101] [H1] Es wird ein Laser-Sensor-EIN-Befehl ausgegeben.

[0102] [H2] Es werden Programmdaten ausgelesen, die sich auf einen eingelernten Punkt Tt beziehen.

[0103] [H3] Es wird auf den Pufferspeicher 2 zugegriffen, um Daten der Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkte wiederaufzufinden.

[0104] [H4] Wenn Roboterpositions-Korrekturdaten vorhanden sind, die mit diesem wirklichen Zeitpunkt zusammenpassen (Zusammenpassen mit dem Grad des Fortschritts zwischen dem Intervall P_1–P_2), werden die Korrekturdaten ausgelesen, und die Prozedur setzt sich zu Schritt H5 fort. Andernfalls setzt sich die Prozedur zu Schritt H6 fort. Der Laser-Sensor erfasst nicht die Ecke, die zwischen den überlappten Werkstücken gebildet ist, bevor der Roboter, der sich von seiner Anfangsposition aus bewegt, einen geschweißten Teil der Werkstück erreicht, und demzufolge werden die Roboterpositions-Korrekturdaten nicht erzeugt. Während dieser Zeitperiode setzt sich daher die Prozedur in der Reihenfolge Schritt H4 → Schritt H6 → Schritt H7 fort.

[0105] [H5] Auf der Grundlage eingelernter Wegdaten und der Roboterpositions-Korrekturdaten wird eine Zielposition für die Roboterbewegung bestimmt.

[0106] [H6] Auf der Grundlage der eingelernten Wegdaten wird eine Zielposition für die Roboterbewegung bestimmt.

[0107] [H7] Es wird ein Bewegungsbefehl erzeugt und auf die Servoschaltungen verteilt, die jeweiligen Achsen zugeordnet sind.

[0108] [H8] Wenn die Verarbeitung für die Bewegung bis zu dem eingelernten Punkt Tt noch nicht ab-

geschlossen worden ist, setzt sich die Verarbeitung zu Schritt H3 fort, und wenn die Bewegung abgeschlossen worden ist, setzt sich die Prozedur zu Schritt H9 fort.

[0109] [H9] Der eingelernte Punkt-Indexwert t wird um "1" erhöht.

[0110] [H10] Wenn der Sättigungswert (in diesem Beispiel "2") nicht von dem eingelernten Punkt-Index t überschritten ist, kehrt die Prozedur zu Schritt H2 zurück, und wenn der Sättigungswert überschritten ist, setzt sich die Prozedur zu Schritt H11 fort.

[0111] [H11] Es wird ein Laser-Sensor-AUS-Befehl ausgegeben, um die Verarbeitung zu beenden.

[0112] Im Vorstehenden wurde ein Beispiel für das Schweißen einer Ecke erklärt, die sich nahezu längs eines geradlinigen eingelernten Wegs erstreckt. Es ist jedoch ersichtlich, dass die vorliegende Erfindung auch auf den Fall einer Stumpfschweißung nahezu längs eines geradlinigen eingelernten Wegs angewendet werden kann. Im Falle einer Stumpfschweißung werden solche Punkte, die einen Spalt zwischen aneinander stoßenden Teilen (oder eine Grenze einer Verbindung) repräsentieren, durch den Laser-Sensor erfasst, und wenn ein heftgeschweißter Teil vorhanden ist, wird der Rand auf einer Seite desselben erfasst. In einem solchen Fall können durch Behandeln der erfassten Punkte und des Randes als erfassten Punkt S_j wie zuvor erklärt Prozesse ähnlich denjenigen, die in den Flussdiagrammen gemäß **Fig.** 8 u. **Fig.** 9 gezeigt sind, angewendet werden, um einen Weg zu bestimmen, der sich längs der Schweiß-Referenzlinie (Weg, welcher der Mittellinie des Spalts oder der Grenze der Verbindung folgt) erstreckt, und zwar selbst dann, wenn der Durchlauf durch einen heftgeschweißten Teil enthalten ist.

[0113] Selbst in dem Fall, in dem der eingelernte Weg in Form eines Kreisbogens vorliegt, kann ein Weg längs der Schweiß-Referenzlinie durch Modifizieren des Verfahren zum Bestimmen des Ersatz-Erfassungspunkts durch die Prozesse, die ähnlich denjenigen sind, die in den Flussdiagrammen gemäß **Fig.** 8 u. **Fig.** 9 gezeigt sind. gewonnen werden, und zwar selbst dann, wenn das Durchlaufen eines heftgeschweißten Teils enthalten ist. In anderen Worten ausgedrückt heißt dies, dass wenn der eingelernte Weg ein Kreisbogen ist, die Distanz der Trennung zwischen einem Bogen C_{k-j}, der auf der Grundlage der vergangenen k Punkts vorausgesagt ist, und einem erfassten Punkt S_j, der diesem entspricht, als der Index f_j benutzt werden kann, der die Größe einer Abweichung von der Schweiß-Referenzlinie repräsentiert. In diesem Fall kann der Ersatz-Erfassungspunkt Q_j bei einem Punkt gesetzt werden, wo der Kreisbogen C_{k-j} eine Linie durchschneidet, die sich senkrecht von dem erfassten Punkt S_j aus erstreckt.

[0114] Gemäß der vorliegenden Erfindung kann der Lichtbogenschweiß-Roboter selbst dann, wenn ein heftgeschweißter Teil auf halbem Wege auf dem Schweißweg vorhanden ist, nahezu längs der Original-Schweiß-Referenzlinie bewegt werden. Folglich verbessert sich die Echtzeit-Spurverfolgungsfunktion des Lichtbogenschweiß-Roboters, der den Laser-Sensor benutzt, um dadurch zu einer Verbesserung der Leistungsfähigkeit und der Qualität des Schweißens beizutragen.

Patentansprüche

1. Steuer-Verfahren zum Steuern eines Schweiß-Roboters zum Durchführen eines Lichtbogen-Schweißens durch Bewegen eines Schweißbrenners (**2**), der auf dem Roboter montiert ist, längs einer Schweiß-Referenzlinie (P1 → P6), welches Verfahren einen Schritt umfasst zum
wiederholten Erfassen eines charakteristischen Punkts (SA) einer Verbindungsform zwischen Werkstücken (W1, W2) durch querlaufendes Abtasten eines Bereichs in einer Vorbewegungsrichtung des Schweiß-Roboters mit einem Laserstrahl (LB) durch einen Laser-Sensor (LS), der auf dem Schweiß-Roboter montiert ist,
welches Steuer-Verfahren gekennzeichnet ist durch Schritte zum
Feststellen, ob der erfasste charakteristische Punkt (SA) als ein Punkt, der eine Position der Schweiß-Referenzlinie repräsentiert, passend oder unpassend ist, wenn der charakteristische Punkt (SA) durch den Laser-Sensor (LS) erfasst ist,
Speichern von Daten bezüglich des charakteristischen Punkts (SA), welche die Position des erfassten Punkts (SA) repräsentieren, als Daten eines repräsentativen Punkts der Schweiß-Referenzlinie, wenn der erfasste charakteristische Punkt als passend festgestellt ist,
Bestimmen eines Erfassungs-Ersatzpunkts, der an die Stelle des erfassten charakteristischen Punkts (SR) tritt, wenn festgestellt ist, dass der erfasste charakteristische Punkt (SA) unpassend ist, oder wenn der charakteristische Punkt (SA) nicht durch den Laser-Sensor (LS) erfasst ist, Speichern von Daten, die eine Position des Erfassungs-Ersatzpunkts repräsentieren, als Daten eines Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkts und
aufeinanderfolgenden Bestimmen eines Zielpunkts der Bewegung des Schweiß-Roboters auf der Grundlage der gespeicherten Daten des Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkts.

2. Steuer-Verfahren zum Steuern eines Schweiß-Roboters nach Anspruch 1, wobei das Passen des erfassten charakteristischen Punkts (SA) durch Gewinnen eines Abweichungs-Indexwerts, der die Größe einer Abweichung des erfassten charakteristischen Punkts (SA) von der Position der Schweiß-Referenzlinie repräsentiert, auf der Grund-

lage von Daten bezüglich des Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkts, die in jüngster Vergangenheit gespeichert wurden, und Daten, welche die Position des erfassten charakteristischen Punkts (SA) repräsentieren, und durch Vergleichen des Abweichungs-Indexwerts mit einem Referenzwert festgestellt wird.

3. Steuer-Verfahren zum Steuern eines Schweiß-Roboters nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Erfassungs-Ersatzpunkt auf einer Verlängerungslinie einer geraden Schweiß-Referenzlinie, die durch Daten des Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkts repräsentiert ist, die in jüngster Vergangenheit gespeichert wurden, bestimmt wird, wenn sich ein eingelernter Weg in einer geraden Linie erstreckt.

4. Steuer-Verfahren zum Steuern eines Schweiß-Roboters nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Erfassungs-Ersatzpunkt auf einer verlängerten bogenförmigen Linie einer bogenförmigen Schweiß-Referenzlinie, die durch Daten des Schweiß-Referenzlinien-Repräsentativpunkts repräsentiert ist, die in jüngster Vergangenheit gespeichert wurden, bestimmt wird, wenn ein eingelernter Weg aus einem Kreisbogen besteht.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

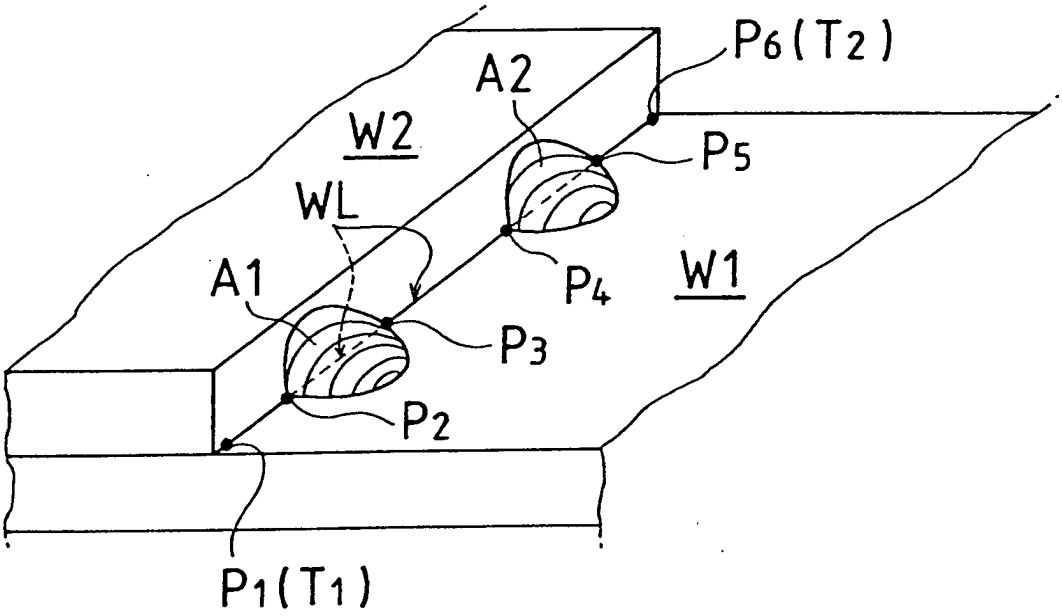


FIG. 2a

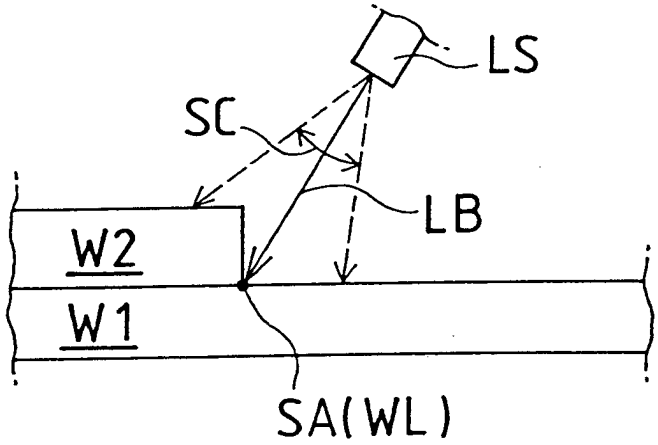


FIG. 2b

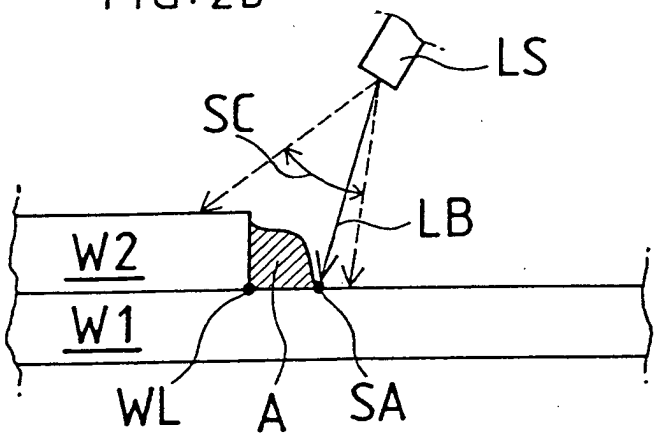


FIG. 3

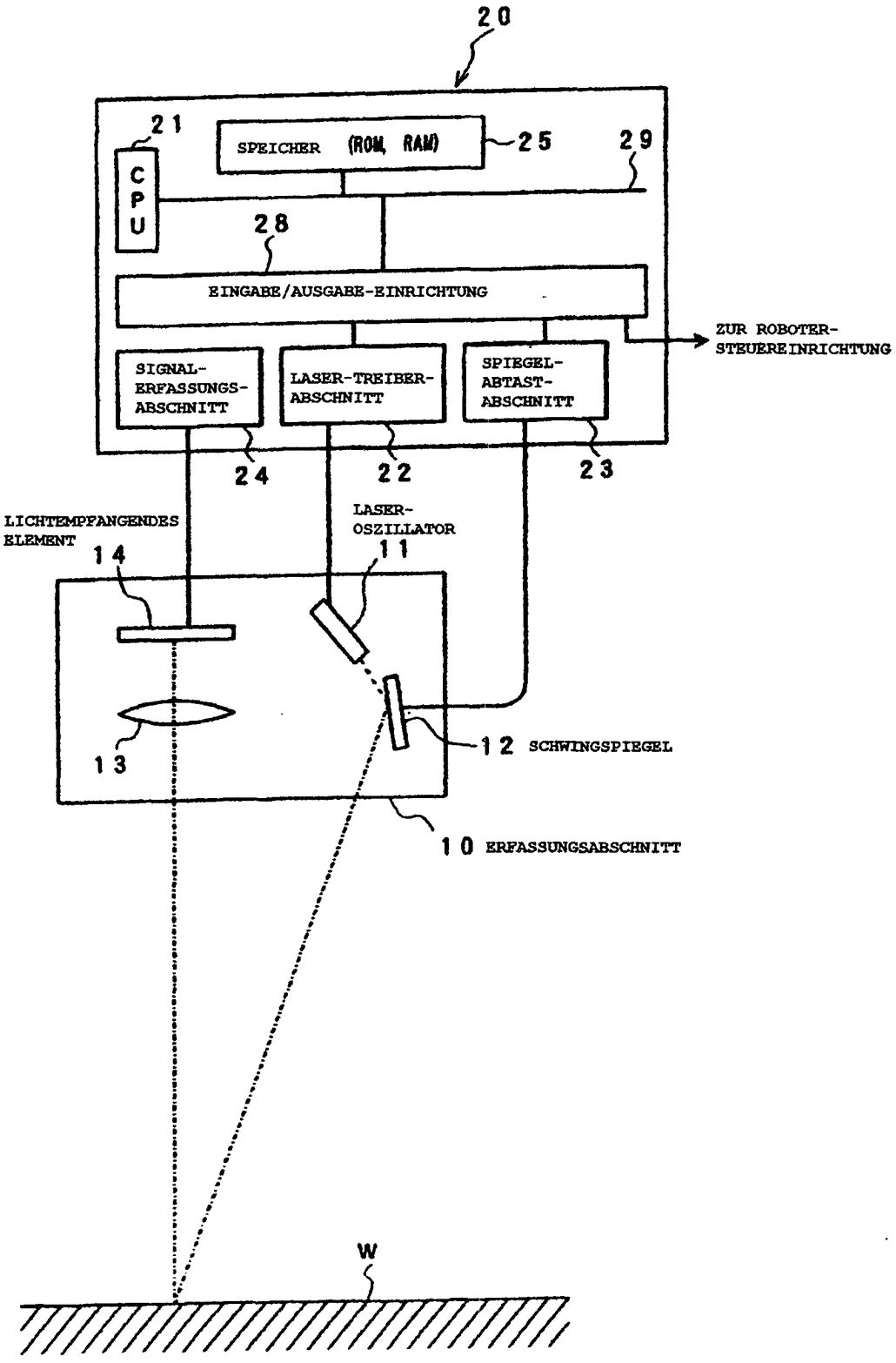

20
21
CPU
SPEICHER (ROM, RAM)
25
29
28
EINGABE/AUSGABE-EINRICHTUNG
ZUR ROBOTER-STEUEREINRICHTUNG
SIGNAL-ERFASSUNGS-ABSCHNITT
LASER-TREIBER-ABSCHNITT
SPIEGEL-ABTAST-ABSCHNITT
24
22
23
LICHTEMPFANGENDES ELEMENT
14
LASER-OSZILLATOR
11
13
12 SCHWINGSPIEGEL
10 ERFASSUNGSABSCHNITT
W

FIG. 4

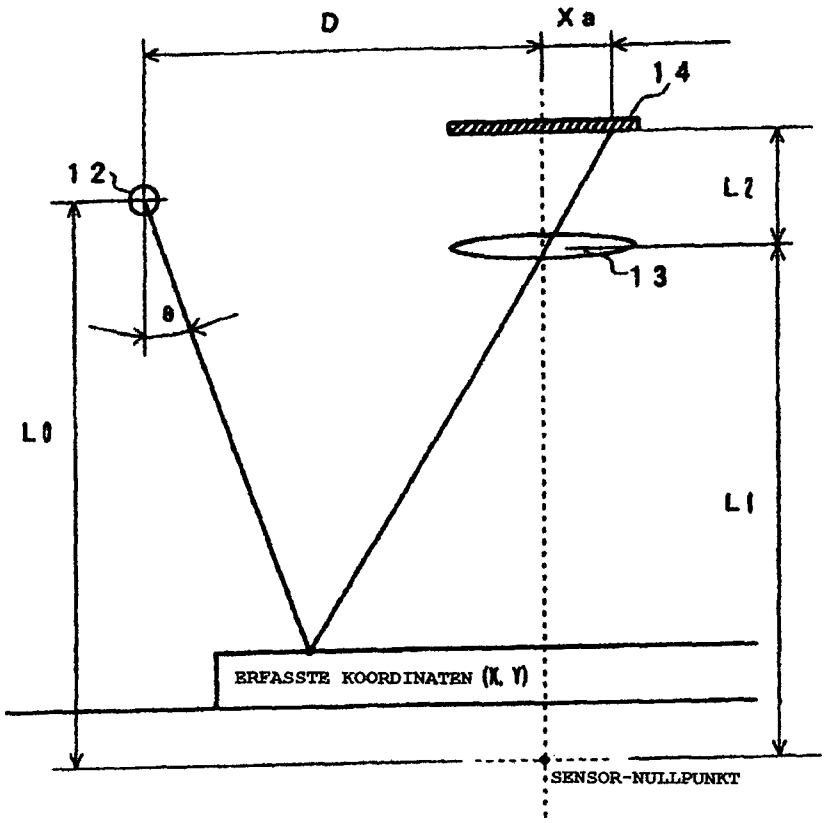
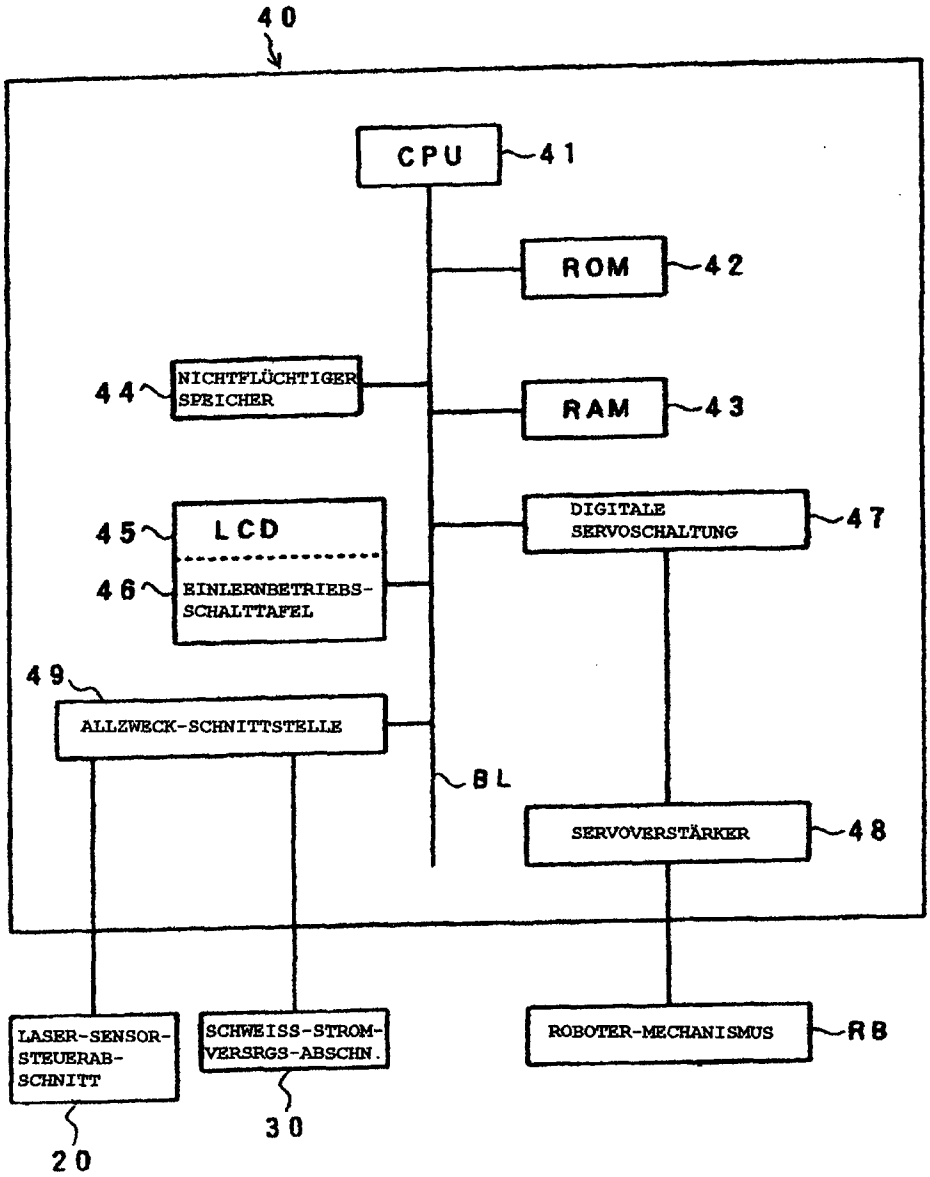

D
Xa
14
12
L2
13
θ
L0
L1
ERFASSTE KOORDINATEN (X, Y)
SENSOR-NULLPUNKT

FIG. 5


40
CPU
41
ROM
42
44
NICHTFLÜCHTIGER SPEICHER
RAM
43
45
LCD
46
EINLERNBETRIEBS-SCHALTTAFEL
DIGITALE SERVOSCHALTUNG
47
49
ALLZWECK-SCHNITTSTELLE
BL
SERVOVERSTÄRKER
48
LASER-SENSOR-STEUERAB-SCHNITT
20
SCHWEISS-STROM-VERSRGS-ABSCHN.
30
ROBOTER-MECHANISMUS
RB

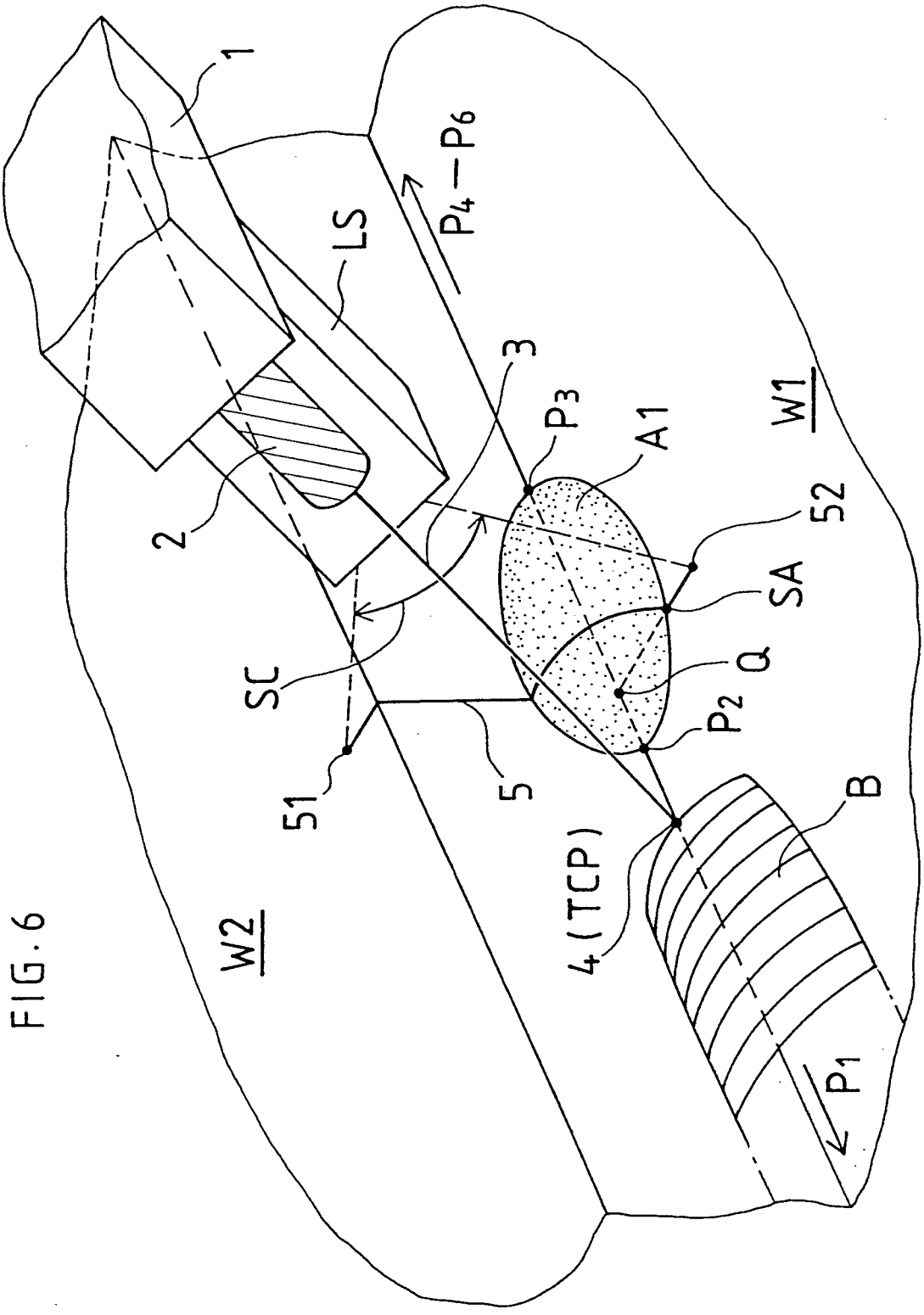


FIG. 6

FIG. 7

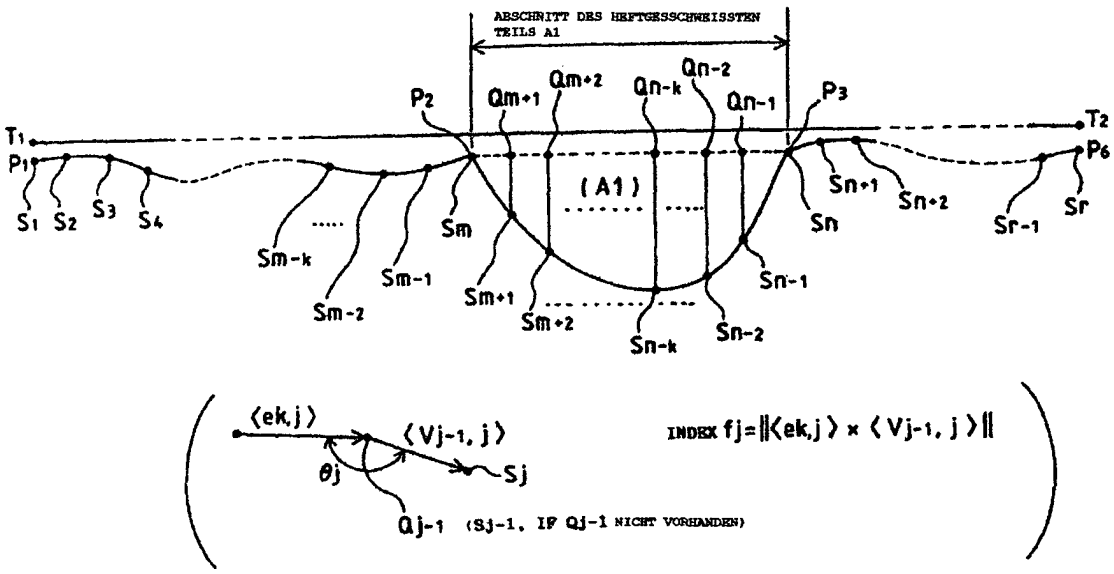

ABSCHNITT DES HEFTGESSCHWEISSTEN TEILS A1
T1
T2
P1
P2
P3
P6
Qm+1
Qm+2
Qn-k
Qn-2
Qn-1
(A1)
S1
S2
S3
S4
Sm-k
Sm-2
Sm-1
Sm
Sm+1
Sm+2
Sn-k
Sn-2
Sn-1
Sn
Sn+1
Sn+2
Sr-1
Sr
⟨ek,j⟩
⟨Vj-1, j⟩
θj
Sj
Qj-1 (Sj-1, IF Qj-1 NICHT VORHANDEN)
INDEX fj=‖⟨ek,j⟩ × ⟨Vj-1, j⟩‖

FIG. 8

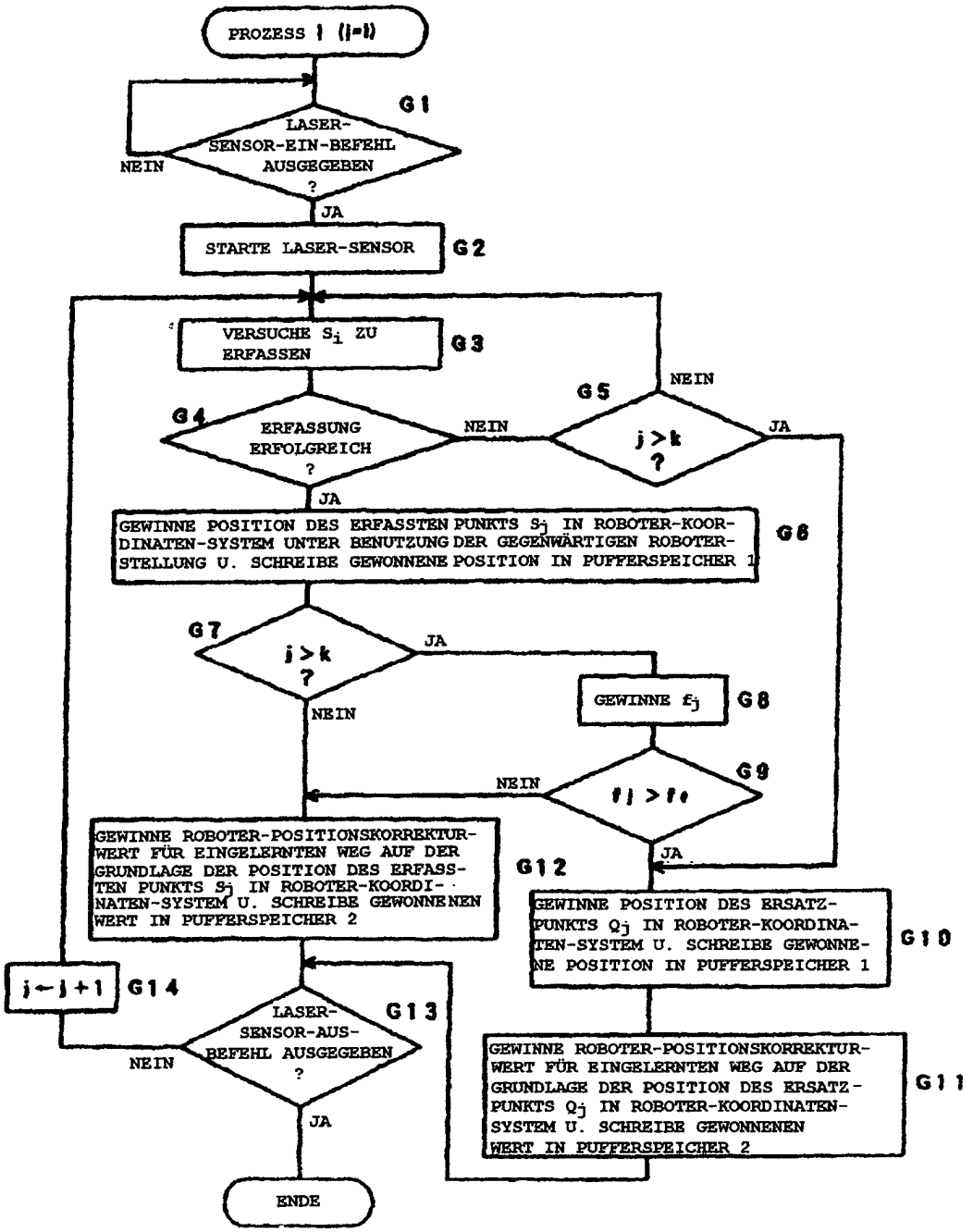
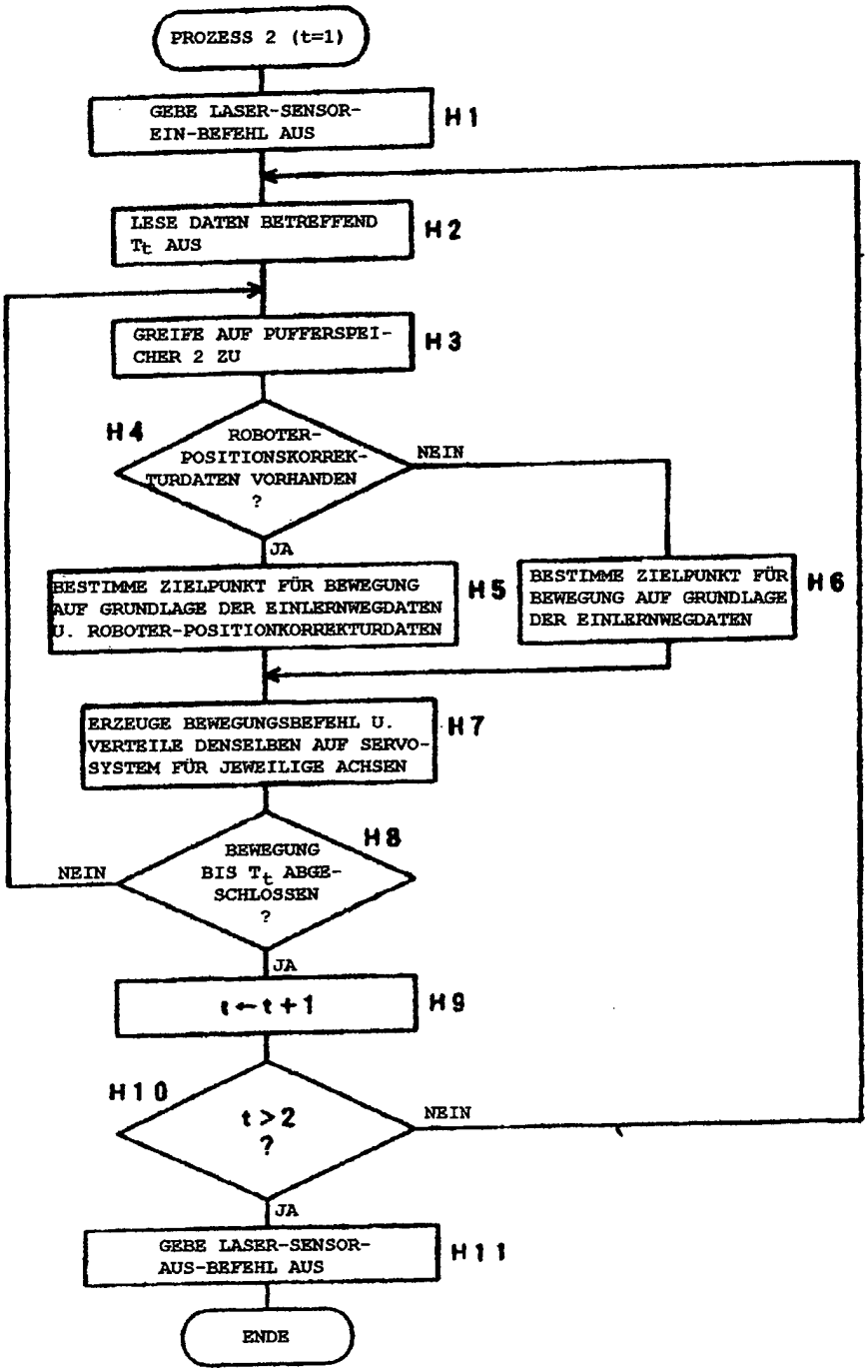

PROZESS 1 (j=1)
G1
LASER-SENSOR-EIN-BEFEHL AUSGEGEBEN ?
NEIN
JA
STARTE LASER-SENSOR
G2
VERSUCHE S_i ZU ERFASSEN
G3
G4
ERFASSUNG ERFOLGREICH ?
NEIN
JA
G5
j > k ?
NEIN
JA
GEWINNE POSITION DES ERFASSTEN PUNKTS S_j IN ROBOTER-KOORDINATEN-SYSTEM UNTER BENUTZUNG DER GEGENWÄRTIGEN ROBOTER-STELLUNG U. SCHREIBE GEWONNENE POSITION IN PUFFERSPEICHER 1
G6
G7
j > k ?
JA
NEIN
GEWINNE f_j
G8
G9
$f_j > f_t$
NEIN
JA
GEWINNE ROBOTER-POSITIONSKORREKTUR-WERT FÜR EINGELERNTEN WEG AUF DER GRUNDLAGE DER POSITION DES ERFASSTEN PUNKTS S_j IN ROBOTER-KOORDINATEN-SYSTEM U. SCHREIBE GEWONNENEN WERT IN PUFFERSPEICHER 2
G12
GEWINNE POSITION DES ERSATZ-PUNKTS Q_j IN ROBOTER-KOORDINATEN-SYSTEM U. SCHREIBE GEWONNENE POSITION IN PUFFERSPEICHER 1
G10
GEWINNE ROBOTER-POSITIONSKORREKTUR-WERT FÜR EINGELERNTEN WEG AUF DER GRUNDLAGE DER POSITION DES ERSATZ-PUNKTS Q_j IN ROBOTER-KOORDINATEN-SYSTEM U. SCHREIBE GEWONNENEN WERT IN PUFFERSPEICHER 2
G11
j ← j+1
G14
LASER-SENSOR-AUS-BEFEHL AUSGEGEBEN ?
G13
NEIN
JA
ENDE

FIG. 9


PROZESS 2 (t=1)
GEBE LASER-SENSOR-EIN-BEFEHL AUS
H1
LESE DATEN BETREFFEND T_t AUS
H2
GREIFE AUF PUFFERSPEICHER 2 ZU
H3
H4
ROBOTER-POSITIONSKORREKTURDATEN VORHANDEN ?
NEIN
JA
BESTIMME ZIELPUNKT FÜR BEWEGUNG AUF GRUNDLAGE DER EINLERNWEGDATEN U. ROBOTER-POSITIONKORREKTURDATEN
H5
BESTIMME ZIELPUNKT FÜR BEWEGUNG AUF GRUNDLAGE DER EINLERNWEGDATEN
H6
ERZEUGE BEWEGUNGSBEFEHL U. VERTEILE DENSELBEN AUF SERVOSYSTEM FÜR JEWEILIGE ACHSEN
H7
H8
BEWEGUNG BIS T_t ABGESCHLOSSEN ?
NEIN
JA
t←t+1
H9
H10
t>2 ?
NEIN
JA
GEBE LASER-SENSOR-AUS-BEFEHL AUS
H11
ENDE