

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: **A 1654/2004** (51) Int. Cl.⁸: **B25J 9/00** (2006.01)
(22) Anmeldetag: **05.10.2004**
(43) Veröffentlicht am: **15.06.2007**

(73) Patentanmelder:

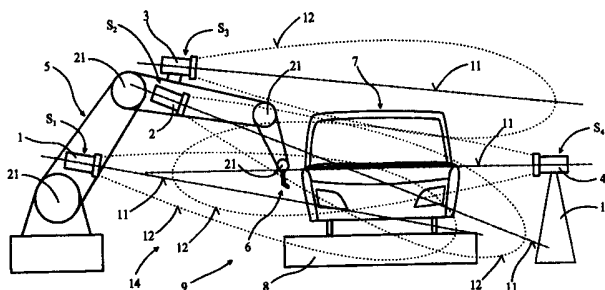
KEBA AG
A-4041 LINZ (AT)

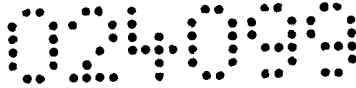
(72) Erfinder:

SCHWEINZER HERBERT DIPL.ING. DR.
WIEN (AT)
KRAMMER PETER DIPL.ING. DR.
WIEN (AT)

(54) **ARBEITSBEREICHSÜBERWACHUNG FÜR AUTOMATISIERTE,
PROGRAMMGESTEUERTE MASCHINEN UND ROBOTER**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und Anordnungen zur Überwachung des Arbeitsbereiches (9) von programmgesteuerten Robotern (5) oder Werkzeugmaschinen für die automatisiert repetitive Ausführung einer Bearbeitungssequenz an einer Mehrzahl von im Wesentlichen gleichartigen Werkstücken (7). Dabei werden unter Verwendung zumindest eines Entfernungsmessensors (1, 2, 3,4) in einem Trainingsbetrieb beim Durchfahren der programmierten Bearbeitungssequenz erste Entfernungsinformationen gewonnen und Referenzdaten erstellt. In einem automatischen Überwachungsbetrieb während einer Bearbeitungssequenz werden mit dem Entfernungsmessensor zweite Entfernungsinformationen gewonnen. Die zweiten Entfernungsinformationen werden fortlaufend in Echtzeit einer Zustandsprüfung hinsichtlich des Vorliegens eines regulären Arbeitsbereiches unterzogen. Bei festgestelltem, nicht regulärem Zustand des Arbeitsbereiches wird die laufende Bearbeitungssequenz unterbrochen und die Roboter- bzw. Maschinenbewegung zum Stillstand gebracht und/oder das Ergebnis der Zustandsprüfung signalisiert. Dabei sind in den Referenzdaten mehrere Entfernungsinformationen zufolge unterschiedlicher Objekte oder Objektteile oder eines definiert variabel positionierten Objektes abgebildet.

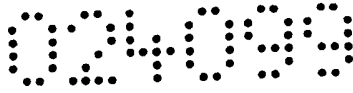




Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und Anordnungen zur Überwachung des Arbeitsbereiches (9) von programmgesteuerten Robotern (5) oder Werkzeugmaschinen für die automatisiert repetitive Ausführung einer Bearbeitungssequenz an einer Mehrzahl von im Wesentlichen gleichartigen Werkstücken (7). Dabei werden unter Verwendung zumindest eines Entfernungsmessensors (1, 2, 3, 4) in einem Trainingsbetrieb beim Durchfahren der programmierten Bearbeitungssequenz erste Entfernungsinformationen gewonnen und Referenzdaten erstellt. In einem automatischen Überwachungsbetrieb während einer Bearbeitungssequenz werden mit dem Entfernungsmessensor zweite Entfernungsinformationen gewonnen. Die zweiten Entfernungsinformationen werden fortlaufend in Echtzeit einer Zustandsprüfung hinsichtlich des Vorliegens eines regulären Arbeitsbereiches unterzogen. Bei festgestelltem, nicht regulären Zustand des Arbeitsbereiches wird die laufende Bearbeitungssequenz unterbrochen und die Roboter- bzw. Maschinenbewegung zum Stillstand gebracht und/oder das Ergebnis der Zustandsprüfung signalisiert. Dabei sind in den Referenzdaten mehrere Entfernungsinformationen zufolge unterschiedlicher Objekte oder Objektteile oder eines definiert variabel positionierten Objektes abgebildet.

Für die Zusammenfassung Fig. 1 verwenden.



Die Erfindung, wie sie in den Ansprüchen 1, 30, 37 und 46-52 definiert ist, betrifft im Wesentlichen ein Verfahren und eine Anordnung zur sensorischen Überwachung des Arbeitsbereiches (9) von automatisch arbeitenden, programmgesteuerten stationären Robotern (5) und Werkzeugmaschinen hinsichtlich unzulässiger Eingriffe oder Veränderungen im Arbeitsbereich (9), welche eine Gefahr oder eine Beeinträchtigung von Personen oder Sachgütern oder der Qualität der Arbeitsergebnisse darstellen.

Die Überwachung des Arbeitsbereiches (9) erfolgt während repetitiv (zyklisch und gleichartig) wiederholter Bearbeitungssequenzen unter Verwendung eines oder mehrerer Entfernungsmesssensoren (1, 2, 3, 4). Deren Sensorsignale (23) werden im Automatikbetrieb des Roboters (5) oder der Maschine laufend mit zuvor bei regulärem, störungsfreiem Arbeitsbereich aufgezeichneten Referenzwerten verglichen. Bei einer festgestellten signifikanten Abweichung wird die laufende Bearbeitung bzw. Maschinenbewegung angehalten.

Die Erfindung betrifft insbesondere zuverlässige und robuste Auswerte- bzw. Vergleichsverfahren für die Messdaten von Entfernungsmesssensoren (1, 2, 3, 4) mit geometrisch unscharfem Erfassungsbereich (12, 13) bzw. statistischer Erfassungswahrscheinlichkeit, wie z.B. bei handelsüblichen industriellen Ultraschallsensoren (24), sowie die Erstellung geeigneter Referenzdaten zur Beschreibung der Sensorsignale (23) in einem regulären Arbeitsbereich.

Die erfindungsgemäßen Verfahren und Vorrichtungen berücksichtigen speziell die stochastische Natur der Objekterfassung und deren Auswirkungen auf die Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Messdaten.

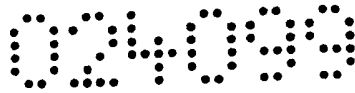
Allgemein gebräuchliche Roboter (5) und Werkzeugmaschinen aus dem Anwendungsbereich der Erfindung werden industriell zur Serienfertigung bzw. Serienbearbeitung von



Werkstücken (7) eingesetzt, beispielsweise zum Lackieren von Automobil-Karosserien (7) durch Lackierroboter (5). Kennzeichen solcher Roboter und Maschinen ist die vielfach repetitive Ausführung gleicher Bearbeitungssequenzen an einer Anzahl gleichartiger Werkstücke (7). Die zur Bearbeitung erforderlichen Bewegungen des Roboters werden einmalig programmiert bzw. aufgezeichnet (beim sogenannten „Teaching“) und dann automatisiert unter immer gleichen Bedingungen an einer großen Anzahl gleichartiger Werkstücke (7) vielfach wiederholt. Die Roboter (5) sind üblicherweise stationär aufgestellt oder quasi-stationär indem sie z.B. entlang von Führungsschienen eine gewisse Strecke verfahrbar sind.

Der Arbeitsbereich (9) eines solchen Roboters (5), also sein unmittelbarer physikalischer Einflussbereich, stellt einen Gefahrenbereich dar, in welchem von der Roboterkonstruktion selbst sowie von gegebenenfalls eingesetzten Werkzeugen (6) oder Werkstoffen eine prinzipielle Gefährdung für Personen und Sachwerte ausgeht. Die bewegten Massen und die Geschwindigkeiten sind vergleichsweise hoch und damit auch die erforderlichen Antriebskräfte. Die programmgesteuerten Abläufe und Bewegungen solcher Maschinen berücksichtigen nur regulär im Arbeitsbereich (9) angeordnete Objekte hinsichtlich der Vermeidung von Kollisionen oder gefährlichen Annäherungen. Nachträglich noch in den Arbeitsbereich eingebrachte oder gegenüber dem Ursprungszustand hinsichtlich ihrer Lage oder ihrer Gestalt veränderte Objekte sind jedoch kollisionsgefährdet. Zusätzlich zur Kollisionsgefahr besteht die Möglichkeit eines fehlerhaften Ergebnisses der vorgesehenen Bearbeitungssequenz, falls das zu bearbeitende Objekt nicht die Beschaffenheit, Lage oder Ausrichtung aufweist, welche bei der Programmierung vorausgesetzt wurde.

Zur Vermeidung oder Verringerung der Kollisionsgefahr im Programmierbetrieb (während dem sogenannten „Teachen“) des Roboters zufolge einer Fehlbedienung durch den Bediener existieren bereits eine ganze Reihe bekannter Ansätze. Zu den bekannten Maßnahmen gehören unter anderen: stark verminderte Geschwindigkeiten im Handbetrieb, die Definition von Sperrräumen in der Steuerungssoftware, eine Verwendung von Zustimmungstastern, eine Kraft- und Momentenbegrenzung der Antriebe während dem „Teachen“, eine Ausstattung der Roboter mit Abstandssensoren und eine Abgabe von Warnsignalen beim Unterschreiten bestimmter Mindestabstände (z.B. in JP 52155764 A (Masuda) und in JP 7049711 A (Tanaka)). Die Sicherheit wird hier trotz technischer Unterstützung zu einem

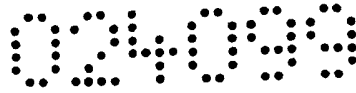


hohen Teil durch eine für die Bedienung entsprechend geschulte und befähigte Person und durch die Einhaltung einschlägiger Sicherheitsrichtlinien gewährleistet.

Im unbeaufsichtigten Automatikbetrieb unvorhergesehen in den Arbeitsbereich eingebrachte oder irregulär gestaltete oder angeordnete Objekte werden vom Bearbeitungsprogramm jedoch nicht berücksichtigt und von der Steuerung des Roboters nicht erfasst, bzw. erst nach einer erfolgten Kollision beim Ansprechen irgendwelcher Momenten- oder Strombegrenzungen. Auch kommt es immer wieder vor, dass ein zur Bearbeitung in den Arbeitsbereich eingebrachtes Werkstück nicht ordnungsgemäß positioniert ist, bereits beschädigt ist oder falsch konfiguriert ist, z.B. wenn eine Tür einer zur Lackierung eingebrachten Autokarosserie versehentlich nicht ganz geöffnet ist. In diesem Fall besteht die Gefahr einer Kollision des Roboters mit dem Werkstück, zumindest aber das Risiko der mangelhaften Ausführung der Bearbeitung (z.B. der Lackierarbeiten). Die im Falle einer Kollision möglichen Folgen können bei einer Personenbeteiligung fatal sein und selbst bei reinem Sachschaden durch beschädigte Werkzeuge oder Werkstücke und damit ebenfalls verbundenen Stillstandszeiten zumindest erhebliche Kosten verursachen.

Um derartige Fehler- und Gefahrensituationen im unbeaufsichtigten Automatikbetrieb abzuwenden, werden bekanntermaßen z.B. auch Schutzzäune vorgesehen bzw. durch einschlägige Sicherheitsbestimmungen vorgeschrieben, die den Zutritt von Personen zur Roboterzelle während des Automatikbetriebes verhindern sollen. Neben dem Montageaufwand und dem Platzbedarf solcher Schutzzäune verbleibt dabei jedoch noch immer das Problem der falsch positionierten oder konfigurierten Werkstücke, dem nachträglichen Einbringen oder Verändern von Objekten und natürlich auch einer prinzipiell möglichen mutwilligen Überlistung der Schutzfunktion des Schutzzaunes, z.B. im Zuge von Instandsetzungs- oder Servicearbeiten, bei denen solche Sicherheitsmaßnahmen von im Umfeld tätigen Personen oftmals als lästig empfunden werden.

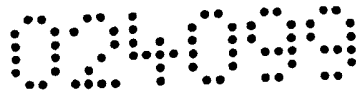
Weitere zum Teil ergänzende Ansätze sehen quasi als Ersatz für eine Beaufsichtigung durch eine Person die sensorische Überwachung des Arbeitsbereiches mittels bildgebender oder abstandsmessender Sensoren vor. Ansätze zur Kollisionsvermeidung aus dem Bereich der autonomen, mobilen Roboter, die vielfach auf die Einhaltung bestimmter Mindest- oder Sollabstände zwischen Roboter und den umgebenden Objekten oder auf die Modell-



bildung der Umgebung aus den Sensormessdaten abzielen (z.B. in US 5,319,611 A (Korba)), sind jedoch im Bereich der stationären Industrieroboter aus mehreren Gründen wenig geeignet. Einerseits befinden sich im Arbeitsbereich des Roboters, insbesondere im Nahbereich des Endeffektors üblicherweise zahlreiche Objekte bzw. Teile eines Werkstückes, die jedoch im Bearbeitungsprogramm durchaus berücksichtigt sind und keinerlei Kollisionsgefahr bedeuten, sensorisch jedoch genauso erfasst werden, wie etwaige fremde Objekte und von diesen nur unter Anwendung komplizierter Methoden mit hohem Aufwand (z.B. mittels Modellbildung) unterscheidbar sind. Weiters sind die lokalen Bewegungsgeschwindigkeiten stationärer industrieller Roboter und Werkzeugmaschinen aus Gründen der gewünschten kurzen Bearbeitungszeiten weitaus höher, als jene der derzeit üblichen mobilen autonomen Roboter, so dass hier die Verarbeitungszeit der Signale bzw. die zulässige Reaktionszeit bis zum Abbremsen des Roboters sowie die erforderliche Sensorreichweite eine erhebliche Rolle spielt. Auch der deutlich höhere Kostendruck bei den industriellen Fertigungsanwendungen gegenüber den immer noch eher den Sonder- und Einzelmaschinen zuzuordnenden autonomen Robotern samt der einfachen und raschen Inbetriebnahme und Neuprogrammierung macht diese vielfach beschriebenen Ansätze zur Kollisionsvermeidung für den industriellen Anwendungsbereich insgesamt wenig geeignet.

Vereinzelt wurden daher auch alternative Ansätze beschrieben, die speziell darauf abzielen, den Arbeitsbereich eines Roboters oder einer Werkzeugmaschine im Automatikbetrieb sensorisch zu erfassen und dabei die Sensordaten mit Referenzdaten aus einem zuvor aufgezeichneten regulären und ungestörten Bearbeitungsdurchgang zu vergleichen. Wird bei einem solchen Vergleich eine unzulässige Abweichung gegenüber dem Referenzzustand erkannt, wird der Bearbeitungszyklus unterbrochen und eine Störung signalisiert. Bei diesen Methoden entfällt eine aufwändige Modellierung der bekannten Objekte aus dem Arbeitsbereich und es sind insbesondere keine speziellen Programmierkenntnisse zur Anwendung erforderlich.

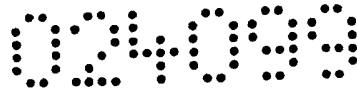
In der US 4,490,660 A (Tsuchihashi) wird ein solches Verfahren unter Verwendung einer Kamera beschrieben, welche in der Nähe des Endeffektors des Roboters an diesem befestigt ist. Vor der Freigabe einer Bewegung bzw. des jeweils nächsten Bearbeitungsschrittes prüft die Steuerung stets das aktuelle Kamerabild auf mögliche Abweichungen gegenüber einem zuvor aufgenommenen Referenzbild. Der nächste Bearbeitungsschritt wird nur frei-



gegeben, wenn ausreichende Übereinstimmung festgestellt wurde. Dieses Verfahren erfordert jedoch zumindest eine relativ teure, industrietaugliche Kamera, ausreichend gleich bleibende Licht- und Oberflächenverhältnisse sowie aufwändige Bildauswertungsverfahren. Hinzu kommt, dass hier ein kontinuierlicher Vergleich während der Bearbeitung bzw. einer Roboterbewegung nicht vorgesehen ist, sondern quasi als Startbedingung für den nächsten Arbeitsschritt nur ganz bestimmte Referenzpositionen bzw. -zustände optisch überprüft werden. Bereiche deutlich abseits des unmittelbaren Zielpunktes des Werkzeuges werden hier ebenfalls nicht erfasst, so dass hier eigentlich nur die korrekte Lage und Beschaffenheit des Werkstückes überprüfbar ist, nicht aber mögliche Kollisionen der restlichen, ebenfalls beweglichen Konstruktionsteile des Roboters mit irgendwelchen Hindernissen. Hinzu kommen Schwierigkeiten beim Kameraeinsatz in Bereichen mit hohem Verschmutzungsgrad, Staub- oder Sprühnebelbelastung oder in der Nähe eines Schweißlichtbogens.

In der Schrift JP 9193079 A (Kakisaka et. al.) wird ein ähnliches Prinzip unter Verwendung mehrerer, auf beweglichen Teilen des Roboters befestigten Abstandsmesssensoren, insbesondere Ultraschallsensoren beschrieben. Diese Sensoren sind deutlich robuster als Kameras und besser an raue Industriebedingungen angepasst, liefern jedoch anstatt eines zweidimensionalen Bildes typisch nur eindimensionale Entfernungsinformationen. Der beschriebene Ansatz sieht nun vor, die Entfernungsmesswerte während eines Bearbeitungsdurchganges in einem regulär gestalteten, d.h. ohne irgendwelche bei der Programmierung nicht berücksichtigten Hindernisse, als Referenzfall aufzuzeichnen und in nachfolgenden gleichen Bearbeitungsdurchgängen die jeweils aktuellen Messwerte mit den Referenzdaten zu vergleichen und im Falle festgestellter Abweichungen die Bearbeitung zu unterbrechen. Durch die Befestigung der Sensoren auf beweglichen Teilen des Roboters und damit der wechselnden Position und Ausrichtung der Sensoren wird der effektiv sensorisch erfasste bzw. überwachte Ausschnitt des Arbeitsbereiches gegenüber einem feststehenden Sensor vergrößert bzw. auf den unmittelbar gefährdeten Nahbereich des Roboters konzentriert.

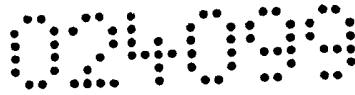
Obwohl diese Schrift einen Ansatz mit grundsätzlich günstigen Eigenschaften offenbart, wird keine für den industriellen Einsatz taugliche Ausführung der Erfindung beschrieben. Insbesondere werden spezifische praxisrelevante Eigenheiten und Nachteile der Verwen-



dung solcher Sensoren nicht berücksichtigt, so dass eine zuverlässige und hinsichtlich Fehlauflösungen robuste Lösung offen bleibt. Insbesondere werden keine robusten Verfahren zur Bewertung aktueller Messdaten hinsichtlich Übereinstimmung mit Messdaten des Referenzzustandes beschrieben.

Die beschriebenen Entfernungsmesssensoren, insbesondere die beschriebenen Ultraschallsensoren weisen unter industrietypischen Bedingungen und Umgebungen eine Reihe spezifischer Eigenschaften auf, die eine zuverlässige Erfassung eines Objektes erschweren. Das bedeutet insbesondere, dass alleine aufgrund von Änderungen der atmosphärischen Eigenschaften, wie z.B. Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Luftströmungen und Luftverwirbelungen, quantitative und qualitative Unterschiede in den Messdaten bei aufeinanderfolgenden Bearbeitungsdurchgängen auftreten. Manche dieser Abweichungen sind systematischer Natur, so dass sie prinzipiell unter Kenntnis der atmosphärischen Bedingungen durch Korrekturrechnungen oder durch entsprechend gestaltete Toleranzbänder berücksichtigt werden können. Es ändert sich jedoch ebenfalls der Erfassungsbereich der verwendeten Sensoren, insbesondere die Form und Ausdehnung der sogenannten Schallkeule bei Ultraschallsensoren bzw. die Signalstärke, mit der ein Objekt erfasst wird, so dass einmal bereits erfasste Objekte später nicht mehr erfasst werden oder aber auch zusätzliche Objekte erfasst werden und damit abschnittsweise gänzlich andere Messdaten auftreten, obwohl an der Gestalt des Arbeitsbereiches keine relevanten Änderungen vorgenommen wurden. Befinden sich mehrere Objekte im Erfassungsbereich, so liefern Sensoren häufig nur Messdaten zu einem, dem Sensor nächstgelegenen Objekt und die Reihe der erhaltenen Messdaten weist plötzlich einen Sprung auf, sobald ein Objekt im Vordergrund in den Erfassungsbereich eintritt oder aus diesem austritt. Manche Objekte werden auch nur sehr unsicher erfasst, wenn sie beispielsweise nur den Rand des Erfassungsbereiches streifen oder wenn sie nur kleine erfassbare Abmessungen bzw. Flächen aufweisen.

Durch die nicht idealen Eigenschaften, die den typischen Entfernungsmesssensoren in der Praxis anhaften, ist ein unmittelbarer quantitativer Vergleich aktuell gemessener Entfernungsinformationen mit zuvor aufgezeichneten Referenzdaten, soweit er im zitierten Stand der Technik beschrieben ist, für die Praxis untauglich, da er zu zahlreichen unerwünschten Fehlauflösungen und damit zu Stillstandszeiten führt und dadurch die in der Serienferti-



gung geforderten kurzen Bearbeitungszeiten der Roboter und Werkzeugmaschinen nicht realisierbar sind.

Aufgabe der gegenständlichen Erfindung ist die Schaffung von robusten und zuverlässigen Verfahren zur Überwachung des Arbeitsbereiches von Robotern oder Werkzeugmaschinen, welche für die repetitive Ausführung programmierter Bearbeitungssequenzen vorgesehen sind, hinsichtlich der Abweichung von einem regulären Referenzzustand unter Verwendung von sensorisch gewonnenen Entfernungsmessdaten. Diese Aufgabe der Erfindung wird durch die Merkmale des Anspruches 1 gelöst.

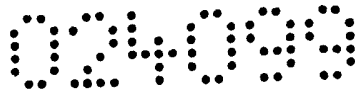
Eine Aufgabe der gegenständlichen Erfindung ist weiters die Schaffung von zuverlässigen Verfahren zur Erstellung von Referenzdaten, welche die statistisch unsicheren Erfassungseigenschaften der Sensoren zufolge unscharf begrenzter Erfassungsbereiche berücksichtigen. Diese Aufgabe der Erfindung wird durch die Merkmale des Anspruches 30 gelöst.

Eine Aufgabe der Vorliegenden Erfindung ist weiters die Schaffung von zuverlässigen Verfahren zur Ableitung von Güte- bzw. Fehlermaßen aus Entfernungsmessdaten und zur Zustandsprüfung des Arbeitsbereiches hinsichtlich der qualitativen Übereinstimmung mit einem aufgezeichneten Referenzzustand. Diese Aufgabe der Erfindung wird durch die Merkmale des Anspruches 37 gelöst.

Ebenfalls eine Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung von Verfahren zur Auswertung kleiner Verschiebungen einzelner Objekte des Arbeitsbereiches. Diese Aufgabe der Erfindung wird durch die Merkmale der Ansprüche 26 sowie 45 gelöst.

Eine Aufgabe der gegenständlichen Erfindung ist weiters die Schaffung einer Überwachungsvorrichtung bzw. einer Steuerung zur Durchführung der erfindungsgemäßen Verfahren, welche durch die Merkmale der Ansprüche 46 bzw. 47, 48 gelöst wird.

Die erfindungsgemäße Ausführung gemäß Anspruch 1 schafft ein Verfahren zur Überwachung des Arbeitsbereiches eines Roboters oder einer Werkzeugmaschine während der automatischen und repetitiven Bearbeitung einer Mehrzahl gleichartiger Werkstücke unter Verwendung eines handelsüblichen und robusten Entfernungsmessensors. Das Verfahren erfordert keine a priori Informationen, also keine spezielle und komplexe geometrische Modellbildung zur Unterscheidung bekannter regulärer Objekte von unbekanntem oder



falsch angeordneten Objekten, sondern beschreibt einen regulären Arbeitsbereich durch Referenzdaten, welche aus Messdaten des Sensors während eines Trainingsbetriebes gewonnen werden. Die während des Überwachungsbetriebes erfassten zweiten Messdaten werden unter Verwendung der Referenzdaten fortlaufend in Echtzeit für eine Zustandsprüfung hinsichtlich des Vorliegens eines regulären Zustandes des Arbeitsbereiches überprüft. Werden unplausible, d.h. qualitativ abweichende Messdaten festgestellt, wird daraus auf einen nicht regulären Arbeitsbereich geschlossen und die laufende Bearbeitungssequenz unterbrochen und damit eine Gefährdung durch eine mögliche Kollision oder eine fehlerhafte Bearbeitung des Werkstückes frühzeitig abgewandt.

Vorteilhaft bei dieser erfindungsgemäßen Ausführung ist weiters, dass die Referenzdaten für einen bestimmten Sequenzabschnitt der Bearbeitungssequenz nicht nur einen bestimmten Soll-Entfernungsmesswert berücksichtigen bzw. zulassen, sondern mehrere mögliche Objektdistanzen zufolge alternativ oder gleichzeitig erfasster Objekte oder eines definiert variabel positionierten Objektes berücksichtigt werden. Damit wird sowohl der unsicheren Erfassungswahrscheinlichkeit von Objekten im unscharfen Erfassungsbereich des Entfernungssensor als auch tolerierbaren Positionsabweichungen einzelner Objekte Rechnung getragen. Dadurch wird gegenüber dem Stand der Technik eine deutlich verbesserte Robustheit hinsichtlich unerwünschter Fehlauflösungen bei gleichzeitig raschem Ansprechen erzielt. Insbesondere genügen dadurch kürzere Filterlängen bzw. höhere Grenzfrequenzen, was gleichbedeutend mit einer kürzeren Beobachtungsdauer ist.

Die vorteilhafte Ausführung nach Anspruch 2 schafft ein Verfahren, bei dem durch die Verwendung von Synchronisationsinformationen der Steuerung auf wechselnde Bearbeitungs- bzw. Bewegungsgeschwindigkeiten zwischen mehreren aufeinander folgenden Bearbeitungsdurchgängen oder auch auf variable Grundgeschwindigkeiten oder Unterbrechungen innerhalb eines Bearbeitungsdurchganges reagiert werden kann und eine reproduzierbare Zuordnung von Messdaten und Referenzdaten ermöglicht wird. Die Aufnahme von Referenzdaten für unterschiedliche Grundgeschwindigkeiten wird dadurch weitgehend erübrigt.

Die vorteilhafte Ausführung gemäß Anspruch 3 schafft ein Verfahren mit einer verbesserten sensorischen Abdeckung des Arbeitsbereiches durch Verwendung einer Mehrzahl von



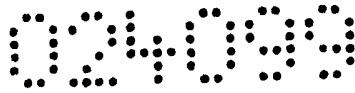
Sensoren und damit einer höheren Wahrscheinlichkeit des frühzeitigen Erkennens eines nicht regulären Zustandes des Arbeitsbereiches.

Durch die vorteilhafte Ausgestaltung nach Anspruch 4 kommt eine besonders robuste und im industriellen Einsatz langjährig erprobte Klasse von Entfernungsmesssensoren zum Einsatz.

Durch die vorteilhafte Ausgestaltung nach Anspruch 5 ist es möglich, nicht nur das einem Sensor im sensorischen Erfassungsbereich nächstliegende Objekt zu erfassen, sondern eine entsprechende Mehrzahl von Objekten. Der Sensor bzw. die damit verbundene Auswerteinrichtung ist somit durch ein erfasstes, nahe liegendes Objekt nicht mehr „blind“ für weiter weg liegende Objekte. Der überwachte Ausschnitt des Arbeitsbereiches wird dadurch vergrößert und die Sicherheit verbessert.

Durch die vorteilhafte Ausgestaltung nach Anspruch 6 wird die effektive Messrate erhöht und damit die Datenbasis verbreitert. Weiters kann die Position eines Objektes beim Eintritt oder Austritt aus dem Erfassungsbereich eines Ultraschallsensors durch die dichtere Pulsfolge genauer lokalisiert werden. Da die Pulsfolge dichter ist, als die Echolaufzeit bei maximaler Messentfernung, ist die tatsächliche Entfernung zwar nicht mehr eindeutig bestimmbar, das Messergebnis jedoch trotzdem reproduzierbar und sind Abweichungen zufolge von Veränderungen im Arbeitsbereich erkennbar.

Durch die vorteilhafte Ausgestaltung nach Anspruch 7 ist es möglich, kürzere Messintervalle bzw. höhere Messraten je Sensor vorzusehen. Da es bei dem erfindungsgemäßen Verfahren nicht auf die tatsächlichen Entfernungen und Objektabstände ankommt, sondern nur auf die Reproduzierbarkeit der aufgenommenen Messwerte bzw. deren Abweichungen zufolge einer Störung gegenüber einem Referenzzustand, kann ein Übersprechen von einem Sensor auf einen anderen durchaus toleriert werden. Durch die verkürzten Messintervalle wird einerseits die sensorische Erfassung des sich verändernden Arbeitsbereiches dichter und damit sicherer, zum Anderen wird durch die höhere Anzahl von Messwerten eine breitere Datenbasis zur Zustandsprüfung für das Vorliegen eines regulären Arbeitsbereichs geschaffen und dadurch das Risiko für Fehlauflösungen verringert.



Durch die vorteilhafte Ausgestaltung nach Anspruch 8 wird sichergestellt, dass eine ausreichend breite Datenbasis zur Erstellung der Referenzdaten herangezogen wird, indem auch diverse kleine reguläre Variationen im Arbeitsbereich sowie kleinere zeitliche Asynchronitäten („Jitter“) berücksichtigt werden. Damit wird ein robusteres und zuverlässigeres Verfahren zur Arbeitsbereichsüberwachung mit geringerer Wahrscheinlichkeit für Fehlauflösungen geschaffen.

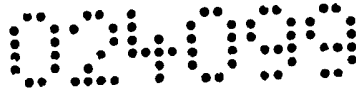
Durch die vorteilhafte Ausgestaltung nach Anspruch 9 wird sichergestellt, dass leichte Abweichungen in den tatsächlichen Bahnkurven, die bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten durch unterschiedliches Überschleifen der Bahn zufolge üblicherweise eingesetzter Interpolations- und Bahnoptimierungsalgorithmen in der Robotersteuerung oder in den einzelnen Achsreglern zustande kommen, in den Referenzdaten berücksichtigt werden. Damit wird ein robusteres und zuverlässigeres Verfahren zur Arbeitsbereichsüberwachung mit verringerter Wahrscheinlichkeit für Fehlauflösungen ermöglicht.

Die vorteilhafte Ausgestaltung nach Anspruch 10 ermöglicht eine besonders einfache Anordnung sowie die schwerpunktmäßige ständige Überwachung eines kritischen Ausschnittes des Arbeitsbereiches.

Die vorteilhafte Ausgestaltung nach Anspruch 11 ermöglicht eine Überwachung eines größeren Sektors des Arbeitsbereiches, wobei der Schwerpunkt der Überwachung automatisch auf jene Bereiche gerichtet ist, die von den Roboter- oder Maschinenteilen zum jeweiligen Zeitpunkt durchfahren werden.

Durch die vorteilhafte Ausgestaltung nach Anspruch 12 ist es möglich, abhängig von den gerade laufenden oder unmittelbar bevorstehenden Bewegungen und Bearbeitungsschritten durch Ausrichtung des Erfassungsbereiches eines Sensors besonders kritische Teile des Arbeitsbereiches gezielt oder verstärkt zu überwachen. Dabei kann z.B. der Erfassungsbereich eines Sensors, der am Ende eines Roboterarmes befestigt ist, in Richtung der geplanten Bewegung des Endeffektors ausgerichtet werden.

Durch die vorteilhafte Ausgestaltung nach Anspruch 13 können bestimmte Sensoren vorübergehend ausgeblendet werden, wenn diese in einem bestimmten Sequenzabschnitt mit ihrem Erfassungsbereich solche Teile des Arbeitsbereiches erfassen, in denen auch im



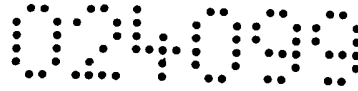
ungestörten Fall keine konstanten geometrischen Verhältnisse zu erwarten sind. In solchen Bereichen können beispielsweise während der Bearbeitung abgetrennte Teile des Werkstückes zu liegen kommen oder sich veränderliche Stapel einer Mehrzahl unbearbeiteter oder bearbeiteter Werkstücke befinden. Weiters können sich in solchen Bereichen beispielsweise auch asynchron rotierende Maschinenteile oder Ventilatoren befinden. Durch diese Ausgestaltung kann weiters verhindert werden, dass es bei entsprechender Ausrichtung der Sensoren zu einer unerwünschten Querbeeinflussung mit benachbarten Robotern oder Werkzeugmaschinen mit jeweils asynchron laufenden Bearbeitungsvorgängen kommt. Die Gefahr eines fehlerhaften Auslösens der Überwachungsvorrichtung kann demgemäß verringert werden.

Durch die vorteilhafte Ausgestaltung nach Anspruch 14 und Anspruch 15 kann ähnlich wie zuvor bei der Ausgestaltung nach Anspruch 13 der in die Überwachung einbezogene Arbeitsbereich genauer vorgegeben werden und so ebenfalls die Gefahr eines fehlerhaften Auslösens der Überwachungsvorrichtung verringert werden.

Durch die vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens nach Anspruch 16 wird sichergestellt, dass auch nach einem zwischenzeitlichen Abschalten der gesamten Anlage oder zumindest der Überwachungseinrichtung bei der erneuten Aktivierung kein erneuter Trainingsbetrieb zum Aufbau von Referenzdaten erforderlich ist, sondern die Überwachungseinrichtung die Überwachung wunschgemäß unmittelbar aufnehmen kann.

Durch die Ausgestaltung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 17 oder 18 können passend ermittelte Referenzdatensätze für verschiedene Bearbeitungssequenzen oder verschiedene Werkstücke kurzfristig zugreifbar gehalten werden. Dadurch kann ohne erneuten Trainingsbetrieb eine durchgehende Überwachung des Arbeitsbereiches auch dann erfolgen, wenn der Roboter oder die Werkzeugmaschine abwechselnd unterschiedliche Werkstücktypen bearbeitet.

Durch die vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens nach Anspruch 19 werden die Referenzdaten auch im laufenden Überwachungsbetrieb langsam an sich im Laufe der Zeit verändernde Messdaten angepasst. Erstmalig kleine Abweichungen der aktuellen Entfernungsinformationen gegenüber den jeweiligen Referenzdaten zufolge nur sporadisch und schwach erfasster Objekte werden dabei noch nicht als Fehler gewertet, jedoch zur weite-



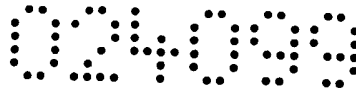
ren Anpassung der Referenzdaten verwendet. Wenn diese zunächst nur sporadisch erfassten Objekte später regelmäßiger erfasst werden (z.B. zufolge Temperaturänderung), wird kein Abbruch der Bearbeitungssequenz veranlasst, obwohl sie eine massive Abweichung gegenüber den ursprünglichen Referenzdaten aus dem vorangegangenen Trainingsbetrieb darstellen. Nur bei plötzlicher, d.h. erstmalig bereits entsprechend massiver Abweichung der laufenden Messwerte wird von einem nicht regulären Arbeitsbereich ausgegangen und die Bearbeitungssequenz unterbrochen. Es werden also plötzlich massiv auftretende Änderungen als Fehler erkannt, während allmählich veränderliche Messdaten zu einer vorteilhaften Anpassung der Referenzdaten führen.

Durch die vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens nach Anspruch 20 wird eine Korrekturmöglichkeit für die erfassten Messwerte geschaffen, durch welche systematische Messwertfehler zumindest teilweise kompensiert werden können. Typische Fehlereinflüsse sind bei Verwendung von Ultraschallentfernungssensoren beispielsweise Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck, die allesamt die Schallgeschwindigkeit c_s und damit die ermittelten Entfernungsinformationen M beeinflussen.

Durch die vorteilhafte Ausgestaltung nach Anspruch 21 wird eine Korrekturmöglichkeit für die erfassten Messwerte geschaffen, durch welche systematische Messwertfehler zumindest teilweise kompensiert werden können, welche z.B. darauf beruhen, dass einzelne Ultraschallsensoren auch während der Echolaufzeit bewegt werden.

Bei der vorteilhaften Ausgestaltung nach Anspruch 22 wird eine Korrektur systematischer Messwertfehler auch hinsichtlich der Zuordnung der Messwerte zu einem bestimmten Sequenzabschnitt vorgenommen. Da insbesondere bei der Verwendung von Ultraschallsensoren die Entfernungsbestimmung ein zeitbehafteter Vorgang ist und der Roboter oder die Werkzeugmaschine dabei im Allgemeinen in Bewegung ist, ist hier insbesondere bei hohen Geschwindigkeiten eine Rückrechnung etwa auf einen fiktiven Messzeitpunkt zwischen dem Aussenden eines Ultraschallbursts und dem Empfang des Echos zweckmäßig.

Eine weitere Erhöhung der Zuverlässigkeit der Überwachung wird durch die vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens nach Anspruch 23 erzielt. Dabei wird beispielsweise besonders bei der Verwendung von Ultraschallentfernungsmesssensoren die Möglichkeit genutzt, nicht nur die primären Messwerte in Form von Entfernungsinformationen zu ver-



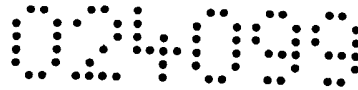
werten, sondern auch z.B. die Amplitude des empfangenen Echo-Bursts. Aus dieser Zusatzinformation sind gewisse Rückschlüsse auf die Gestalt des detektierten Objektes möglich, zumindest aber auf die Zuverlässigkeit, mit der dieses Objekt bei wiederholten Messungen erfasst werden kann und damit auch, welche Signifikanz einer Erfassung bzw. Nichterfassung des Objektes hinsichtlich der Arbeitsbereichsüberwachung beigemessen werden kann.

Eine Erhöhung der Zuverlässigkeit der Überwachung gegen Fehlauflösungen wird durch die vorteilhafte Ausgestaltung nach Anspruch 24 erzielt. Durch die Überlappung der Sequenzabschnitte werden diese etwas breiter und es kommt zu einer Art Glättungseffekt bei den dem jeweiligen Abschnitt zugeordneten Referenzdaten bzw. bei der Auswertung der charakteristischen Häufungsbereiche, so dass veränderte Entfernungsinformationen zufolge von „Jitter“ oder geringem zeitlichen Versatz zwischen Bewegung und Messzeitpunkt besser ausgeglichen werden.

Eine Ausgestaltung des Verfahrens nach Anspruch 25 führt zu einem zu Anspruch 24 vergleichbaren Effekt. Dabei werden bei der Zustandsprüfung hinsichtlich des Vorliegens eines regulären Arbeitsbereiches nicht nur die Referenzdaten des jeweils zugeordneten Sequenzabschnittes berücksichtigt, sondern auch die Referenzdaten benachbarter Sequenzabschnitte. Es werden dabei die in den Referenzdaten abgebildeten Messdaten mehrerer benachbarter Sequenzabschnitte übereinander gelegt.

Bei der Ausgestaltung des Verfahrens nach Anspruch 26 kann die genaue Position eines Objektes innerhalb eines kleinen Bereiches entlang einer vorgegebenen Geraden, beispielsweise auf einer förderbandähnlichen Transporteinrichtung, bestimmt und in die Überwachung einbezogen werden, ohne dafür speziell weitere Sensoren vorsehen zu müssen. Das positionsproportionale Fehlermaß p_2 kann dann nicht nur zur Überwachung bestimmter maximal zulässiger Abweichungen, sondern unter gewissen Voraussetzungen auch zur automatischen Korrektur entweder der Position des Objektes oder der Bearbeitungssequenz herangezogen werden.

Bei einer Ausgestaltung nach Anspruch 27 wird die Bewegung des Roboters oder der Werkzeugmaschine dahingehend gestaltet oder optimiert, dass absehbar typische Fehler-situationen, wie z.B. ein falsch positioniertes Werkstück (7) oder ein falsch konfiguriertes

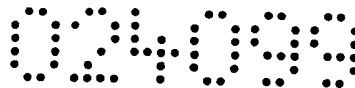


Werkstück (7), möglichst frühzeitig, d.h. idealerweise noch vor einem Werkzeugeinsatz zuverlässig erkannt werden kann. Dabei werden die Erfassungsbereiche der Sensoren auf charakteristische und zuverlässig erfassbare Werkstückteile (d.h. Kanten oder gewölbte Flächen) ausgerichtet.

Bei der Ausgestaltung nach Anspruch 28 ist zusätzlich zu den zuvor beschriebenen Entfernungsmesssensoren noch zumindest ein weiterer Sensor zur Überwachung einer im Verlauf der Bearbeitungssequenz veränderlichen physikalischen Prozessgröße, z.B. Druck, Temperatur, Schließkraft oder dergleichen, vorgesehen. Die Messwerte dieses Sensors werden analog zu den Entfernungsmesswerten im Trainingsbetrieb aufgezeichnet und in die Referenzdaten einbezogen und in weiterer Folge im Überwachungsbetrieb mit diesen Referenzdaten verglichen. Damit können neben der geometrischen Ausgestaltung des Arbeitsbereiches in gleicher Weise weitere Prozesskenngrößen mit einem regulären Referenzzustand verglichen werden und kann bei unzulässigen Abweichungen die Bearbeitungssequenz rechtzeitig unterbrochen werden.

Durch die Maßnahmen nach Anspruch 29 ist eine einzelne, durch mehrere jeweils unabhängige Bearbeitungsstationen einer Fertigungslinie durchgehend verlaufende Fördereinrichtung für eine sequenzielle Ausführung unterschiedlicher Bearbeitungssequenzen an einer Mehrzahl von Werkstücken verwendbar, ohne dass die Abstände der Bearbeitungsstationen entlang der Fördereinrichtung mit den Abständen der Werkstücke auf der Fördereinrichtung übereinstimmen müssen. Dadurch wird der Aufbau von platzoptimierten und gleichzeitig rationellen Fertigungslinien ermöglicht. Weiters können dadurch auch große Werkstücke bearbeitet werden, die nicht vollständig innerhalb der Reichweite des stationären Roboters Platz finden. Weiters kann dadurch das Werkstück auch an im Wesentlichen statisch angeordneten Werkzeugen (z.B. Stanz-, Säge- oder Fräsvorrichtungen) oder Prüfeinrichtungen vorbeibewegt werden.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren nach Anspruch 30 werden geeignete Referenzdaten für die Anwendung in einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 29 erstellt. Dabei werden in einer statistisch ausreichend breiten Datenbasis erste Entfernungsinformationen bzw. charakteristische Häufungsstellen erfasst und durch Kennzahlen beschrieben. Diese Kennzahlen charakterisieren dann in einer kompakten Form den regulären Ar-



beitsbereich und bilden die Referenzdaten für die spätere Zustandsprüfung der zweiten Entfernungsinformationen im Überwachungsbetrieb.

Durch die Ausgestaltung des Verfahrens nach Anspruch 31 werden Referenzdaten bereitgestellt, mit deren Hilfe im späteren Überwachungsbetrieb das genaue Ausmaß einer kleinen Objektverschiebung bestimmbar und mit Grenzwerten vergleichbar und/oder zur Korrektur der Objektposition oder der Roboterbewegung verwendbar ist.

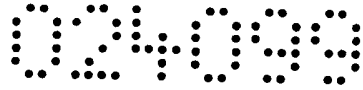
Durch die spezielle Ausgestaltung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 32 bis 35 werden die Referenzdaten in einer für die Speicherung und die spätere Zustandsprüfung besonders vorteilhaften Weise beschrieben.

Durch die spezielle Ausgestaltung des Verfahrens nach Anspruch 36 werden typische standardisierte Modelle für die Häufigkeitsverteilung der Entfernungsinformationen angenommen, welche eine einfache Beschreibung durch charakteristische Kennzahlen sowie deren Bestimmung ermöglichen.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren nach Anspruch 37 wird ein Verfahren zur laufenden Zustandsprüfung des Arbeitsbereiches aus den während des Überwachungsbetriebes gewonnenen zweiten Entfernungsinformationen geschaffen, bei dem diese hinsichtlich der Abweichungen gegenüber dem regulären Arbeitsbereich beurteilt werden und daraus eine Entscheidung über das Vorliegen eines regulären bzw. eines nicht regulären Arbeitsbereiches abgeleitet wird.

Das Verfahren nach Anspruch 38 berücksichtigt speziell jene Fälle, in denen zusätzlich in den Arbeitsbereich eingebrachte oder falsch positionierte Objekte erfasst werden und dadurch Entfernungsinformationen in den Messdaten aufscheinen, die in den Referenzdaten nicht abgebildet sind. Hier bedeuten also zusätzliche oder falsche Entfernungsinformationen das Vorliegen eines nicht regulären Arbeitsbereiches. Ein Beispiel für eine solche Auswertung ist in Fig. 9 dargestellt.

Das Verfahren nach Anspruch 39 berücksichtigt speziell jene Fälle, in denen im regulären Arbeitsbereich regelmäßig mit hoher Wahrscheinlichkeit erfasste und in den Referenzdaten abgebildete Entfernungsinformationen im Überwachungsbetrieb plötzlich nicht mehr registriert werden. Dies kann der Fall sein, wenn Objekte aus dem Arbeitsbereich entfernt



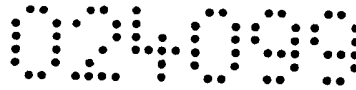
werden, falsch positioniert werden oder aber auch wenn sie von anderen irregulär angeordneten Objekten verdeckt werden. Hier bedeuten also fehlende oder falsche Entfernungsinformationen das Vorliegen eines nicht regulären Arbeitsbereiches. Ein Beispiel für eine solche Auswertung ist in Fig. 11 dargestellt.

Durch die vorteilhafte Ausgestaltung nach Anspruch 40 werden nicht nur aktuelle sondern auch zeitlich zurückliegende zweite Entfernungsinformationen bei der Bildung des zweiten Fehlermaßes berücksichtigt. Es wird also ein bestimmter vergangener Ausschnitt betrachtet, somit die Breite der Datenbasis für die Zustandsprüfung erhöht und damit die Zuverlässigkeit der Aussage erhöht bzw. die Gefahr von Fehlauflösungen verringert. Der Effekt entspricht einer Glättung oder Filterung einer Folge von Werten des ersten Fehlermaßes p_1 zu einer Folge von Werten des zweiten Fehlermaßes p_2 . Daher kommen auch vorzugsweise allgemein bekannte Mittel aus dem Bereich der diskreten Signalverarbeitung, insbesondere Tiefpassfilter in FIR- oder IIR-Struktur oder die Spezialfälle einer linearen Mittelwertbildung über eine gewisse Anzahl vergangener Werte, einer exponentiellen Mittelwertbildung oder einer Polynomapproximation zum Einsatz. Durch die Glättung bzw. Filterung erhöht sich typischer Weise zwar die Reaktionszeit für das Erkennen eines nicht regulären Arbeitsbereiches, dafür führen einzelne und nur sporadisch auftretende Fehlmessungen noch nicht zu einer unerwünschten Fehlauflösung. Der Abschnitt zur Glättung bzw. Filterung ist als Block bzw. Teil (65) in der Fig. 8 dargestellt.

Durch die vorteilhafte Ausgestaltung nach Anspruch 41 werden die Informationen zufolge einer Mehrzahl von zur Überwachung vorgesehener Entfernungsmessensoren zu einem gemeinsamen Fehlermaß p_3 zusammengefasst. In diesem dritten Fehlermaß ist nun gewissermaßen der Zustand des gesamten, von den Sensoren gemeinsam erfassten Ausschnittes des Arbeitsbereiches abgebildet. Fig. 13 zeigt beispielhaft eine solche Verknüpfung mehrerer Fehlermaße $p_{2,\alpha}$, $p_{2,\beta}$ und $p_{2,\gamma}$ zum Gesamtfehlermaß p_3 .

Durch die vorteilhafte Ausgestaltung nach Anspruch 42 ist eine einfache Verknüpfung mehrerer Wahrscheinlichkeitsmaße durch bekannte Standardverknüpfungen und auch eine einfache Festlegung von Vergleichs- und Grenzwerten möglich.

Die Vorteilhafte Ausgestaltung nach Anspruch 43 ermöglicht die einfache Vorgabe eines Entscheidungskriteriums sowie die rasche Einflussnahme auf die Steuerung und den Bear-

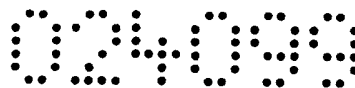


beitungsvorgang zur Abwendung einer Gefahrensituation unmittelbar nach dem Erkennen eines nicht regulären Arbeitsbereiches. Beispiele für eine solche Ausgestaltung sind als Teile in den Fig. 8 und 13 dargestellt.

Durch die vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens nach Anspruch 44 wird gewissermaßen eine Vorwarnstufe eingeführt, bei deren Ansprechen die Bearbeitung zwar noch nicht unterbrochen wird, jedoch bereits ein Signal zur Verminderung der Maschinengeschwindigkeit abgesetzt wird. So kann bereits frühzeitig beim ersten Erfassen nicht regulärer Messdaten ein Abbremsvorgang eingeleitet werden. Wird das Vorliegen eines nicht regulären Arbeitsbereiches dann durch weitere Messdaten bestätigt, kommt es zur Unterbrechung der Bearbeitung mit bereits verkürztem Bremsweg. Weisen nachfolgende Messungen jedoch wieder auf einen ungestörten regulären Arbeitsbereich hin, so wird die Bearbeitungsgeschwindigkeit wieder auf den Normalwert erhöht. Insgesamt erhält man durch dieses Verfahren eine frühzeitige Reaktion bei nicht regulärem Arbeitsbereich ohne jedoch bei kurzen sporadischen Abweichungen zufolge irgendwelcher Messeinflüsse unerwünschte Bearbeitungsabbrüche auszulösen.

Durch die Ausgestaltung des Verfahrens nach Anspruch 45 wird ein Fehlermaß p_1 gebildet, das für kleine Abweichungen der Position eines Objektes einen zur Verschiebung proportionalen Wert liefert. Dadurch wird die einfache Vorgabe eines Grenzwertes für die Freigabeentscheidung ermöglicht sowie gegebenenfalls die Verwendung des Fehlermaßes zur Korrektur der Lage des Objektes oder zur Anpassung der Bewegungen des Roboters oder der Werkzeugmaschine an die tatsächliche Position des Objektes ermöglicht. Ein Beispiel zur Bildung eines derartigen Fehlermaßes zeigt Fig. 15.

Durch die erfindungsgemäße Vorrichtung nach Anspruch 46 wird eine Überwachungsvorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geschaffen, welche die Signale von zumindest einem Entfernungsmesssensor erfasst, eine Zustandsprüfung auf Basis gespeicherter Referenzdaten durchführt, das Vorliegen eines regulären Arbeitsbereiches entscheidet und über eine Schnittstelle mit der Steuerung des Roboters oder der Werkzeugmaschine Synchronisations- und Freigabeinformationen austauscht.



Durch eine erfinderische Vorrichtung nach Anspruch 47 wird eine Steuerung mit geeigneten Mitteln zur datentechnischen Anbindung an eine Überwachungs Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geschaffen.

Die vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung nach Anspruch 48 schafft eine voll integrierte und kostengünstige Steuerungslösung mit integrierter Arbeitsbereichsüberwachung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Prozessoren, Speicher und andere Signal- und Datenverarbeitungsmittel, wie sie für die Steuerung von Robotern oder Werkzeugmaschinen üblich bzw. erforderlich sind, können somit bei ausreichender Leistung unmittelbar auch für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eingesetzt werden. Begünstigt wird ein solches Vorgehen durch den vergleichsweise geringen algorithmischen Aufwand zur Umsetzung der beschriebenen Verfahren und die damit eher geringen erforderlichen Rechenleistungen.

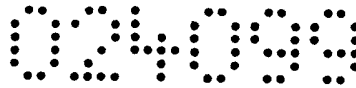
Anspruch 49 schafft einen Roboter und eine Werkzeugmaschine mit einer Überwachungs Vorrichtung zur Durchführung der erfindungsgemäßen Verfahren zur Arbeitsbereichsüberwachung.

Anspruch 50 schafft einen Roboter und eine Werkzeugmaschine mit einer Steuerung zur Durchführung der erfindungsgemäßen Verfahren zur Arbeitsbereichsüberwachung.

Durch das Verfahren zum Betreiben einer datentechnischen Wirkverbindung gemäß Anspruch 51 wird eine zuverlässige Zuordnung fortlaufend registrierter Messdaten bzw. Entfernungsinformationen zur entsprechenden Szene bzw. dem korrespondierenden Sequenzabschnitt der Bearbeitungssequenz ermöglicht und damit weiters eine korrespondierende Zuordnung von Referenzdaten für die Zustandsprüfung ermöglicht.

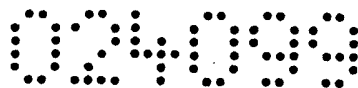
Durch das Verfahren zum Betreiben einer datentechnischen Wirkverbindung gemäß Anspruch 52 wird ein zuverlässiges und rasches Unterbrechen der Bearbeitungssequenz zur Abwehr einer potenziellen Gefahrensituation bei einem als nicht regulär erkannten Arbeitsbereich ermöglicht.

Die Erfindung wird im Nachfolgenden anhand der in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert.



Es zeigen:

- Fig. 1 schematisiert eine Roboterzelle mit einem Knickarmroboter zum Lackieren einer Automobilkarosserie als möglichen und typischen Anwendungsfall der gegenständlichen Erfindung. Es sind mehrere Ultraschallentfernungsmesssensoren zur sensorischen Erfassung von Objekten im Arbeitsraum vorgesehen;
- Fig. 2 wesentliche Systemkomponenten einer Roboter-Applikation mit einer erfindungsgemäßen Überwachungsvorrichtung sowie deren wesentlichen signal- und datentechnischen Verknüpfungen.;
- Fig. 3 einen Entfernungsmesssensor, insbesondere einen Ultraschallentfernungsmesssensor, mit einem räumlich unscharfen Erfassungsbereich mit inhomogener Erfassungsempfindlichkeit sowie mehreren exemplarisch darin angeordneten Objekten;
- Fig. 4 schematisiert und exemplarisch den Signalverlauf am Wandlerelement eines Ultraschallentfernungssensors und den daraus abgeleiteten Sensorsignalen in Abhängigkeit der Echolaufzeit und der Echoamplitude zufolge mehrerer unterschiedlicher erfasster Objekte;
- Fig. 5 exemplarisch die Entfernungsmesswerte von einem Entfernungsmesssensor in Abhängigkeit des Fortganges einer Bearbeitungssequenz sowie deren Zuordnung zu einzelnen definierten Sequenzabschnitten und deren Ausbildung charakteristischer Häufungsbereiche;
- Fig. 6 ein Beispiel für eine Häufigkeitsverteilung von Entfernungsmessdaten eines Sensors für einen bestimmten Sequenzabschnitt mit zwei charakteristischen Häufungsbereichen;
- Fig. 7 die wesentlichen Funktionsblöcke oder -einheiten einer erfindungsgemäßen Überwachungsvorrichtung sowie deren wesentlichen sig-



- nal- und datentechnischen Verknüpfungen untereinander und mit der externen Peripherie;
- Fig. 8 die Grundstruktur der Zustandsprüfung für einen einzelnen Entfernungsmesssensor als Kernfunktion der erfindungsgemäßen Verfahren und Vorrichtungen sowie eine mögliche Detailgestaltung für deren Teilblöcke Fehlerbestimmung, Glättung und Freigabeentscheidung;
- Fig. 9 eine alternative und verbesserte Ausgestaltung der Fehlerbestimmung als Teilblock der Zustandsprüfung mit normiertem Fehlermaß;
- Fig. 10 eine Erweiterung der Grundstruktur der Fehlerbestimmung nach Fig. 8 oder Fig. 9 für die Auswertung von Mehrfachechos einer Messung;
- Fig. 11 eine weitere Ausgestaltung der Fehlerbestimmung als Teilblock der Zustandsprüfung welche Abweichungen des Arbeitsbereiches anhand eines erwarteten, jedoch nicht erfassten Messwertes bestimmt und dabei die zuvor beobachtete Erfassungswahrscheinlichkeit des Messwertes einbezieht;
- Fig. 12 eine Erweiterung der Grundstruktur der Fehlerbestimmung nach Fig. 11 für die Auswertung mehrerer Referenzwerte eines Sequenzabschnittes;
- Fig. 13 eine Verknüpfung der Fehlermaße zufolge mehrerer Entfernungsmesssensoren sowie den Vergleich mit einem gemeinsamen Grenzwert zur Bildung eines gemeinsamen Freigabe- bzw. Sperrsignals;
- Fig. 14 eine Darstellung der Auswirkung einer kleinen Objektverschiebung auf die Änderung der Entfernungsmesswerte in Abhängigkeit der Verschiebungsrichtung relativ zum Ortsvektor einer Objektkante;
- Fig. 15 eine weitere Ausgestaltung der Fehlerbestimmung und der Zustandsprüfung zur gezielten Positionsüberwachung eines Einzelobjektes innerhalb des Arbeitsbereiches.

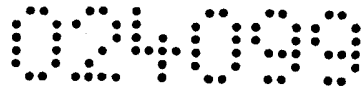


Einführend sei festgehalten, dass in den unterschiedlich beschriebenen Ausführungsformen gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen versehen werden, wobei die in der gesamten Beschreibung enthaltenen Offenbarungen sinngemäß auf gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen übertragen werden können. Auch sind die in der Beschreibung gewählten Lageangaben, wie z.B. oben, unten, seitlich usw. auf die unmittelbar beschriebene sowie dargestellte Figur bezogen und sind diese bei einer Lageänderung sinngemäß auf die neue Lage zu übertragen. Weiters können auch Einzelmerkmale oder Merkmalskombinationen aus den gezeigten und beschriebenen unterschiedlichen Ausführungsbeispielen für sich eigenständige, erfinderische oder erfindungsgemäße Lösungen darstellen.

Zum besseren Verständnis der Erfindung werden im Nachfolgenden häufig verwendete Begriffsdefinitionen näher erläutert:

Programmierbetrieb: Im Programmierbetrieb eines Roboters oder einer Werkzeugmaschine erfolgen einzelne Bewegungen oder Bearbeitungssequenzen nur zufolge unmittelbarer Befehlseingabe durch eine Bedienperson bzw. eines Programmierers. Der Programmierer verwendet dafür gewöhnlich ein mobiles Handbediengerät, mit welchem er sich in die Nähe des Endeffektors oder Werkzeuges des Roboters begeben kann, um ausreichend gute Sicht auf Werkstück und Werkzeug zu haben. Die manuell programmierten Bearbeitungssequenzen werden gespeichert, so dass sie später im Automatikbetrieb an gleichartigen Werkstücken ohne weitere Personenbeteiligung repetitiv ausgeführt werden können. Die Sicherheit für Personen und Sachwerte wird im Programmierbetrieb durch verschiedene Hilfsmittel (z.B. Zustimmungstaster, Abstandswarner) und Einschränkungen (z.B. stark verminderte Geschwindigkeiten) verbessert. Die Sicherheit liegt aber trotzdem weitgehend in der Verantwortung des Programmierers, der während des Programmierbetriebes eine Aufsichtsfunktion über den gesamten Arbeitsbereich des Roboters oder der Werkzeugmaschine wahrnimmt.

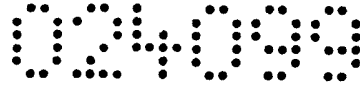
Automatikbetrieb: Im Automatikbetrieb wird eine zuvor programmierte Bearbeitungssequenz vom Roboter selbsttätig und normalerweise unbeaufsichtigt an einer Mehrzahl gleichartiger Werkstücke wiederholt. Mangels ständiger Aufsicht durch eine qualifizierte Person ist hier die Sicherheit von Personen und auch von Sachwerten durch geschlossene



Sicherheitsumzäunungen und überwachte Schutztüren herzustellen, wodurch zumindest die Personensicherheit gewährleistet ist, solange zusätzliche Sicherheitsvorschriften eingehalten und die Sicherheitseinrichtungen nicht mutwillig überlistet werden. Weiters kann die Bearbeitung eines Werkstückes im Automatikbetrieb nur dann das gewünschte Ergebnis bringen, wenn die Bedingungen betreffend der Art, Lage und Konfiguration des Werkstückes ausreichend genau jenen entsprechen, die bei der Programmierung bereits vorgesehen waren. Grobe Abweichungen führen in der Regel zu unbrauchbaren Arbeitsergebnissen, d.h. Ausschuss, oder sogar zu Beschädigungen an Maschine oder Werkzeug.

Arbeitsbereich: Der Arbeitsbereich (9) ist jener räumliche Einflussbereich eines Roboters (5) oder einer Werkzeugmaschine, in dem aufgrund der Art der vorgesehenen Arbeiten, der Maschine, der Werkzeuge (6), der Werkstücke (7) oder Werkstoffe eine Gefährdung für Personen oder Sachwerte gegeben sein kann und in welchem im Bearbeitungsprogramm nicht berücksichtigte Hindernisse eine Beschädigung des Roboters (5) oder der Werkzeugmaschine bzw. des Werkzeuges (6) oder des Werkstückes (7) verursachen können oder zumindest eine Beeinträchtigung des Ergebnisses der Bearbeitung hervorrufen können. Der Arbeitsbereich (9) ist daher üblicherweise besonders kenntlich gemacht und durch irgendwelche trennenden Schutzeinrichtungen, z.B. Gitter, Zäune oder Wände, abgegrenzt und darf nur betreten werden, wenn sich die Maschine in einem besonders gesicherten und eingeschränkten Betriebszustand befindet (z.B. im Programmierbetrieb, in dem Bewegungen nur mit stark reduzierter Geschwindigkeit möglich sind und wo Verfahrbewegungen nur während der fortwährenden Betätigung spezieller Sicherheitsschalteneinrichtungen möglich sind). Im Arbeitsbereich (9) typischerweise angeordnete Objekte sind z.B. verschiedene Konstruktionsteile des Roboters (9) oder der Werkzeugmaschine, Transporteinrichtungen (8), Führungsschienen, Befestigungs- und Spannvorrichtungen, Werkstücke (7), Werkzeuge, Boden, Wände und Decke, Ablageflächen, Ablufteinrichtungen oder dergleichen.

Regulärer Arbeitsbereich: Im weiteren Sinne ist ein regulärer Arbeitsbereich (9) ein geometrisch derart gestalteter Arbeitsbereich, in dem alle darin angeordneten Teile und Objekte bei der Programmierung der Bearbeitungssequenz bereits derart berücksichtigt wurden, dass während der Bearbeitung keine Gefährdung, insbesondere keine Gefahr einer Kollision gegeben ist und die Bearbeitung zu akzeptablen Ergebnissen führt. Im engeren

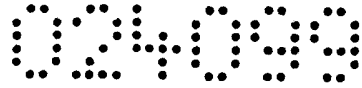


Sinne der beschriebenen Erfindung ist der reguläre Arbeitsbereich (9) charakterisiert durch die während dem Trainingsbetrieb gesammelten Messdaten (49) der Überwachungssensoren (1, 2, 3, 4) und den daraus abgeleiteten Referenzdaten (46). Ein irregulärer oder nicht regulärer Arbeitsbereich ist ein solcher, bei dem nicht alle Anforderungen an einen regulären Arbeitsbereich (9) erfüllt sind.

Trainingsbetrieb: Damit die erfindungsgemäße Überwachungsvorrichtung (16) ausreichend gesicherte Referenzdaten (46) betreffend der regulären Gestalt des Arbeitsbereiches (9), d.h. der Teile des Roboters (5) oder der Werkzeugmaschine selbst, der Gestalt und der regulären Lage des Werkstückes sowie der weiteren, ständig im Arbeitsbereich (9) befindlichen Objekte und Konstruktionsteile erhält, ist die automatische Bearbeitungssequenz ein oder mehrere Male bei überprüfter regulärer Gestaltung des Arbeitsbereiches zu durchfahren und sind die dabei gelieferten Messdaten (49) der Überwachungssensoren zur Bildung eines Referenzdatensatzes (46) zu verwenden. Sind gewisse reguläre Variationen des Arbeitsbereiches (9) während des Automatikbetriebes bereits absehbar, so sind diese Variationen vorzugsweise auch bereits im Trainingsbetrieb zu berücksichtigen, d.h. absichtlich herbeizuführen, um diese in den Referenzdaten abzubilden und dadurch spätere ungewollte Fehlauflösungen zu vermeiden.

Überwachungsbetrieb: Im Überwachungsbetrieb erfasst die erfindungsgemäße Überwachungsvorrichtung (16) mittels der Sensoren (1, 2, 3, 4) den Arbeitsbereich (9) und unter Umständen noch daran angrenzende Bereiche und beurteilt die gewonnenen Messdaten (49) unter Verwendung von Referenzdaten (46), die den regulären Arbeitsbereich beschreiben, hinsichtlich ihrer Plausibilität in einem ungestörten, regulären Arbeitsbereich. Dazu wird fortwährend aus den Messdaten (49) und den Referenzdaten (46) ein Gütemaß bzw. Fehlermaß (75, 76, 88) für die Abweichung gebildet und mit festgelegten Grenzwerten (72) verglichen.

Bearbeitungssequenz: Eine Bearbeitungssequenz ist eine programmtechnisch festgelegte Abfolge von Bewegungen des Roboters (5) oder der Werkzeugmaschine, üblicherweise kombiniert mit der Aktivierung spezifischer Werkzeuge (z.B. Greifer, Schweißeinrichtung, Sprüheinrichtung (6), Säge- oder Schleifeinrichtung) und gegebenenfalls der Bewegung des Werkstückes (7) zur Herstellung eines gewünschten abschließenden Bearbeitungszu-



standes. Im Kontext dieser Schrift ist unter Bearbeitung auch die alleinige automatisierte Handhabung von Teilen, z.B. deren Entnahme aus einer Form oder deren Verpackung, ohne einer sonstigen Veränderung von Gestalt, Lage oder Eigenschaften der Teile zu verstehen.

Die programmtechnische Vorgabe einer Bearbeitungssequenz erfolgt durch eine festgelegte endliche Anzahl aneinander gereihter diskreter Programmschritte oder Instruktionen, zu denen Soll-Positionen der verschiedenen Maschinenachsen vorgegeben werden sowie weitere zur Bearbeitung erforderliche Maschinen- und Werkzeugaktivitäten (z.B. das Aktivieren einer Sprühvorrichtung oder einer Schweißvorrichtung).

Die Bearbeitungssequenz wird gewöhnlich im Programmierbetrieb durch Bedienhandlungen und unter Aufsicht eines Programmierers vorgegeben und im Automatikbetrieb an einer Vielzahl gleichartiger Werkstücke (7) automatisch und unbeaufsichtigt wiederholt. Bei Werkzeugmaschinen ist auch die automatische Generierung der Programmschritte ausgehend von CAD-Daten eines Werkstückes üblich.

Sequenzparameter: Der Sequenzparameter (51) ist eine skalare Größe in der Art einer generalisierten Koordinate, vergleichbar mit einer Zeitskala, die den Fortgang einer Bearbeitungssequenz monoton abbildet. Ein bestimmter Wert des Sequenzparameters (51) ist damit einer ganz bestimmten Szene der Bearbeitungssequenz zugeordnet und ein Intervall, definiert durch einen unteren und einen oberen Wert des Sequenzparameters, entspricht einem gewissen Teilausschnitt der Bearbeitungssequenz, im Kontext dieser Schrift auch als Sequenzabschnitt (45) bezeichnet.

Bestimmte Beobachtungen, Messungen oder Ereignisse können durch Zuweisung eines Wertes des Sequenzparameters (51) einer ganz bestimmten Szene der Bearbeitung zugeordnet werden.

Synchronisationinformation: Um während der realen Ausführung einer Bearbeitungssequenz tatsächlich registrierte Beobachtungen, Messungen oder Ereignisse einer bestimmten Szene oder einem Sequenzabschnitt (45) unter Verwendung des Sequenzparameters (51) zuordnen zu können, muss dessen Wert synchron zum tatsächlichen Bearbeitungsfortgang nachgeführt werden.



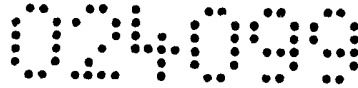
Im einfachsten Fall, in dem eine Bearbeitungssequenz stets mit starrem Zeitraster, d.h. mit gleicher Grundgeschwindigkeit und ohne variabler Pausen durchgeführt wird, ist zur Synchronisation des Sequenzparameters mit dem realen Bearbeitungsfortgang lediglich ein Startsignal am Beginn der Bearbeitungssequenz erforderlich und der Sequenzparameter (51) verhält sich analog einer Zeitachse.

Sind jedoch bei mehreren aufeinander folgenden Durchgängen einer Bearbeitungssequenz variable Grundgeschwindigkeiten oder Unterbrechungen variabler Dauer vorgesehen, so sind über ein Startsignal hinaus weitere periodisch bereitgestellte Synchronisationsinformationen (19) erforderlich. Die erforderliche zeitliche Dichte, mit der diese Synchronisationsinformationen (19) bereitgestellt werden, hängt von der geforderten Genauigkeit der Zuordnung ab, für die der Sequenzparameter (51) verwendet wird.

Die Synchronisationsinformationen (19) werden üblicherweise von der Steuerung (15) des Roboters oder der Maschine zur Verfügung gestellt und von einem quasi internen Sequenzparameter abgeleitet.

Bei den Synchronisationsinformationen (19) kann es sich beispielsweise direkt um numerische Werte handeln, die dem Wert des internen Sequenzparameters der Steuerung entsprechen oder aber auch um ein zur Bewegung synchrones Taktsignal und gegebenenfalls eines weiteren Signals zur Initialisierung eines Ausgangszustandes am Beginn einer neuen Bearbeitungssequenz. Die Übertragung der Synchronisationsinformationen (19) kann entweder über separate Signalleitungen (z.B. für ein Taktsignal) erfolgen oder über Datenleitungen oder ein Datennetzwerk unter Verwendung entsprechend echtzeitfähiger Kommunikationsprotokolle.

Sequenzabschnitte: Sequenzabschnitte (45) sind bestimmte zusammenhängende Teilabschnitte, d.h. Ausschnitte einer Bearbeitungssequenz. Sequenzabschnitte (45) können durch Angabe eines unteren und eines oberen Wertes des Sequenzparameters festgelegt werden oder z.B. äquivalent durch einen Koordinatenwert und eine Breite. Damit können Beobachtungen, Messungen und Ereignisse während der Ausführung einer Bearbeitungssequenz unter Zuhilfenahme des Sequenzparameters (51) einem bestimmten Sequenzabschnitt (45) zugeordnet werden.



Eine gesamte Bearbeitungssequenz kann durch lückenlose Aneinanderreihung einer Mehrzahl kleiner Sequenzabschnitte quasi diskretisiert werden, wobei die Länge der Sequenzabschnitte derart gewählt wird, dass die Zuordnung von Ereignissen und Beobachtungen mit der geforderten Genauigkeit erfolgen kann.

Im konkreten Fall des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Länge der Sequenzabschnitte (45) vorzugsweise derart gewählt, dass die geometrische Konfiguration des Arbeitsbereiches innerhalb eines jeden Sequenzabschnittes näherungsweise als stationär betrachtet werden kann, also keine allzu großen Änderungen erfährt.

Die Länge der Sequenzabschnitte (45) kann einheitlich gewählt werden oder aber auch variabel. Die Länge und die Lage der Abschnitte kann vorab fix definiert sein oder aber auch automatisch, beispielsweise anhand bestimmter Beobachtungen an Messwerten oder korrespondierend zu den übermittelten Synchronisationsinformationen im Trainingsbetrieb festgelegt werden. Auch eine gewisse Überlappung (110) mehrerer Sequenzabschnitte (45) kann zweckmäßig sein. Schließlich können für die Zuordnung unterschiedlicher Arten von Beobachtungen, z.B. unterschiedlicher Sensoren (1, 2, 3, 4) als Quellen von Messwerten, auch unterschiedliche Sequenzabschnitte (45) definiert sein.

Unschärf begrenzter Erfassungsbereich: Übliche Entfernungsmesssensoren (24) weisen eine gewisse Richtcharakteristik und auch eine gewisse maximale Erfassungsdistanz auf. Sie erfassen also Objekte nur innerhalb eines gewissen Erfassungsbereiches (12) relativ zur Position und der Ausrichtung des Sensors. Sehr bekannt sind die typischen Schallkeulen handelsüblicher Ultraschall-Entfernungsmesssensoren.

Die Empfindlichkeit der Sensoren (24), d.h. das Vermögen des Sensors, ein Objekt tatsächlich erfassen und eine korrespondierende Entfernungsinformation bereitstellen zu können, ist jedoch nicht auf einen räumlich scharf begrenzten Bereich beschränkt. Das Erfassungsvermögen hängt entscheidend von der Gestalt und Größe des Objektes, seiner Oberflächenbeschaffenheit und der Ausrichtung der Flächen relativ zum Sensor und natürlich von der Objektposition relativ zum Sensor ab.



Hinzu kommen verschiedene Umgebungseinflüsse, welche Einfluss auf die zur Messung verwendeten physikalischen Größen und Effekte haben und damit Messergebnisse und Erfassungsvermögen beeinflussen.

Reicht beispielsweise die Sensorempfindlichkeit in einem bestimmten Fall zunächst gerade noch aus, um ein Objekt (26) zu erfassen, so genügen bereits geringste Störungen oder Veränderungen der Umgebungsbedingungen um eine weitere Erfassung zu verhindern. Die Zuverlässigkeit der Objekterfassung ist in diesem Fall daher geringer und bei mehreren aufeinander folgenden Messungen wird das Objekt (26) nur gelegentlich erfasst, also nur mit einer gewissen statistischen Wahrscheinlichkeit.

Der Grad an Reserven der Objekterfassung gegenüber solchen Störungen bzw. Veränderungen ist in der Nähe des Sensors bzw. entlang der Sensorachse (11) üblicherweise am größten und nimmt zum Rand des Erfassungsbereiches (12) ab.

Entfernungsinformationen: Die Entfernungsinformationen sind die primären Informationen, die von den Entfernungsmesssensoren (1, 2, 3, 4) bereitgestellt werden. Sie können beispielsweise als Signalpulse mit zur Laufzeit eines Ultraschall-Bursts (33) korrespondierender zeitlicher Verzögerung (41, 42, 43) gegenüber einem Referenzpuls (33), der üblicherweise den Beginn einer Entfernungsmessung signalisiert, von den Sensoren bereitgestellt werden, oder aber bereits umgewandelt in entsprechende Zahlenwerte als Datenpakete übermittelt werden. Die Entfernungsinformationen bilden einen Teil der (Entfernungs-)Messdaten, die darüber hinaus weitere Informationen, wie z.B. die Signal- bzw. Erfassungstärke eines Objektes, enthalten können. Auch die Information, dass gegebenenfalls kein Objekt erfasst werden konnte, ist als Teil der Messdaten zu betrachten.

Je nach verwendetem Sensor-Typ können bei einem einzelnen Messvorgang nur ein oder aber auch mehrere Objekte erfasst werden. Im ersten Fall wird nur zu einem, üblicherweise zu dem zum Sensor nächstgelegenen erfassten Objekt (25) eine Entfernungsinformation bereitgestellt, im zweiten Fall werden zu mehreren Objekten (25, 26, 27) entsprechend mehrere Entfernungsinformationen bereitgestellt.



Referenzdaten: Die Referenzdaten (46) sind ein Datensatz, der typische in einem regulären Arbeitsbereich erfasste Messdaten (49), insbesondere Entfernungsinformationen samt ihrer Zuordnung zu bestimmten Sequenzabschnitten (45) beschreibt.

Dabei werden zu einer Folge von einem bestimmten Sequenzabschnitt (45) zugeordneten Messdaten, welche auch aus mehreren Bearbeitungsdurchgängen stammen können, statistisch charakteristische Häufungsbereiche (44) der ermittelten Entfernungsinformationen (49) bestimmt und Kenngrößen zu deren Lage, Breite und Häufigkeit bzw. Erfassungswahrscheinlichkeit (47) sowie gegebenenfalls weitere Charakteristiken als Referenzdaten (46) gespeichert, die damit quasi ein Sensorbild in komprimierter Form darstellen.

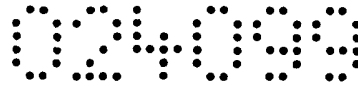
Es kann weiters auch der Entfernungsmessbereich geeignet diskretisiert und in Entfernungsabschnitte eingeteilt werden und dann die Häufigkeit der ermittelten Entfernungsinformationen für diese Abschnitte ermittelt werden.

Werden mehrere Sensoren (1, 2, 3, 4) zur Überwachung eingesetzt, so ist jedem Sensor ein eigener Satz von Referenzdaten (46) zugeordnet, welche jedoch üblicherweise in einer gemeinsamen Datenstruktur abgelegt werden.

Verschiedene weitere Daten, die in Abhängigkeit der Sequenzabschnitte und der Sensoren angegeben werden, können ebenfalls vorteilhaft in einer gemeinsamen Datenstruktur mit den Referenzdaten erfasst bzw. abgelegt werden (z.B. minimal und maximal zugelassener Erfassungsbereich eines Sensors als Funktion des Sequenzparameters (51)).

Korrespondierend zugeordnete Referenzdaten: Die korrespondierend zugeordneten Referenzdaten (46) sind jener Teil des Referenzdatensatzes, der dem Sequenzabschnitt (45) zugeordnet ist, dem auch die aktuellen Messdaten (49) während einer Bearbeitungssequenz im Überwachungsbetrieb zugeordnet sind und der als Vergleichsbasis für diese Messdaten (49) herangezogen wird.

Abgebildete Objekte: Die abgebildeten Objekte sind jene Objekte oder Objektteile aus dem Arbeitsbereich, die Messdaten (49) bzw. Entfernungsinformationen verursachen, die bezüglich der Entfernungswerte charakteristische Häufungsstellen (44) aufweisen, welche dann in den Referenzdaten (46) abgebildet werden.



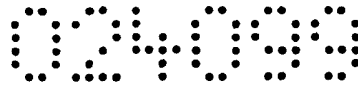
Zustandsprüfung: Eine Zustandsprüfung (56) bezeichnet im Kontext dieser Schrift den Vorgang, aktuell ermittelte Messdaten (49), insbesondere Entfernungsinformationen mit Referenzdaten (46), welche eine zuvor festgestellte Charakteristik der Messdaten bei Vorliegen eines regulären Arbeitsbereiches beschreiben, zu vergleichen und aus diesem Vergleich die Entscheidung zu treffen, ob bezüglich der erfassten Objekte ein nicht regulärer Zustand des Arbeitsbereiches vorliegt.

Vorteilhaft ist dabei zunächst die Bildung und Verknüpfung mehrerer Fehler- oder Güte- maße (75, 76, 88) basierend auf einer Mehrzahl von Messdaten (49). Einzelne Entfernungsinformationen sind für sich genommen aufgrund verschiedener unbestimmbarer Einflüsse, Störungen und Ungenauigkeiten für eine unmittelbare Entscheidung wenig geeignet und eine Gesamtbetrachtung einer Mehrzahl von Messdaten bzw. Entfernungsinformationen vorteilhaft.

Neben den reinen Entfernungsinformationen können noch weitere Informationen in die Prüfung einbezogen werden, wie z.B. die Signalstärke, mit der ein Objekt erfasst wurde, sodass beispielsweise nur schwach und unzuverlässig erfasste Objekte ignoriert werden können.

Echtzeitbedingung: Die Ausführung von Verfahrensschritten oder die Übertragung von Informationen unter Echtzeitbedingung bedeutet im Kontext dieser Schrift, dass es bestimmte zeitliche Bedingungen, wie z.B. maximal zulässige zeitliche Verzögerungen für eine Reaktion auf ein reales Ereignis gibt, welche strikt eingehalten werden müssen. Datenverarbeitungseinrichtungen oder Signalübertragungseinrichtungen müssen entsprechend gestaltet sein, um solchen Vorgaben zu genügen. Der Begriff „Echtzeit“ prägt für sich keine quantitativen Vorgaben für die Größe dieser geforderten Reaktionszeiten, sondern weist nur darauf hin, dass solche Vorgaben existieren.

Fig. 1 zeigt stark vereinfacht eine typische Roboterzelle (14) in der ein Knickarmroboter (5) zum Lackieren einer Automobilkarosserie (7) verwendet wird, als einen möglichen Anwendungsfall der gegenständlichen Erfindung. Die Automobilkarosserie befindet sich dabei auf einer förderbandartigen Transporteinrichtung (8). Der Arbeitsbereich (9) des Roboters wird mittels der Ultraschallsensoren S1 bis S4 (1, 2, 3, 4) überwacht. S1 bis S3 sind an der Roboterkonstruktion (5) befestigt und werden mit dieser gemeinsam während



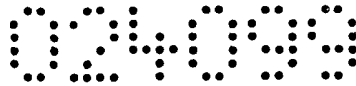
der Bearbeitungssequenz bewegt. Der Sensor S4 (4) ist nicht am Roboter sondern auf einem feststehenden Konstruktionsteil (10) befestigt. Die Sensoren sind so angeordnet und ausgerichtet, dass ihre Erfassungsbereiche (12) (die Schallkeulen sind in der Figur angedeutet) vor allem im Zuge der Bewegung des Roboters (5) während der Bearbeitungssequenz die wichtigsten Teile des Arbeitsbereiches (9) erfassen.

Eine gerade beim Lackieren von Automobilkarossen verbreitete Ausgestaltungsform ist das sogenannte "Line-Tracking". Dabei wird das Werkstück (7) während der Bearbeitung kontinuierlich langsam z.B. auf einem Förderband (8) weiterbewegt. Dies steht im Gegensatz zu einem "Stop and Go"-Betrieb, bei dem das Werkstück (7) an eine vorgesehene Bearbeitungsposition gebracht wird und dort während der Bearbeitung verbleibt und erst anschließend weiterbewegt wird. Solange beim „Line-Tracking“ diese Relativbewegung des Werkstückes (7) gegenüber dem Roboter (5) stets gleich, also synchron zur Roboterbewegung und repetitiv ist, kann der erfindungsgemäße Ansatz zur Arbeitsbereichsüberwachung sogar beim "Line-Tracking" Anwendung finden.

Weitere typische, jedoch zur Darlegung der gegenständliche Erfindung unwesentliche Teile wie z.B. Absperrzäune oder dergleichen, sind aus Gründen der Übersichtlichkeit in der Figur nicht dargestellt, diese sind dem Fachmann jedoch hinlänglich bekannt.

Fig. 2 zeigt nochmals den Roboter (5) und die verwendeten Ultraschallsensoren S1 bis S4 (1, 2, 3, 4) aus Fig. 1 sowie die Steuerung (15) für den Roboter (5) und eine erfindungsgemäße Überwachungseinrichtung (16) mit den wesentlichen Signal- bzw. Datenverbindungen (17, 18, 19, 20) zwischen den einzelnen Komponenten. Die Robotersteuerung (15) wirkt auf die Antriebe (21), Aktuatoren und Werkzeuge (6) des Roboters (5) ein bzw. erhält von entsprechenden Drehwinkel- und Weggebern (im Bild nicht dargestellt) Informationen über aktuelle Istpositionen bzw. Gelenkwinkel des Roboters. Erforderliche oder übliche weitere Komponenten, z.B. Leistungsstellglieder, Messumformer und Bedieneinrichtungen sind nicht dargestellt bzw. sind als Teil der Steuerung bzw. des Roboters zu verstehen und dem Fachmann hinlänglich bekannt.

Die erfindungsgemäße Überwachungseinrichtung (16) ist über Signal- bzw. Datenleitungen (23) mit den Ultraschallsensoren (1, 2, 3, 4) verbunden. Mittels dieser Signalleitungen werden die Sensoren angesteuert, d.h. Messvorgänge ausgelöst oder auch gesperrt und



weilers die Messergebnisse von den Sensoren zur Überwachungseinrichtung (16) übertragen. Die praktische Ausgestaltung dieser datentechnischen Wirkverbindungen kann verschiedene übliche physikalische Verbindungen, Signalformen, Protokolle und Datenformate aufweisen, wie z.B. bei üblichen Feldbussystemen oder dergleichen. Verschiedene übliche Komponenten zur Aufbereitung oder Umformung der Messsignale sind in der Zeichnung nicht dargestellt bzw. als integraler Teil der Sensoren (1, 2, 3, 4) oder der Überwachungseinrichtung (16) zu verstehen.

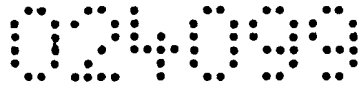
Dargestellt ist eine datentechnische Wirkverbindung zwischen der Robotersteuerung und der Überwachungseinrichtung welche die Übertragung von Synchronisationsinformationen (19) von der Steuerung (15) an die Überwachungseinrichtung (16) und die Übertragung von Freigabeinformationen (18) von der Überwachungseinrichtung (16) an die Steuerung (15) beinhaltet.

Die Synchronisationsinformationen (19) ermöglichen es der Überwachungseinrichtung (16), Messwerte und Ereignisse bestimmten Abschnitten und Punkten des Bearbeitungsvorganges reproduzierbar zuzuordnen.

Die Freigabeinformationen (18) ermöglichen es der Steuerung (15) auf durch die Überwachungseinrichtung (16) festgestellte irreguläre Bedingungen im Arbeitsbereich (9) zu reagieren und den Roboter (5) umgehend zum Stillstand zu bringen.

Weiters werden auch noch Informationen (17) zum aktuellen Betriebsmodus von der Steuerung (15) an die Überwachungseinrichtung (16) geleitet. Diese Mode-Infos (17) können beispielsweise die Unterscheidung zwischen Automatik- und Programmierbetrieb oder die Freigabe oder Initialisierung der Überwachungsvorrichtung (16) ermöglichen, das Erkennen verschiedener Werkstück- oder Werkzeugtypen oder verschiedener Bearbeitungsprogramme oder sonstiger programmgemäß berücksichtigter Betriebsparameter oder Betriebszustände.

Weitere für bestimmte vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zweckmäßige Informationen, welche von der Steuerung (15) an die Überwachungseinrichtung (16) übermittelt werden, umfassen laufend aktualisierte Bewegungsinformationen (20) des Roboters (5), also z.B. Gelenkwinkel, Winkelgeschwindigkeiten und dergleichen. Diese Informationen,



zusammengefasst im Kontext dieser Schrift als Motion-Infos (20) bezeichnet, können in der Überwachungseinrichtung (16) zur Ermittlung der Position, Ausrichtung und der Geschwindigkeit der beweglich am Roboter (5) montierten Sensoren (1, 2, 3) und in weiterer Folge zur Korrektur systematischer und bewegungsabhängiger Fehler in den ermittelten Entfernungsmessdaten verwendet werden.

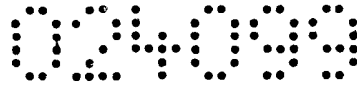
Anwendungsspezifisch gegebenenfalls zweckmäßige weitere Signalverbindungen, z.B. zur Weiterleitung von Störungsinformationen an übergeordnete Leitstellen oder zur Betriebsdatenerfassung, sind in der Abbildung nicht dargestellt, dem Fachmann jedoch hinlänglich aus der Praxis bekannt.

Fig. 3 zeigt symbolisch einen Ultraschall-Entfernungsmesssensor (24) mit seinem um die Achse (11) typischerweise rotationssymmetrischen primären Erfassungsbereich Z_1 (12) samt Z_2 (13), der sogenannten Schallkeule, samt mehreren darin beispielhaft angeordneten Objekten O_1 bis O_4 (25, 26, 27, 28). Bei realen Ultraschallsensoren prinzipbedingt ausgeprägte weitere kleine Nebenkeulen sind der Einfachheit halber nicht dargestellt, da ihre Gestalt dem Fachmann hinreichend bekannt und zahlreichen einschlägigen Literaturstellen zu entnehmen ist.

Der Erfassungsbereich des Sensors (24) ist weiters symbolhaft in einen Kernbereich Z_2 (13) mit hoher Erfassungsempfindlichkeit und einen Randbereich Z_1 (12) mit geringerer Erfassungsempfindlichkeit unterteilt dargestellt, wohingegen in der Praxis tatsächlich ein stetiger Übergang bzw. eine stetige Abnahme der Empfindlichkeit zum Rand hin zu beobachten ist.

Die Erfassungsempfindlichkeit des Sensors (24) für ein bestimmtes Objekt hängt darüber in hohem Maß von der Gestalt des Objektes, seiner Größe und Oberflächenbeschaffenheit ab.

Das Objekt O_1 (25) befindet sich nahe der Mittenachse (11) des Sensors (24) und weist eine gekrümmte Oberfläche mit zumindest an einer Stelle einer Oberflächennormalen in Richtung des Sensors (24) auf, so dass dieses Objekt vom Sensor (24) üblicherweise zuverlässig erfasst wird.



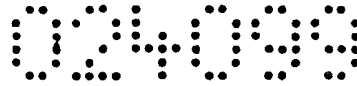
Das Objekt O_2 (26) hingegen befindet sich bereits im Randbereich der Schallkeule (12), so dass eine Erfassung in dieser Situation nicht mehr zuverlässig gegeben ist. Insbesondere führen Temperaturschwankungen mit Auswirkungen auf die Schallkeulbreite und bereits geringe Luftströmungen oder Verwirbelungen dazu, dass bei mehreren aufeinander folgenden Messvorgängen nur einige wenige ein ausreichend starkes Echo für eine Entfernungsbestimmung liefern.

Das Objekt O_3 (27) ist mit vorwiegend ebenen Flächen ausgestattet, die bei der konkreten Anordnung einfallende Ultraschallwellen wegspiegeln. Allerdings genügt vielfach bereits eine abgerundete Kante (111) des Objektes mit einer Oberflächennormalen in Richtung des Sensors (24) für ein ausreichend starkes Echo zur Erfassung und Entfernungsbestimmung.

Das Objekt O_4 (28) ist hingegen derart gestaltet, dass die einfallenden Ultraschallwellen vollständig weggespiegelt werden und nicht zum Sensor (24) zurück reflektiert werden. Eine Erfassung dieses Objektes O_4 (28) ist daher nicht möglich. Allerdings könnte bei Vorhandensein weiterer Sensoren das weggespiegelte Signal von einem der anderen Sensoren erfasst werden (sogenanntes Übersprechen der Sensoren), wobei zwar der gewonnene Messwert nicht unmittelbar der Entfernung des Objektes entspricht, eine Veränderung aber trotzdem signifikant sein und für die Überwachung genutzt werden kann.

Fig. 4 zeigt stark vereinfacht den Schalldruckverlauf am Ultraschallsensor bzw. das korrespondierende Signal U_1 (31) am integrierten Ultraschallwandler während einer Entfernungsmessung mit den Objekten O_1 bis O_3 (25, 26, 27) im Erfassungsbereich (12, 13) vergleichbar zur Anordnung in Fig. 3 (O_4 (28) kann zwar vorhanden sein, wirft jedoch aufgrund seiner Beschaffenheit kein Echo zum Sensor zurück). Weiters ist das aufbereitete Ausgangssignal U_2 (32) eines typischen Ultraschallsensors dargestellt. Die eingetragenen Zeiten t_1 (41), t_2 (42) und t_3 (43) sind im Wesentlichen proportional zu den Entfernungen M_x der Objekte O_x (25, 26, 27) und können unter Kenntnis der Schallgeschwindigkeit c_s in die Entfernungen M_x umgerechnet werden:

$$M_x = c_s \cdot t_x / 2$$



Diverse Ansätze für Korrekturen, mit denen z.B. Änderungen der Schallgeschwindigkeit c_s zufolge Temperaturschwankungen oder auch Einflüsse durch die Geschwindigkeit der beweglich montierten Ultraschallsensoren sind darin jedoch nicht berücksichtigt.

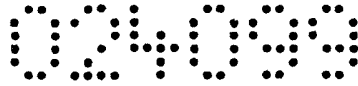
Manche Ultraschallsensoren können auch integrierte Messwertumformungen durchführen und beispielsweise statt der dargestellten Ausgangspulse (37, 38, 39) unmittelbar Zahlenwerte bzw. Datenpakete entsprechend der Echolaufzeit oder der Entfernung M_x an einer Datenschnittstelle zur Verfügung stellen. Manche Sensoren liefern dann jedoch pro Messung nur mehr einen einzigen Wert zum ersten empfangenen Echo (34) und blenden alle weiteren aus. In einem solchen Fall würde dann nur das Objekt O_1 (25) als das dem Sensor nächstgelegene Objekt erkannt werden und würden die weiter weg liegenden Objekte O_2 (26) und O_3 (27) gewissermaßen abgeschattet oder ausgeblendet werden.

In der Abbildung ist weiter eine Schaltschwelle U_L (40) eingetragen, die jenen Mindestpegel angibt, den ein Echosignal (34, 35, 36) aufweisen muss, um von der Auswerteschaltung als Echo erkannt zu werden und eine Entfernungsbestimmung zu ermöglichen. Schwächere Echosignale werden ignoriert.

Es ist auch der typische Fall eines Ultraschallsensors dargestellt, bei dem die Länge der Ausgangspulse (37, 38, 39) im Zusammenhang mit der Amplitude des Echosignals (34, 35, 36) steht und so neben der reinen Entfernungsinformation noch eine weitere Mess- bzw. Kenngröße zum jeweiligen Objekt verfügbar ist. Beispielsweise können damit Entfernungsinformationen zufolge schwacher Echosignale bei der Zustandsprüfung ignoriert werden.

Das Objekt O_2 (26) liefert entsprechend seiner Position im Randbereich des Erfassungsgebietes Z_1 (12) nur noch ein sehr schwaches Echo-Signal (35) bzw. einen kurzen Echo-Puls (38) am Ausgang des Sensors und bereits geringe Änderungen in den Umgebungsbedingungen entlang der Messstrecke wie z.B. Luftströmungen, können dazu führen, dass das Objekt O_2 (26) bei wiederholten Messungen nicht mehr oder nur sporadisch erfasst wird.

Fig. 5 zeigt in einem Diagramm (112) beispielhaft die gemessenen Entfernungswerte, gekennzeichnet durch „+“ Zeichen, von einem einzelnen Ultraschallsensor beim Durchfahren



einer kompletten Bearbeitungssequenz eines Roboters (5) an einem Werkstück (7). Darin enthalten sind Sequenzabschnitte (45) in denen jeweils nur ein Häufungsbereich (44), mehrere Häufungsbereiche (44) oder auch gar keine Häufungsbereiche bezüglich der Entfernungsinformationen auftreten. Bei dem Beispiel wird von einem Sensor ausgegangen, der für mehrere Objekte im Erfassungsbereich entsprechende Entfernungsinformationen bereitstellt und nicht nur für das jeweils nächstgelegene Objekt, welcher Sensor also sogenannten Mehrfachauswertungen zulässt.

Die einzelnen Messungen M (49) sind über dem Sequenzparameter S (51) aufgetragen, der eine Art generalisierte Koordinate bezüglich des Bearbeitungsfortganges darstellt und für die Zuordnung der Messdaten zu Punkten und Abschnitten der Bearbeitungssequenz verwendet wird. Die Aktualisierung des Sequenzparameters S (51) erfolgt durch laufend von der Steuerung zur Überwachungseinrichtung übertragene Synchronisationsinformationen (19).

Der Wertebereich des Sequenzparameters (51) wird in Sequenzabschnitte S_x (45) eingeteilt. Im dargestellten Fall sind die Sequenzabschnitte (45) hinsichtlich ihrer Breite (114) gleich groß und überlappen (110) sich etwas. Die Grenzen der Sequenzabschnitte (45) können jedoch auch vollkommen anders festgelegt werden, ohne dadurch vom Erfindungsgedanken abzuweichen. Vorteilhaft ist jedoch eine solche Festlegung der Sequenzabschnitte (45) bzw. der Abschnittsgrenzen, bei der die Entfernungsmesswerte innerhalb eines Abschnittes auf einige schmale Häufungsbereiche (44) - bezogen auf die Entfernungsmesswerte - konzentriert sind, bei der also die Sequenzabschnitte (45) nicht allzu breit sind.

Exemplarisch ist der Sequenzabschnitt S_x herausgezogen dargestellt (113), in welchem die erhaltenen Messwerte „+“ auf zwei Häufungsbereiche (44) um die Referenzwerte R_1 und R_2 (46) konzentriert sind. Die Referenzwerte können z.B. als geometrisches Mittel oder als arithmetisches Mittel der in den Häufungsbereichen konzentrierten Messwerten „+“ festgelegt sein. Zahlreiche alternative oder zusätzliche Beschreibungsformen der Lage und gegebenenfalls weitere statistische Eigenschaften der Häufungsbereiche (44) sind möglich und bekannt.



Fig. 6 zeigt nun beispielhaft eine Wahrscheinlichkeitsdichte dp/dM der gemessenen Entfernungswerte „+“ innerhalb eines bestimmten Sequenzabschnittes S_x (45), bei dem die Messwerte auf die beiden Häufungsbereiche um die Referenzwerte R_1 und R_2 konzentriert sind. Die Flächen (47) unter der Dichtekurve (115) an den Häufungsstellen geben die Wahrscheinlichkeit oder relative Häufigkeit p_{R1} bzw. p_{R2} für das Auftreten eines Messwertes in der Nähe der Werte R_1 bzw. R_2 an. Im dargestellten Fall tritt also ein Messwert um R_2 etwas seltener auf, als einer um R_1 .

Aus den Messdaten während eines Bearbeitungsdurchganges unter kontrolliert regulären Bedingungen im Arbeitsbereich können nun für jeden festgelegten Sequenzabschnitt (45) und für jeden zur Überwachung vorgesehenen Ultraschallsensor diese Häufungsbereiche (44) ermittelt und durch definierte Kenngrößen, wie z.B. dem Mittelwert und der Streuung, beschrieben und als Referenzdatensatz gespeichert werden. Welche modellhafte Wahrscheinlichkeitsverteilung dabei zugrunde gelegt wird (z.B. Normalverteilung, Gleichverteilung, Dreiecksverteilung, quadratische Verteilung, ...), spielt im Rahmen der gegenständlichen Erfindung nur eine untergeordnete Rolle. Die individuelle Breite der Häufungsbereiche kann in den Referenzdaten berücksichtigt werden oder es kann eine generelle fixe Breite vorgesehen werden, die auf die typische Streuung der Messwerte zufolge Messgenauigkeit und tolerierbarer Abweichungen gegenüber dem Referenzzustand abgestellt ist.

Um eine ausreichend breite und stabile Datenbasis für die Erstellung der Referenzdaten zu erhalten, werden vorzugsweise die Messdaten „+“ aus einer Mehrzahl von Bearbeitungsdurchgängen herangezogen. Gewisse im Betrieb zu erwartende kleine Variationen im Arbeitsbereich (9), wie z.B. eine geringfügig variierende Position des Werkstückes (7) werden vorzugsweise schon bei der Erstellung der Referenzdaten durch absichtliches Herbeiführen solcher Variationen berücksichtigt und damit entsprechend abgebildet. Dabei können nicht nur quantitative Abweichungen der erhaltenen Messwerte, sondern auch qualitative Unterschiede durch hinzukommende oder wegfallende Messwerte eingebracht werden.

Fig. 7 gibt einen Überblick über den Daten- bzw. Informationsfluss zwischen den wesentlichen Funktionsblöcken der erfindungsgemäßen Überwachungseinrichtung (16).

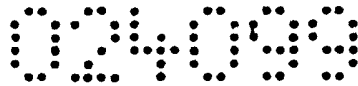


Die Signale (23) der zur Überwachung vorgesehenen Entfernungsmesssensoren werden zunächst einer Aufbereitung (55) unterzogen, gegebenenfalls einer Korrektur um beispielsweise systematische Fehler zufolge Temperaturänderungen oder der Bewegung der am Roboter befestigten Sensoren, z.B. unter Verwendung der Motion-Infos (20), zu kompensieren und gegebenenfalls einer Transformation, z.B. einer Umrechnung von Laufzeiten in Entfernungen oder einer Einteilung in Entfernungsabschnitte. Es können auch weitere Informationen, wie z.B. die von der Signalstärke des Echos abhängige Impulsdauer eines Sensorsignals erfasst und zur Korrektur oder als zusätzliche Information, z.B. zur Maskierung bestimmter Messwerte, verwendet werden. Die aufbereiteten Messdaten M_y (53) werden dann je nach Betriebszustand den Funktionsblöcken Profilerstellung (58) und/oder Zustandsüberwachung (57) zugeführt.

Die einzelnen Sensoren werden dem jeweiligen Betriebszustand entsprechend in einem vorgegebenen zeitlichen Raster angesteuert bzw. freigegeben oder synchronisiert, um entweder Querbeeinflussungen zu vermeiden oder diese zumindest zuverlässig reproduzierbar zu gestalten.

Der Funktionsblock Profilerstellung/Profiladaption (58) generiert während der Trainingsphase aus den Messdaten M_y (53) und gegebenenfalls aus bereits im Speicher (60) befindlichen älteren Daten aktualisierte Referenzdaten R_x (52). Im Wesentlichen werden dabei zu einer Mehrzahl von Messdaten aus einer Mehrzahl von Trainingsdurchläufen statistische Auswertungen durchgeführt und Kenngrößen (z.B. Mittelwert und Streuung) von zugrunde gelegten statistischen Modellverteilungen ermittelt und als Referenzdaten im Speicher (60) abgelegt. Dabei ist die Zusammenfassung von Messwerten zu Gruppen entsprechend der auftretenden Häufungsbereiche (44) zweckmäßig, wie dies bereits in Fig. 5 dargestellt ist.

Der Funktionsblock Zustandsüberwachung (57) vergleicht im Überwachungsbetrieb die laufend ermittelten Messdaten (53) mit den korrespondierenden Referenzdaten (52) aus dem Speicher (60) hinsichtlich ihrer Plausibilität in einem regulären Arbeitsbereich und bildet daraus ein Freigabesignal bzw. Sperrsignal (18) mit dem die laufende Werkstückbearbeitung bei irregulärer Arbeitsbereichskonfiguration durch die Steuerung abgebrochen werden kann.



Die von der Steuerung (15) der Überwachungsvorrichtung (16) zur Verfügung gestellten Synchronisationsinformationen (19) werden ebenfalls zunächst aufbereitet und gegebenenfalls korrigiert (56), z.B. verzögert, und dann entsprechend transformiert um schließlich daraus den jeweils zur aktuellen Bearbeitungssituation korrespondierenden Sequenzabschnitt bzw. dessen Indexnummer (59) für den Zugriff auf die Referenzdaten (52) zu ermitteln. Eine fortlaufende Indexnummer eines Sequenzabschnittes (45) stellt quasi die Adresse für den Zugriff auf die jeweiligen Daten im Speicher (60) dar, was in der Figur durch eine entsprechende Verbindung zum Speicher (60) angedeutet ist. Natürlich kann alternativ die Indexnummer (59) des Sequenzabschnittes auch den Blöcken Zustandsüberwachung (57) und Profilerstellung (58) zugeführt werden und die Speicheradressierung aus diesen Blöcken heraus erfolgen.

Im Speicher (60) werden im Wesentlichen die während der Trainingsphase gewonnenen Referenzdaten abgelegt und für die Zustandsüberwachung (57) im Überwachungsbetrieb bereitgestellt. Natürlich können auch zusätzliche Daten, insbesondere Messdaten M_j , für eine fortlaufende Korrektur oder Verfeinerung des Referenzprofils zwischengespeichert werden oder auch die Referenzprofile für mehrere unterschiedliche Bearbeitungssequenzen oder Werkstücktypen.

In einem zusätzlichen, vorzugsweise nichtflüchtigen und gegebenenfalls auswechselbaren Massenspeicher (61) können über eine Datenverbindung (62) gespeicherte Informationen aus dem Arbeitsspeicher (60) abgelegt oder in diesen zurück übertragen werden.

Die Koordinierung bzw. Synchronisation der einzelnen Funktionsblöcke wird durch eine Ablaufsteuerung (54) vorgenommen. Sie stellt für die einzelnen Funktionsblöcke Freigabesignale und Parameter (63) in Abhängigkeit des Betriebszustandes der Überwachungseinrichtung (16) und vor allem den von der Steuerung (15) bereitgestellten Mode-Informationen (17) zu Verfügung.

Es ist anzumerken, dass die dargestellte Struktur bzw. die Zergliederung in Komponenten als Beispiel zur einfachen Erläuterung der wesentlichen Zusammenhänge und Funktionen zur verstehen ist. Für die tatsächliche Implementierung stehen dem Fachmann zahlreiche abweichende Möglichkeiten offen ohne vom Erfindungsgedanken abzuweichen.

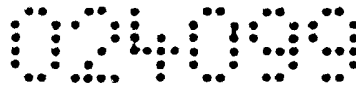
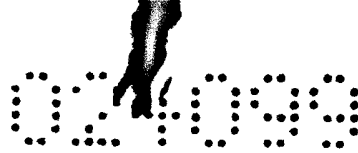


Fig. 8 beschreibt nun einen vorteilhaften und typischen Ansatz (85) zur Implementierung der Zustandsprüfung (57). Die Zustandsprüfung (85) ist zunächst in drei Funktionseinheiten, nämlich der Fehlerbestimmung (64), der Filterung bzw. Glättung (65) und der Freigabeentscheidung (66) untergliedert. Diese Dreiteilung ist typisch, die Ausgestaltung der einzelnen Teile kann jedoch vielfältig erfolgen.

Die hier dargestellte Fehlerbestimmung (83) vergleicht einen aktuellen Entfernungsmesswert M_I durch Differenzbildung (68) mit in diesem Fall zwei möglichen Referenzwerten $R_1(S)$ und $R_2(S)$ (46) aus dem Referenzprofil (für den aktuell durchfahrenen Sequenzabschnitt S). Anschließend wird das Minimum (69) der Beträge (67) der beiden Abweichungen als erstes Fehlermaß p_1 (75) für einen regulären Zustand des Arbeitsbereiches gebildet, d.h. je größer der Wert von p_1 , desto größer die Abweichung bzw. Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen eines nicht regulären, d.h. eines nicht zulässigen Zustandes des Arbeitsbereiches. Die Kennlinie (116) für $p_1(M)$ in Abhängigkeit des Messwertes M (49) bei gegebenen Referenzwerten R_1 und R_2 (46) ist dargestellt. Es ist leicht erkennbar, dass eine Anpassung an eine variable Anzahl von Referenzwerten, je nach tatsächlich im jeweiligen Sequenzabschnitt S registrierten Referenzwerten, leicht möglich und algorithmisch in einer Schleife realisierbar ist (angedeutet in der Fig. durch eine strichliert dargestellte weitere Eingangsgröße (117) bei der min-Funktion(69)).

Einzelne Messwerte können leicht durch temporäre Störungen oder durch nur unwesentliche Änderungen im Arbeitsbereich entstehen bzw. verfälscht werden, so dass sie isoliert für sich genommen noch nicht zur Freigabeentscheidung unmittelbar herangezogen werden können, da andernfalls eine Vielzahl von Fehlauslösungen einen zuverlässigen und geordneten Betrieb verhindern würden. Daher wird im Funktionsblock Filterung bzw. Glättung (65) neben dem aktuellen auch eine Anzahl vergangener Werte (71) des Fehlermaßes p_1 zur Generierung eines zweiten, gefilterten bzw. geglätteten Fehlermaßes p_2 (76) herangezogen. Im dargestellten Fall handelt es sich um eine einfache Mittelwertbildung (70) aus k Einzelwerten von p_1 . Bei konstanter Messrate, d.h. zeitlich äquidistanten Messabständen stellen die Folgen der Werte der Fehlermaße p_1 und p_2 diskrete Signale dar, die daher auch mit verschiedenen allgemein bekannten Methoden der digitalen Signalverarbeitung, insbesondere von digitalen Tiefpassfiltern in z.B. FIR- oder IIR-Struktur geglättet, gemittelt



bzw. gefiltert werden können. Auch eine Integration bzw. Summenbildung ist eine Möglichkeit zur Bildung des Wertes für p_2 .

Das geglättete Fehlermaß p_2 (76) wird nun in der Freigabeentscheidung mit einem voreingestellten Grenzwert (für einen regulären Arbeitsbereich) verglichen und binarisiert als Fehlersignal d_α einer ODER-Verknüpfung (74) zugeführt. In dieser ODER-Verknüpfung werden gegebenenfalls die Signale mehrerer parallel entstandener Fehlersignale d_β und d_γ von gegebenenfalls vorhandenen weiteren Überwachungssensoren eingebunden, zu einem einzelnen gemeinsamen Fehlersignal d (18) zusammengefasst und der Robotersteuerung bzw. Maschinensteuerung als STOP-Signal oder als Freigabesignal zugeführt.

Es ist unmittelbar erkennbar, dass die Zustandsüberwachung nach dem dargestellten Schema getrennt für eine Mehrzahl von Sensoren realisiert und die einzelnen Fehlersignale in der abschließenden ODER-Verknüpfung (74) zu einem einzigen gemeinsamen Fehler- bzw. Freigabesignal d (18) zusammengefasst werden können.

Fig. 9 zeigt nun eine weitere, gegenüber der Ausführung (83) in Fig. 8 verbesserte Ausführung (118) für die Bildung des Fehlermaßes p_1 (75). Hier wird nun ein Messwert M_1 (49) beispielsweise mit drei Referenzwerten (46) verglichen, wobei auch hier ein Vergleich mit einer beliebigen variablen Zahl von Referenzwerten einfach realisierbar ist.

Nach der Fehlerbestimmung durch Differenzbildung (68) zwischen dem Messwert und den Referenzwerten werden diese jedoch noch einer Skalierung (80) mit einem Wert $1/r$ (82) unterzogen und anschließend quadriert (81). Bei der anschließenden Min-Bildung (69) über alle Vergleiche wird weiters eine obere Grenze von 1 mit berücksichtigt, so dass sich für das Fehlermaß p_1 die dargestellte Kennlinie (119) als Funktion des Messwertes M und der feststehenden Referenzwerte R_1 bis R_3 ergibt. Vorteilhaft bei dieser Ausgestaltung ist, dass Abweichungen eines Messwertes von den Referenzwerten ab einer gewissen Größe r klar als unzulässig qualifiziert werden, d.h. ein Fehler von z.B. 20cm ($>r$) kennzeichnet einen irregulären Zustand des Arbeitsbereiches genauso wie eine Abweichung von mehreren Metern. Durch die Skalierung mit $1/r$ und eine Begrenzung der Min-Funktion auf 1 wird die Toleranzbreite $2r$ rund um die Referenzwerte festgelegt. Im konkreten Fall weisen alle Referenzwerte R_x die selbe, fest eingestellte Toleranzbreite auf, denkbar ist jedoch auch eine Realisierung, bei der für jeden einzelnen Referenzwert R_x ein individueller Tole-

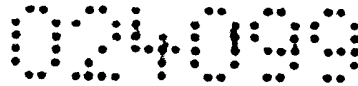
ranzbereich r_x festgelegt und dieser z.B. aus der Streuung der Messwerte während der Trainingsphase ermittelt wird und einen Teil der Referenzdaten bildet. Die Verwendung der x^2 -Funktion (81) anstelle der einfachen Betragsfunktion (67) aus Fig. 8 bietet den Vorteil, dass kleine Abweichungen zufolge der zu erwartenden Messungenauigkeiten noch als entsprechend unkritisch gewichtet in die Bildung von p_I eingehen. Anstatt der quadratischen Funktion (81) kann alternativ natürlich auch eine Rechteckfunktion mit Sprungstellen zwischen 0 und 1 an den Rändern des Toleranzbereiches verwendet werden.

Die Normierung von p_I durch die Skalierung mit $1/r$ und die Begrenzung auf den Wertebereich von 0 bis 1 ermöglicht weiters eine bessere Verknüpfbarkeit mit weiteren, ähnlich gebildeten Fehlermaßen, wie an anderer Stelle noch beschrieben wird. Als Verknüpfungsfunktionen kommen hier beispielsweise Ansätze aus der Wahrscheinlichkeitstheorie oder auch Funktionen aus dem Bereich der Fuzzy-Logic in Betracht.

Fig. 10 zeigt eine verbesserte Weiterbildung (120) des Funktionsblockes (83) aus Fig. 8 oder des Funktionsblocks (118) aus Fig. 9 zur Fehlerbildung (64), wobei nun nicht nur ein einziger Entfernungswert berücksichtigt ist, sondern drei Entfernungswerte M_A , M_B und M_C (49) zufolge einer einzelnen Messung mit Mehrfachauswertung hinsichtlich ihres Auftretens in einem regulären Arbeitsbereich bewertet werden und daraus ein gemeinsames erstes Fehlermaß p_I (75) gebildet wird. Die drei Entfernungsinformationen stammen aus einer einzelnen Entfernungsmessung mit Mehrfachauswertung, d.h. es wurden drei Objektechos empfangen welche zu drei verschiedenen Entfernungsmesswerten führten.

Die Blöcke (83) mit der Bezeichnung „Einzelauswertung“ stellen Auswertungen analog der Darstellung in Fig. 9 für jeden einzelnen Messwert M_x dar (hier jedoch gegenüber Fig. 9 mit nur zwei Referenzwerten R_1 und R_2). Die Fehlermaße $p_{I,A}$, $p_{I,B}$ und $p_{I,C}$ der Einzelauswertungen werden nun über eine Max-Funktion (84) zu einem gemeinsamen Fehlermaß p_I (75) verknüpft. Passt auch nur einer der erfassten Entfernungsmesswerte M_x nicht zu den Referenzwerten, so signalisiert der Wert von p_I bereits einen nicht regulären Arbeitsbereich bzw. eine entsprechende Abweichung.

Liefern die Einzelauswertungen normierte Fehlermaße mit einem Wertebereich zw. 0 und 1, so kann statt der Max-Funktion (84) beispielsweise auch die Funktion



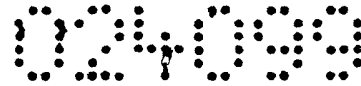
$$p_1 = 1 - (1 - p_{1,A}) * (1 - p_{1,B}) * (1 - p_{1,C})$$

verwendet werden, bei welcher als Ergebnis nicht nur der „schlechteste“ der Einzelwerte erhalten wird, sondern eine gewisse Gesamtbetrachtung der Messwerte vorgenommen wird, d.h. zwei oder drei Messwerte mit mäßigem Fehlermaß bilden gemeinsam ein stärkeres Indiz für einen nicht regulären Zustand, während bei der Max-Funktion (84) eben nur ein mäßiges Fehlermaß für p_1 erhalten wird.

Auch hier ist unmittelbar erkennbar, dass die Anzahl der berücksichtigten Messwerte M_x beliebig skalierbar ist und einfach in einer Schleife je nach tatsächlich vorliegender Anzahl von Messwerten berücksichtigt werden kann.

Fig. 11 zeigt nun einen Ansatz (86) zur Bildung des ersten Fehlermaßes p_1 (75), bei dem nicht das Auftreten von Objektdistanzen abseits eines Referenzwertes $R(S)$ sondern gewissermaßen umgekehrt das Ausbleiben erwarteter Messwerte M_x bzw. Entfernungsinformationen, als Kriterium für das Vorliegen eines nicht regulären Zustandes des Arbeitsbereiches herangezogen wird. Werden bestimmte Objekte aus dem Erfassungsbereich eines Sensors entfernt oder durch ein hinzu gekommenes fremdes Objekt verdeckt, so bleiben zuvor im Trainingsbetrieb erfasste Entfernungsinformationen aus. Dieses Ausbleiben signalisiert nun eine gewisse Wahrscheinlichkeit für einen nicht regulären Zustand des Arbeitsbereiches, je nach Zuverlässigkeit, mit der die Messwerte beim Trainingsvorgang erfasst werden konnten. Das Ausbleiben von Messwerten, die bereits beim Trainingsbetrieb nur vereinzelt aufgetreten sind, liefert natürlich im Überwachungsbetrieb kein besonders zuverlässiges Indiz für einen Fehlerzustand, so dass hier vorzugsweise neben den Referenzentfernungen auch Kenngrößen (47) für ihre jeweilige Erfassungswahrscheinlichkeit in den Referenzdaten abgelegt werden. Als hierfür geeignete Kenngröße kann die relative Häufigkeit (47) des Auftretens eines Messwertes bezogen auf die im jeweiligen Segmentabschnitt S durchgeführten Messvorgänge während des Trainingsvorganges verwendet werden.

Die Struktur zur Fehlerbildung ist sehr ähnlich der Struktur aus Fig. 9, allerdings sind hier die Rollen der Referenzwerte $R(S)$ und der Messwerte M gewissermaßen vertauscht und es kommt als zusätzliche Eingangsgröße noch die Erfassungswahrscheinlichkeit $p_R(S)$ (47) des jeweiligen Referenzwertes $R(S)$ hinzu, mit dem das normierte Ergebnis der Min-Funktion (69) noch gewichtet wird. Daraus ist erkennbar, dass p_1 als Fehlermaß und Wahr-



scheinlichkeit eines irregulären Zustandes zufolge des Ausbleibens eines Referenzwertes $R(S)$ höchstens so hoch sein kann, wie die zuvor beobachtete Erfassungswahrscheinlichkeit $p_R(S)$ dieses Wertes.

Auch hier ist zu erkennen, dass die dargestellte Struktur für eine beliebige Anzahl von Messwerten in einer Schleife skalierbar ist, einschließlich der Situation, dass überhaupt kein Messwert erfasst werden konnte und somit die Min-Funktion 1 liefert und p_1 gleich $p_R(S)$ wird.

Die Kennlinie (121) zeigt den Wert für p_1 in Abhängigkeit der Lage des Referenzwertes $R(S)$ und einer Beobachtungswahrscheinlichkeit von $p_R(S)$ und den drei aktuellen Messwerten M_A , M_B und M_C .

Fig. 12 zeigt eine Erweiterung (87) der Fehlerbestimmung (86) aus Fig. 11, bei der nun drei Referenzwerte $R_1(S)$ bis $R_3(S)$ (46) einzeln hinsichtlich des Auftretens korrespondierender Messwerte M_A , M_B und M_C (49) beurteilt und daraus ein gemeinsames erstes Fehlermaß p_1 (75) gebildet wird. Es ist anzumerken, dass eine Fehlerbestimmung auf Grundlage ausbleibender Messwerte vorzugsweise dann eingesetzt werden kann, wenn die Entfernungssensoren Mehrfachauswertungen zulassen, also mehrere im Erfassungsbereich befindliche Objekte gleichzeitig erfasst werden können und nicht nur das jeweils nächstliegende Objekt, da sonst auch im regulären Fall bei mehreren abgebildeten Referenzwerten zufolge eines unsicher erfassten Objektes im Vordergrund grundsätzlich immer nur zu einem davon ein korrespondierender Messwert auftreten kann und das Ausbleiben der weiteren Referenzwerte kein Indiz für einen nicht regulären Zustand ist.

Zur Verknüpfung der Fehlermaße der Einzelauswertungen wäre prinzipiell die Max-Funktion verwendbar, allerdings wurde hier die Funktion

$$p_1 = 1 - (1 - p_{1,1}) * (1 - p_{1,2}) * (1 - p_{1,3})$$

herangezogen. Letztere bewährt sich vor allem in Situationen, in denen mehrere alternative Referenzwerte mit jeweils nur mittlerer oder geringer Erfassungswahrscheinlichkeit vorliegen (gerade bei kleineren Objekten im Hintergrund). Werden diese Objekte nun durch ein fremdes Objekt nahe dem Sensor plötzlich abgeschattet und werden daher allesamt nicht mehr erfasst, so würde die Max-Funktion nur ein schwaches Indiz für einen irregulären

ren Zustand liefern (da die einzelnen Referenzwerte im dargestellten Beispiel ja nur geringe Erfassungswahrscheinlichkeit aufweisen), die alternative Funktion würde allerdings das Ausbleiben gleich mehrerer erwarteter Messwerte deutlich höher gewichten.

Auch hier ist die Skalierung auf eine beliebig variable Anzahl von Referenzwerten problemlos möglich.

Die beiden Ansätze zur Bildung eines Fehlermaßes nach Fig. 10 und Fig. 12 können natürlich auch parallel verwendet werden und sind die jeweils erhaltenen Fehlermaße geeignet, z.B. durch eine Max-Funktion, verknüpft und der nachfolgenden Weiterverarbeitung zugeführt zu werden.

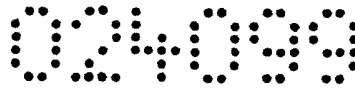
Fig. 13 zeigt eine alternative Ausführung (123) für die Freigabeentscheidung (66). Hier wird die Verknüpfung mehrerer Sensoren anders als in der Grundauführung (122) in Fig. 8 nicht erst durch eine logische ODER-Verknüpfung der zuvor einzeln verglichenen und binarisierten zweiten Fehlermaße p_2 der einzelnen Sensoren vorgenommen, sondern durch eine direkte Verknüpfung der Fehlermaße $p_{2,x}$ zu einem gemeinsamen Fehlermaß p_3 (88) und einem anschließenden Grenzwertvergleich (72) samt Binarisierung (73) zum Stop-Signal d (18) für die Steuerung (15).

Für die Verknüpfung wurde wieder die bereits an anderen Stellen mehrfach beschriebene Funktion

$$p_3 = 1 - (1 - p_{2,\alpha}) * (1 - p_{2,\beta}) * (1 - p_{2,\gamma})$$

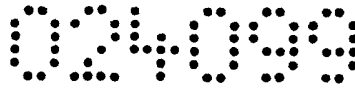
verwendet, welche wiederum den Fall höher gewichtet, in dem die Auswertung mehrerer Sensoren für sich jeweils nur einen geringen oder mittleren Fehlerwert ergeben, ein solches Ergebnis gleichzeitig von mehreren Sensoren jedoch eine insgesamt höhere Wahrscheinlichkeit für einen unzulässigen Zustand des Arbeitsbereiches, als jene zufolge der Einzelsensoren erkennen lässt.

Fig. 14 zeigt als Ausgangspunkt für einen weiteren alternativen oder ergänzenden Ansatz zur Objektüberwachung im Arbeitsraum die Auswirkung kleiner Relativverschiebungen Δx_{12} (97) von mehreren Objektkanten a .) , b .) und c .) (94, 95, 96) in drei verschiedenen Referenzlagen gegenüber der Position eines Entfernungssensors (92) im Ursprung des ein-



gezeichneten Koordinatensystems (93). Alle drei Objektkanten gehören zum selben Objekt des Arbeitsbereiches. Es ist zu erkennen, dass eine kleine Verschiebung Δx_{12} des Objektes bzw. der Kanten *a.*) (94) und *c.*) (96) jeweils eine näherungsweise proportionale Änderung $\Delta M_{k,12}$ (108, 109) des jeweiligen Entfernungsmesswertes M_k bewirkt. Der beobachtete Proportionalitätsfaktor λ_k (er beträgt z.B. für die Kante *c.*) näherungsweise $1/\cos(\alpha_k)$) kann während der Trainingsphase durch definierte Referenzverschiebung der Kanten bzw. des Objektes um einen bekannten Wert Δx_{ref} und der dabei beobachteten Änderung der Entfernungsmesswerte $\Delta M_{k,ref}$ bestimmt werden. Damit kann aus einer später im Überwachungsbetrieb beobachteten systematischen Änderung der Entfernungsmesswerte $\Delta M_{k,12}$ auf die tatsächliche Verschiebung Δx_{12} näherungsweise rückgerechnet werden bzw. ein zur Objektverschiebung proportionales Fehlermaß p_1 gewonnen werden. Allerdings liefern nur solche Kanten verwertbare Daten, die bei einer Δx -Verschiebung nicht senkrecht oder nahezu senkrecht auf die jeweilige Sensormittelnachse bewegt werden (wie z.B. Kante *b.*)). Außerdem werden in realer Umgebung natürlich zahlreiche Kanten weiterer Objekte des Arbeitsbereiches erfasst, welche bei der Referenzverschiebung des überwachten Objektes jedoch unverändert bleiben und im Überwachungsbetrieb auszublenden sind. Durch eine Profilprüfung (102) sind daher jene Sequenzabschnitte bzw. Messwerte für die Auswertung zu sperren, in denen keine für die Objektverschiebung verwertbaren Daten gewonnen werden können.

Fig. 15 zeigt nun schematisch eine weitere Ausführungsform (104) für eine Fehlerbestimmung unter Nutzung des in Fig. 14 beschriebenen Effektes. Hierbei wird vorzugsweise gezielt die Position eines bestimmten Einzelobjektes im Arbeitsraum überwacht bzw. auch bestimmt. Die gespeicherten Referenzdaten $R_1(S)$ und $R_2(S)$, entsprechend den Entfernungsmesswerten für die beiden Referenzlagen 1 und 2 eines Objektes sowie die Referenzverschiebung Δx_{ref} werden zur Bildung der λ_k -Skalierungswerte verwendet. Die aktuellen Messwerte $M_{k,12}$ bzw. deren Differenz zu den korrespondierenden Referenzwerten $R_1(S)$ werden mit den λ_k -Werten skaliert. Durch eine Profilprüfung (102) werden für die weitere Auswertung nur jene Sequenzabschnitte bzw. Messwerte weitergeleitet bzw. freigeschaltet (124), die plausible Ergebnisse liefern (also z.B. $p_1 < \Delta x_{ref}$). Die Profilprüfung ermittelt insbesondere jene Sequenzabschnitte und bei Auswertung von Mehrfachechos jene Referenzwerte und Echos, in denen tatsächlich das zu überwachende Einzelobjekt



vom Sensor erfasst wird. Die verwendeten Messdaten können zusätzlich durch ein entsprechendes Filter- oder Glättungsverfahren vorverarbeitet werden, welches in der Abbildung beispielhaft als Tiefpassfilter (103) dargestellt ist.

Die von der Profilprüfung (102) zur weiteren Bewertung freigegebenen Fehlerwerte p_1 (75) werden dann, wie auch schon in Fig. 8 dargestellt, zu einem zweiten Fehlermaß p_2 (76) geglättet bzw. gefiltert (65) und anschließend der Freigabeentscheidung (66) zugeführt, welche das Freigabesignal d (18) für die Robotersteuerung (15) ermittelt.

Das zweite Fehlermaß p_2 kann unter gewissen Umständen auch als Korrekturmaß (97) für die Bearbeitungsbahn des Roboters verwendet werden, um eine festgestellte Objektverschiebung zu kompensieren.

Die Ausführungsbeispiele zeigen mögliche Ausführungsvarianten der erfindungsgemäßen Arbeitsbereichsüberwachung wobei an dieser Stelle bemerkt sei, dass die Erfindung nicht auf die speziell dargestellten Ausführungsvarianten derselben eingeschränkt ist, sondern vielmehr auch diverse Kombinationen der einzelnen Ausführungsvarianten untereinander möglich sind und diese Variationsmöglichkeit aufgrund der Lehre zum technischen Handeln durch gegenständliche Erfindung im Können des auf diesem technischen Gebiet tätigen Fachmannes liegt.

Der Ordnung halber sei abschließend darauf hingewiesen, dass zum besseren Verständnis des Aufbaus der Überwachungsvorrichtung diese bzw. deren Bestandteile stark schematisch dargestellt wurden.

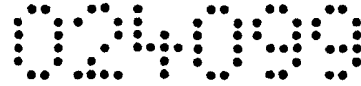


Bezugszeichenaufstellung

1	Ultraschallentfernungssensor S_1	36	Echosignal von Objekt O_3
2	Ultraschallentfernungssensor S_2	37	Sensorsignal zufolge Objekt O_1
3	Ultraschallentfernungssensor S_3	38	Sensorsignal zufolge Objekt O_2
4	Ultraschallentfernungssensor S_4	39	Sensorsignal zufolge Objekt O_3
5	Roboter	40	Schaltsschwelle
6	Endeffektor, Werkzeug	41	Echolaufzeit t_1
7	Werkstück, Autokarosserie	42	Echolaufzeit t_2
8	Transporteinrichtung	43	Echolaufzeit t_3
9	Arbeitsbereich	44	charakteristischer Häufungsbereich
10	Sensorbefestigung	45	Sequenzabschnitt S_x
11	Sensorsachse	46	Referenzwert $R(S)$ des Häufungsbereiches S
12	Erfassungsbereich	47	relative Häufigkeit
13	zuverlässiger Erfassungsbereich	48	Wahrscheinlichkeitsdichte
14	Roboterzelle	49	Messwerte, Echodistanz M_x
15	Robotersteuerung	50	Echolaufzeit t
16	Überwachungsvorrichtung	51	Sequenzparameter S
17	Mode-Info Daten	52	Signalpfad für Referenzwerte
18	Enable/Stop Signal	53	Signalpfad für Messwerte
19	Synchronisationsinformation	54	Ablaufsteuerung
20	Motion-Information	55	Messwertaufbereitung
21	Roboter gelenk und Antrieb	56	Synchronisationsverarbeitung
22	Steuersignal	57	Zustandsüberwachung
23	Sensorsignal, Sensordatenleitung	58	Referenzwertermittlung
24	Ultraschallentfernungssensor	59	Signalpfad für Sequenzparameter S
25	Objekt O_1	60	Arbeitsspeicher
26	Objekt O_2	61	Massenspeicher
27	Objekt O_3	62	Datenverbindung
28	Objekt O_4	63	Steuersignal
29	Ordinate	64	Fehlerbestimmung für zusätzliche und falsche Messwerte
30	Abszisse	65	Glättung, Filterung
31	Wandlersignal	66	Freigabeentscheidung
32	Sensorsignal	67	Betragsbildung
33	Sendeburst	68	Summen-/Differenzbildung
34	Echosignal von Objekt O_1	69	Minimumbildung
35	Echosignal von Objekt O_2	70	Mittelwertbildung

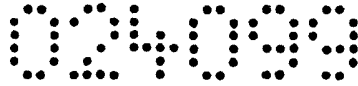


- | | | | |
|-----|--|-----|---|
| 71 | Schieberregister, Speicher | 101 | Referenzobjektverschiebung |
| 72 | variabler Grenzwert | 102 | Profilprüfung |
| 73 | Binarisierung | 103 | Filter |
| 74 | Oder-Verknüpfung | 104 | Fehlerauswertung für
Objektverschiebung |
| 75 | erstes Fehlermaß p_1 | 105 | Profilfreigabesignal |
| 76 | zweites Fehlermaß p_2 | 106 | Division $1/x$ |
| 77 | Stop-/Freigabesignal d | 107 | λ -Koeffizient |
| 78 | weiteres Stop-/Freigabesignal | 108 | Messwertänderung an Kante a |
| 79 | Stop-/Freigabeeingang der Steuerung | 109 | Messwertänderung an Kante c |
| 80 | Multiplikation | 110 | Überlappung von Sequenzabschnitten |
| 81 | Quadrat-Funktion | 111 | abgerundete Kante |
| 82 | Skalierungsfaktor | 112 | Diagramm zu Sequenzabschnitten |
| 83 | Fehlerbestimmung für
Einzelmesswert M | 113 | Detaildiagramm Sequenzabschnitt |
| 84 | Maximumbildung | 114 | Breite/Länge eines Sequenzabschnittes |
| 85 | Zustandsprüfung für einzelnes
Sensorsignal | 115 | Dichteverteilung |
| 86 | Fehlerbestimmung für
Einzelreferenzwert $R(S)$ | 116 | Kennlinie $p_1(M)$ |
| 87 | Fehlerbestimmung für ausbleibende
und falsche Messwerte | 117 | weitere Eingangsgröße |
| 88 | drittes Fehlermaß p_3 | 118 | verbesserte Fehlerbestimmung für
Einzelmesswert |
| 89 | zweites Fehlermaß von Sensor α | 119 | Kennlinie $p_1(M)$ |
| 90 | zweites Fehlermaß von Sensor β | 120 | verbesserte Fehlerbestimmung für
Mehrfachmesswerte |
| 91 | zweites Fehlermaß von Sensor γ | 121 | Kennlinie $p_1(M)$ |
| 92 | Sensorposition, Ursprung | 122 | Grundauführung
Freigabeentscheidung |
| 93 | Koordinatensystem | 123 | alternative Freigabeentscheidung |
| 94 | Objektkante a | 124 | Gate-Funktion |
| 95 | Objektkante b | | |
| 96 | Objektkante c | | |
| 97 | Objektverschiebung | | |
| 98 | Winkel α zwischen Ortsvektor und
Verschiebungsvektor | | |
| 99 | Messwertänderung der Kante a | | |
| 100 | Messwertänderung der Kante c | | |

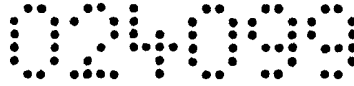


P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur Überwachung des Arbeitsbereiches (9) von programmgesteuerten Robotern (5) oder Werkzeugmaschinen für die automatisiert repetitive Ausführung einer Bearbeitungssequenz an einer Mehrzahl von im Wesentlichen gleichartigen Werkstücken (7)
 - unter Verwendung eines Entfernungsmessensors (4),
 - mit dem in einem Trainingsbetrieb beim Durchfahren der programmierten Bearbeitungssequenz erste Entfernungsinformationen gewonnen werden, während ein für den späteren Automatikbetrieb regulär gestalteter Arbeitsbereich (9) vorliegt,
 - aus den gewonnenen ersten Entfernungsinformationen Referenzdaten (49) erstellt werden,
 - in einem automatischen Überwachungsbetrieb während einer Bearbeitungssequenz mit dem Entfernungsmessensor (4) zweite Entfernungsinformationen (49) gewonnen werden,
 - die gewonnenen ersten und zweiten Entfernungsinformationen sowie die erstellten Referenzdaten jeweils zu einem bestimmten Sequenzabschnitt der Bearbeitungssequenz in Beziehung gesetzt, insbesondere diesem Sequenzabschnitt zugeordnet werden,
 - die zweiten Entfernungsinformationen (49) fortlaufend in Echtzeit einer Zustandsprüfung hinsichtlich des Vorliegens eines regulären Arbeitsbereiches (9) unterzogen werden
 - und dabei bezüglich des Sequenzabschnittes korrespondierend zugeordnete Referenzdaten (46) als Vergleichsbasis verwendet werden,
 - bei festgestelltem, nicht regulären Zustand des Arbeitsbereiches (9) die laufende Bearbeitungssequenz unterbrochen und die Roboter- bzw. Maschinenbewegung zum Stillstand gebracht wird und/oder das Ergebnis der Zustandsprüfung signalisiert wird, gekennzeichnet dadurch,
 - dass in den korrespondierend zugeordneten Referenzdaten (46) mehrere Entfernungsinformationen zufolge unterschiedlicher Objekte oder Objektteile oder eines definiert variabel positionierten Objektes abgebildet sind.



2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass während dem Durchfahren der Bearbeitungssequenz von einer Steuerung (15) des Roboters (5) oder der Werkzeugmaschine mehrfach Synchronisationsinformationen (19) zur Verfügung gestellt werden und diese Synchronisationsinformationen (19) mittelbar oder unmittelbar zum Herstellen der Beziehung der ersten und/oder zweiten Entfernungsinformationen und/oder der Referenzdaten (46) zu einem Sequenzabschnitt herangezogen werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet dadurch, dass eine Mehrzahl von Entfernungsmesssensoren (1, 2, 3, 4) zur Überwachung des Arbeitsbereiches (9) vorgesehen ist, im Trainingsbetrieb für jeden dieser Entfernungsmesssensoren (1, 2, 3, 4) ein individueller Satz von Referenzdaten (46) erstellt wird und im Überwachungsbetrieb die Entfernungsinformationen (49) der Mehrzahl von Entfernungsmesssensoren (1, 2, 3, 4) bei einer gesamtheitlichen Zustandsprüfung betreffend des Vorliegens eines regulären Arbeitsbereiches (9) einbezogen werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, gekennzeichnet dadurch, dass als Entfernungsmesssensoren (1, 2, 3, 4) handelsübliche Ultraschall-Entfernungssensoren eingesetzt werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, gekennzeichnet dadurch, dass die Ultraschall-Entfernungssensoren je ausgesendetem Ultraschallburst mehr als ein nachfolgend eintreffendes Echosignal erfassen und die jeweilige Laufzeit- oder Entfernungsinformation an einer Schnittstelle bereitstellen.
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, gekennzeichnet dadurch, dass ausgesendete Ultraschallpulse (33) in zeitlich kürzerem Abstand gesendet werden, als er der Echolaufzeit für die maximal vorgesehene Erfassungsdistanz entspricht.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, gekennzeichnet dadurch, dass die Entfernungsmessungen der Mehrzahl von Entfernungsmesssensoren (1, 2, 3, 4) zeitlich synchron oder in einem festgelegten zeitlichen Raster durchgeführt werden, wobei



Messwerte durch Übersprechen bzw. eine fallweise gegenseitige Beeinflussung der Entfernungsmesssensoren (1, 2, 3, 4) bewusst akzeptiert und in die Referenzdaten (46) und die Zustandsprüfung (85) einbezogen werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, gekennzeichnet dadurch, dass während einer Trainingsphase die programmierte Bearbeitungssequenz mehrere male durchfahren wird und die Entfernungsinformationen aus mehreren Bearbeitungsdurchgängen zum Erstellen der Referenzdaten eines Entfernungsmessensors (1, 2, 3, 4) herangezogen werden.

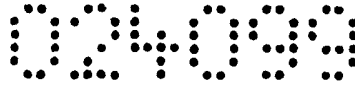
9. Verfahren nach Anspruch 8, gekennzeichnet dadurch, dass während der Trainingsphase die Bearbeitungssequenzen mehrmals mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten durchfahren werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet dadurch, dass zumindest ein Entfernungsmesssensor (4) räumlich feststehend angeordnet ist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, gekennzeichnet dadurch, dass zumindest ein Entfernungsmesssensor (1, 2, 3) mit einem während der Bearbeitungssequenz beweglichen Maschinen- oder Roboterteil verbunden ist und mit diesem gemeinsam bewegt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, gekennzeichnet dadurch, dass zumindest ein Entfernungsmesssensor (1, 2, 3, 4) an einer gesteuert um eine oder mehrere Achsen schwenkbaren Sensorhalterung befestigt ist und die Erfassungsrichtung des Entfernungsmessensors (1, 2, 3, 4) während einer Bearbeitungssequenz ablaufsynchron zu dieser veränderbar ist.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, gekennzeichnet dadurch, dass zumindest ein Entfernungsmesssensor (1, 2, 3, 4) während zumindest eines definierten



Sequenzabschnittes (45) deaktiviert ist oder seine gelieferten Messwerte ausgeblendet oder ignoriert werden.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, gekennzeichnet dadurch, dass für einen Entfernungsmesssensor (1, 2, 3, 4) eine minimale oder maximale Erfassungsdistanz festgelegt wird, unterhalb bzw. oberhalb welcher die Entfernungsinformationen ignoriert, insbesondere nicht für die Arbeitsbereichsüberwachung verwendet werden.

15. Verfahren nach Anspruch 14, gekennzeichnet dadurch, dass die minimale oder maximale Erfassungsdistanz in einzelnen Sequenzabschnitten (45) variabel festgelegt ist.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, gekennzeichnet dadurch, dass die ermittelten Referenzdaten (46) aus einem Arbeitsspeicher (60) einer Überwachungsvorrichtung (16) in einen nichtflüchtigen Massenspeicher (61) und zu einem anderen Zeitpunkt aus diesem wieder zurück in den Arbeitsspeicher (60) übertragen werden.

17. Verfahren nach Anspruch 16, gekennzeichnet dadurch, dass im nichtflüchtigen Massenspeicher (61) mehrere Referenzdatensätze für eine bestimmte Anzahl unterschiedlicher Bearbeitungssequenzen und/oder für unterschiedliche Typen von Werkstücken abgelegt sind und diese jeweils passend vor dem Beginn einer geänderten Bearbeitungssequenz oder eines geänderten Werkstücktyps in den Arbeitsspeicher (60) übertragen werden.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, gekennzeichnet dadurch, dass in einem Arbeitsspeicher (60) einer Überwachungsvorrichtung (16) mehrere Referenzdatensätze für eine bestimmte Anzahl unterschiedlicher Bearbeitungssequenzen und/oder für unterschiedliche Typen von Werkstücken abgelegt sind und diese jeweils passend vor dem Beginn einer geänderten Bearbeitungssequenz oder eines geänderten Werkstücktyps für die Zustandsprüfung der folgenden zweiten Entfernungsinformationen aktiviert werden.



19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, gekennzeichnet dadurch, dass die Referenzdaten (46) nicht oder nicht nur während einer ausgewiesenen definierten Trainingsphase erstellt werden, sondern auch parallel zu einem normal ablaufenden Überwachungsbetrieb laufend anhand aktueller gewonnener zweiter Entfernungsinformationen schrittweise ergänzt und/oder angepasst werden.

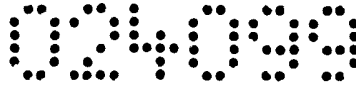
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, gekennzeichnet dadurch, dass die ermittelten ersten und/oder zweiten Entfernungsinformationen vor deren weiteren Verwendung hinsichtlich systematischer Messwerteeinflüsse korrigiert werden.

21. Verfahren nach Anspruch 20, gekennzeichnet dadurch, dass bei der Korrektur systematischer Messwerteeinflüsse auch aktuelle, von einer Steuerung (15) des Roboters (5) oder der Werkzeugmaschine übermittelte Bewegungsinformationen (20) einbezogen werden.

22. Verfahren nach Anspruch 21, gekennzeichnet dadurch, dass die Korrektur der systematischen Messwerteeinflüsse auch hinsichtlich deren Zuordnung zu einem bestimmten Sequenzabschnitt (45) erfolgt.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 22, gekennzeichnet dadurch, dass neben der Entfernungsinformation noch andere messtechnisch erfassbare Merkmale der erfassten Objekte bei der Erstellung der Referenzdaten und/oder der Zustandsüberprüfung im Überwachungsbetrieb herangezogen werden, insbesondere die Dauer eines Echopulses, die Amplitude eines Echo-Bursts bei Verwendung von Ultraschallentfernungsmesssensoren oder allgemein die Erfassungssignalstärke.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, gekennzeichnet dadurch, dass sich einzelne Sequenzabschnitte (45) hinsichtlich der Ausführung der Bearbeitungssequenz teilweise Überlappen (110) und einzelne erste oder zweite Entfernungsinformationen mehr als einem Sequenzabschnitt (45) zugeordnet sind.

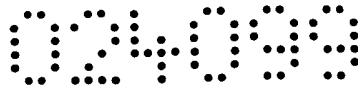


25. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, gekennzeichnet dadurch, dass bei der Zustandsprüfung hinsichtlich des Vorliegens eines regulären Arbeitsbereiches nicht nur die Referenzdaten des jeweils korrespondierenden Sequenzabschnittes (45), sondern auch die Referenzdaten unmittelbar benachbarter Sequenzabschnitte (45) einbezogen werden.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 25, gekennzeichnet dadurch, dass im Trainingsbetrieb ein bestimmtes Objekt bei ansonsten unverändertem Arbeitsbereich nacheinander in einer ersten und einer dazu definiert benachbarten zweiten Referenzlage positioniert wird und jeweils zumindest ein Bearbeitungsdurchgang zur Aufzeichnung von Messwerten durchgeführt wird, und im Überwachungsbetrieb für die Zustandsprüfung ein Fehler- bzw. Gütemaß gebildet wird, welches bei Positionierung des Objektes entlang der Geraden zwischen der ersten und zweiten Referenzlage einen im Wesentlichen zur Objektposition proportionalen Wert annimmt.

27. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 26, gekennzeichnet dadurch, dass die Bearbeitungssequenz, d.h. die Bewegung des Roboters (5) oder der Werkzeugmaschine, derart gestaltet oder optimiert wird, dass die Erfassungsbereiche der beweglichen Entfernungsmesssensoren (1, 2, 3) schon frühzeitig auf kritische Teile des Arbeitsbereiches (9) ausgerichtet werden und ein irregulär gestalteter Arbeitsbereich, insbesondere ein irregulär angeordnetes oder gestaltetes Werkstück möglichst frühzeitig erkannt und die Bearbeitungssequenz daraufhin abgebrochen wird.

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 27, gekennzeichnet dadurch, dass zumindest ein zusätzlicher Sensor zur wiederholten Messung einer üblicherweise im Laufe einer Bearbeitungssequenz veränderlichen Prozesskenngröße vorgesehen ist, beim Trainingsbetrieb erste Prozessmesswerte des zusätzlichen Sensors gewonnen werden und in die Erstellung zusätzlicher Referenzdaten einbezogen werden, im Überwachungsbetrieb zweite Prozessmesswerte des zusätzlichen Sensors gewonnen werden, die gewonnenen ersten und zweiten Prozessmesswerte sowie die zusätzlichen Referenzdaten einem be-



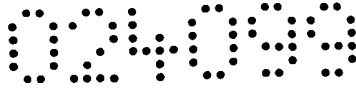
stimmten Sequenzabschnitt zugeordnet werden und in die Zustandsprüfung einbezogen werden.

29. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 28, gekennzeichnet dadurch, dass das Werkstück (7) während wenigstens einem Bearbeitungsvorgang durch den Roboter (5) oder die Werkzeugmaschine auf einer förderbandartigen Transporteinrichtung (8) bewegt wird und gleichzeitig die Arbeitsbereichsüberwachung aktiv und funktionswirksam ist.

30. Verfahren zum Erstellen von Referenzdaten (46) zur Verwendung in einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 29, gekennzeichnet durch die Schritte:

- Ein- oder mehrmaliges Durchfahren der Bearbeitungssequenz bei regulärer räumlicher Ausgestaltung des Arbeitsbereiches (9), der Werkzeuge (6) und des Werkstückes (7),
- fortlaufendes Registrieren der Entfernungsinformationen eines Entfernungsmessensors (1, 2, 3, 4) beim Durchfahren der Bearbeitungssequenz,
- Zuordnen der Entfernungsinformationen zu einem mit dem Bearbeitungszustand zum Durchführungszeitpunkt der Entfernungsmessung korrespondierenden Sequenzabschnitt (45),
- Ermitteln von Kennzahlen, welche die Lage und gegebenenfalls weitere statistische Eigenschaften von bezüglich der Objektdistanz charakteristischen Häufungsbereichen (44) der registrierten Entfernungsinformationen in dem Sequenzabschnitt (45) bezeichnen,
- Zuordnen dieser Kennzahlen zum Sequenzabschnitt (45) und
- Ablegen der Kennzahlen in einem Arbeitsspeicher (60) für die anschließende Verwendung als Referenzdaten (49) zur Charakterisierung eines regulären Arbeitsbereiches (9).

31. Verfahren nach Anspruch 30, gekennzeichnet dadurch, dass im Trainingsbetrieb ein bestimmtes Objekt bei ansonsten unverändertem Arbeitsbereich nacheinander in einer ersten und einer dazu definiert benachbarten zweiten Referenzlage positioniert wird und jeweils zumindest ein Bearbeitungsdurchgang zur Aufzeichnung von Messwerten durchgeführt wird, und die Kennzahlen der dabei gewonnenen Entfernungsinformationen



und vorzugsweise einer Information über das Ausmaß der Objektverschiebung in den Referenzdaten (46) abgebildet werden.

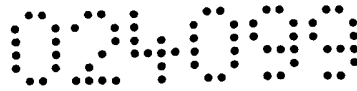
32. Verfahren nach Anspruch 30 oder 31, gekennzeichnet dadurch, dass die Kennzahlen eines charakteristischen Häufungsbereiches (44) einen unteren und oberen Wert umfassen, die einen Wertebereich angeben, in dem ein definierter Anteil der Entfernungsinformationen, welche den Häufungsbereich (44) bilden, zu liegen kommt.

33. Verfahren nach einem der Ansprüche 30 bis 32, gekennzeichnet dadurch, dass die Kennzahlen eines charakteristischen Häufungsbereiches (44) einen Zentrums- oder Mittelwert umfassen, der die Lage des Häufungsbereiches (44) bezüglich der Objektdistanz bezeichnet.

34. Verfahren nach einem der Ansprüche 30 bis 33, gekennzeichnet dadurch, dass die Kennzahlen eines charakteristischen Häufungsbereiches (44) einen Streuwert oder eine Breitenangabe umfassen, der die Breite eines Wertebereiches bezeichnet, in dem ein definierter Anteil der Entfernungsinformationen zu liegen kommt, welche den Häufungsbereich (44) bilden.

35. Verfahren nach einem der Ansprüche 30 bis 34, gekennzeichnet dadurch, dass die Kennzahlen eines charakteristischen Häufungsbereiches (44) einen Wert zur Angabe der relativen Häufigkeit des Auftretens der Entfernungsinformationen, die den Häufungsbereich (44) bilden, bezogen auf die Gesamtzahl der im jeweiligen Sequenzabschnitt (45) durchgeführten Entfernungsmessungen umfassen.

36. Verfahren nach einem der Ansprüche 30 bis 35, gekennzeichnet dadurch, dass einem charakteristischen Häufungsbereich (44) eine standardisierte statistische Verteilungsfunktion, insbesondere eine Rechteckverteilung, eine Normalverteilung oder eine Dreiecksverteilung, hinsichtlich der den Häufungsbereich (44) bildenden Entfernungsinformationen zugeordnet wird und die Kennzahlen des Häufungsbereiches (44) aus der La-



ge der einzelnen Entfernungsinformationen unter Annahme dieser standardisierten statistischen Verteilungsfunktion ermittelt wird.

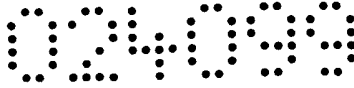
37. Verfahren zur Zustandsprüfung während des Überwachungsbetriebes hinsichtlich des Vorliegens eines regulären Arbeitsbereiches (9) als Teil eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 29, gekennzeichnet durch

- die Bildung eines ersten Fehlermaßes (75) für das Vorliegen eines regulären bzw. eines nicht regulären Arbeitsbereiches beim Auftreten der jeweils erhaltenen zweiten Entfernungsinformationen unter Berücksichtigung der Referenzdaten (46),
- Einbeziehen dieses ersten Fehlermaßes und gegebenenfalls weiterer Fehlermaße in die Beurteilung für das Vorliegen eines regulären bzw. eines nicht regulären Arbeitsbereiches.

38. Verfahren nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, dass in den Messdaten enthaltene zweite Entfernungsinformationen, welche abseits der in den Referenzdaten abgebildeten charakteristischen Häufungsbereiche (44) der ersten Entfernungsinformationen liegen, zu einem solchen Wert für das erste Fehlermaß (75) führen, welcher das Vorliegen eines nicht regulären Arbeitsbereiches (9) repräsentiert.

39. Verfahren nach Anspruch 37 oder 38, dadurch gekennzeichnet, dass in den Referenzdaten abgebildete charakteristische Häufungsbereiche (44), für welche in den Messdaten keine entsprechenden zweiten Entfernungsinformationen auftreten, zu einem solchen Wert für das erste Fehlermaß (75) führen, welcher das Vorliegen eines nicht regulären Arbeitsbereiches (9) repräsentiert.

40. Verfahren nach einem der Ansprüche 37 bis 39, dadurch gekennzeichnet, dass ein zweites Fehlermaß (76) aus dem aktuellen Wert und mehreren vorangegangenen Werten des ersten Fehlermaßes (75) gebildet wird und dieses zweite Fehlermaß (76) in die Beurteilung für das Vorliegen eines regulären bzw. eines nicht regulären Arbeitsbereiches (9) einbezogen wird.



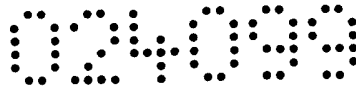
41. Verfahren nach einem der Ansprüche 37 bis 40, dadurch gekennzeichnet, dass ein drittes Fehlermaß (88) aus mehreren ersten (75) oder zweiten (76) Fehlermaßen gebildet wird, welche jeweils auf den Entfernungsinformationen von einem aus einer Mehrzahl von zur Arbeitsbereichsüberwachung vorgesehener Entfernungsmessensoren (1, 2, 3, 4) basieren und dieses dritte Fehlermaß (88) in die Beurteilung für das Vorliegen eines regulären bzw. eines nicht regulären Arbeitsbereiches (9) einbezogen wird.

42. Verfahren nach einem der Ansprüche 37 bis 41, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten, zweiten oder dritten Fehlermaße (75, 76, 88) einen normierten Wertebereich, insbesondere einen Wertebereich von 0 bis 1 aufweisen.

43. Verfahren nach einem der Ansprüche 37 bis 42, gekennzeichnet dadurch, dass die Beurteilung für das Vorliegen eines regulären Arbeitsbereiches (9) den Vergleich eines ersten, zweiten oder dritten Fehlermaßes (75, 76, 88) mit einem ersten Grenzwert (72) entsprechend einer zulässigen Maximalabweichung für das Vorliegen eines regulären Arbeitsbereiches (9) beinhaltet und bei einem negativen Vergleich einer Steuerung (15) des Roboters (5) oder der Werkzeugmaschine ein Stopp-Signal (18) übermittelt wird bzw. ein Freigabesignal entzogen wird.

44. Verfahren nach einem der Ansprüche 37 bis 43, gekennzeichnet dadurch, dass für eine weitere Beurteilung für das Vorliegen eines regulären Arbeitsbereiches (9) ein zweiter Grenzwert entsprechend einer zulässigen Maximalabweichung vorgesehen ist, ein Vergleich eines ersten, zweiten oder dritten Fehlermaßes (75, 76, 88) mit dem zweiten Grenzwert durchgeführt wird und bei einem negativen Vergleich einer Steuerung (15) des Roboters (5) oder der Werkzeugmaschine ein Signal zur Verminderung der Bearbeitungs- bzw. Bewegungsgeschwindigkeit übermittelt wird.

45. Verfahren nach einem der Ansprüche 37 bis 44, gekennzeichnet dadurch, dass aus einem Vergleich der gewonnenen zweiten Entfernungsinformationen (49) mit den Referenzdaten (46) ein erstes Fehlermaß (75) derart gebildet wird, dass der Wert dieses



Fehlermaßes (75) für gegenüber der Referenzposition kleinen Abweichungen näherungsweise proportional zur Abweichung des Objektes ist.

46. Überwachungsvorrichtung (16) zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 29, aufweisend zumindest einen Prozessor, einen Speicher (60) zur Aufnahme zumindest eines Satzes von Referenzdaten (46), zumindest eine Schnittstelle zur Anbindung an zumindest einen Entfernungsmesssensor (1, 2, 3, 4), sowie zumindest eine Schnittstelle zur Herstellung einer datentechnischen Wirkverbindung mit einer Steuerung (15) eines Roboters oder einer Werkzeugmaschine.

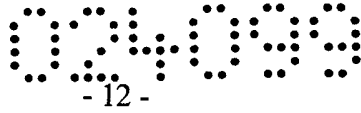
47. Programmgeführte Steuerung (15) für einen Roboter (5) oder eine Werkzeugmaschine mit einer Schnittstelle sowie angepasster softwaretechnischer Mittel zur Herstellung einer datentechnischen Wirkverbindung mit einer Überwachungsvorrichtung (16) nach Anspruch 46, gekennzeichnet dadurch, dass sie für die Übertragung von Synchronisationsinformationen (19) betreffend den Fortgang einer laufenden Bearbeitungssequenz sowie für den Empfang von Freigabe- oder Sperrinformationen (18) für die gesteuerte Unterbrechung der laufenden Bearbeitungssequenz ausgebildet ist.

48. Programmgeführte Steuerung (15) für einen Roboter (5) oder eine Werkzeugmaschine mit einer baulich und gegebenenfalls auch datenverarbeitungstechnisch integrierten Überwachungsvorrichtung (16) zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 29.

49. Programmgesteuerter Roboter (5) oder programmgesteuerte Werkzeugmaschine mit einer Überwachungsvorrichtung (16) nach Anspruch 46.

50. Programmgesteuerter Roboter (5) oder programmgesteuerte Werkzeugmaschine mit einer Steuerung (15) nach Anspruch 47 oder 48.

51. Verfahren zum Betreiben einer datentechnischen Wirkverbindung zwischen einer Überwachungsvorrichtung (16) nach Anspruch 46 und einer Steuerung (15)



eines Roboters (5) oder einer Werkzeugmaschine, beinhaltend die Übertragung von Synchronisationsinformationen (19) in Echtzeit von der Steuerung (15) an die Überwachungsvorrichtung (16) über den aktuellen Fortgang einer automatisiert laufenden Bearbeitungssequenz.

52. Verfahren zum Betreiben einer datentechnischen Wirkverbindung einer Überwachungsvorrichtung (16) nach Anspruch 46 mit einer Steuerung (15) eines Roboters (5) oder einer Werkzeugmaschine, beinhaltend die Übertragung von Signalen oder Datenpaketen (18) in Echtzeit von der Überwachungsvorrichtung (16) an die Steuerung (15) des Roboters (5) oder der Werkzeugmaschine zur Freigabe oder zur Unterbindung einer Bearbeitungssequenz.

KEBA AG

durch

(Dr. Secklehner)

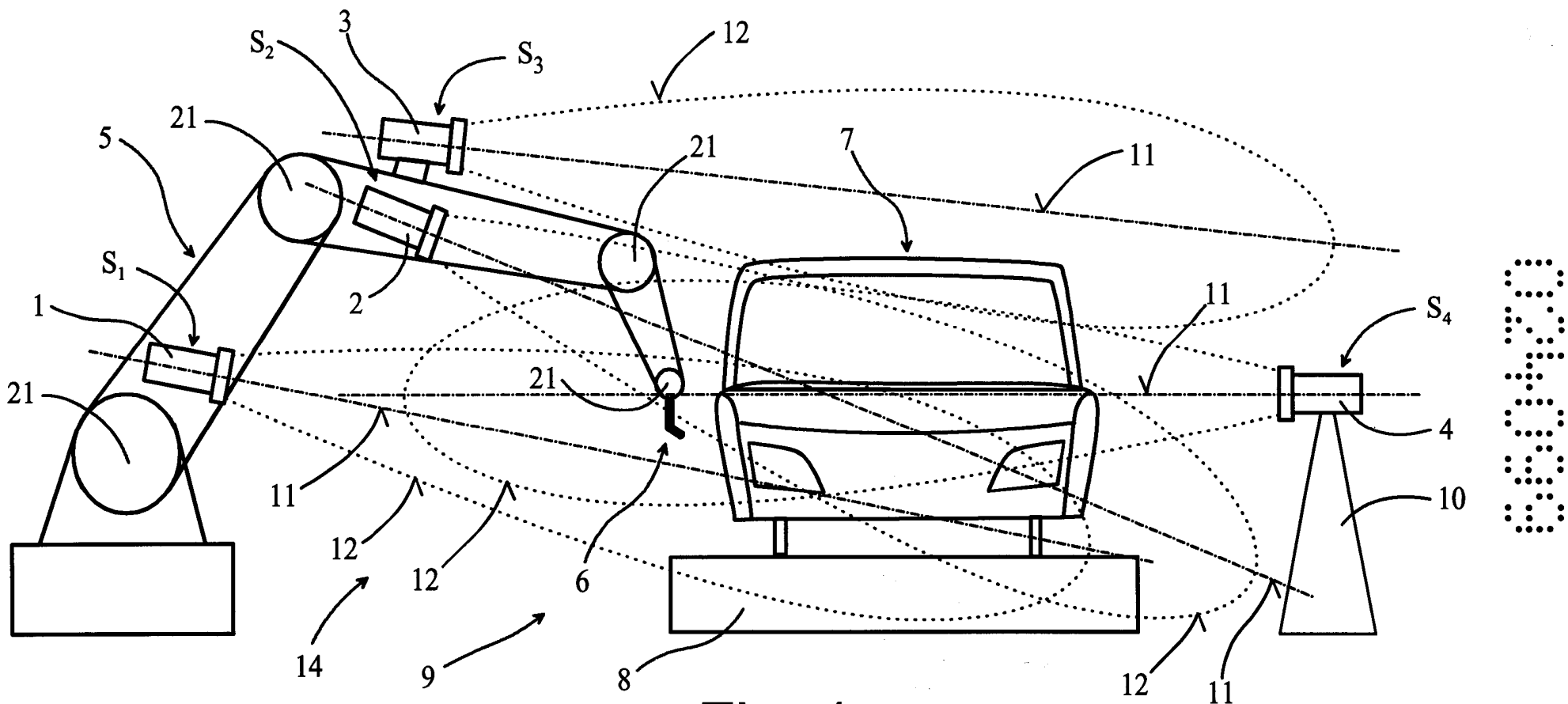
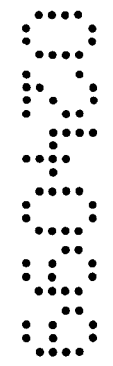


Fig. 1



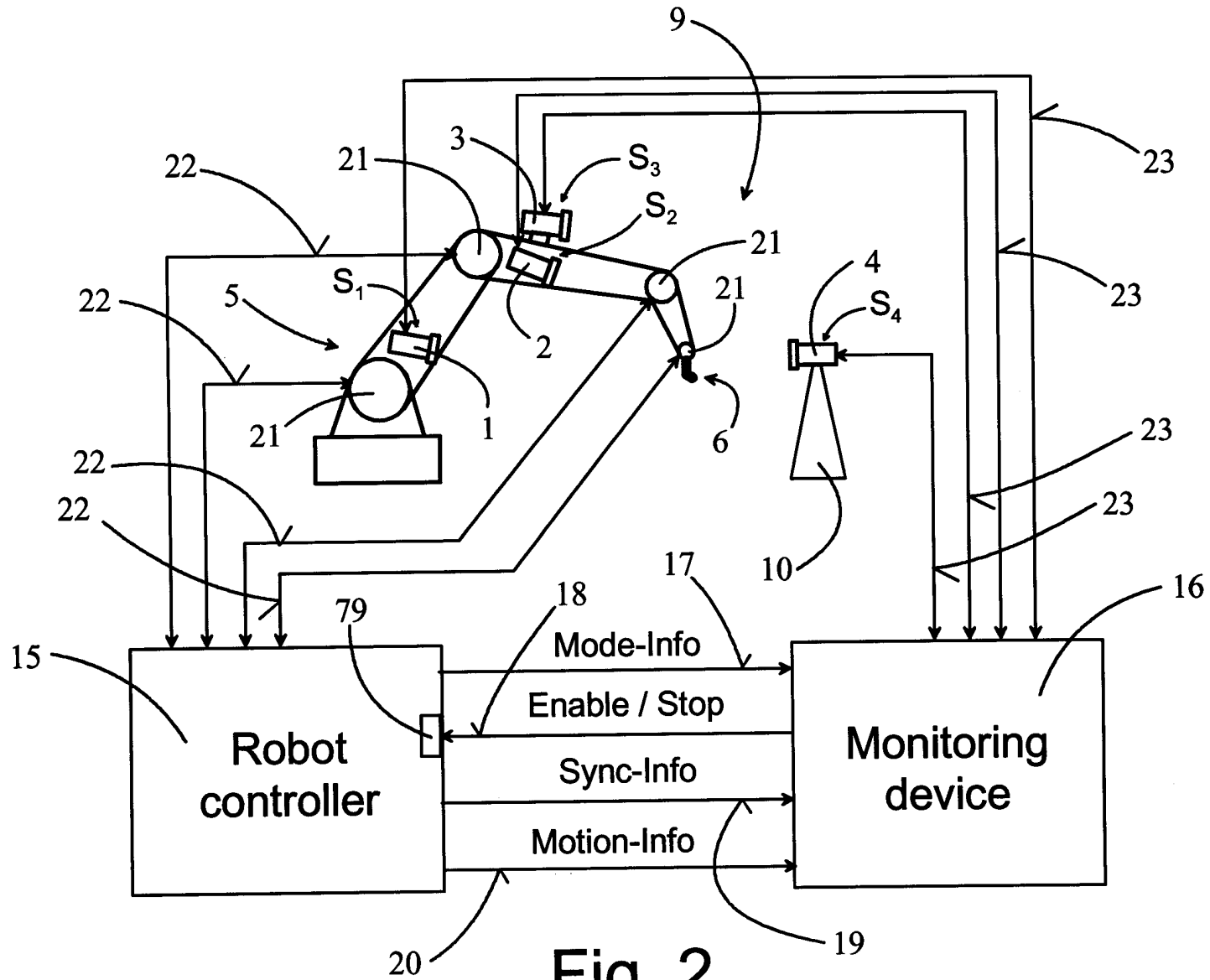
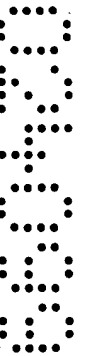


Fig. 2



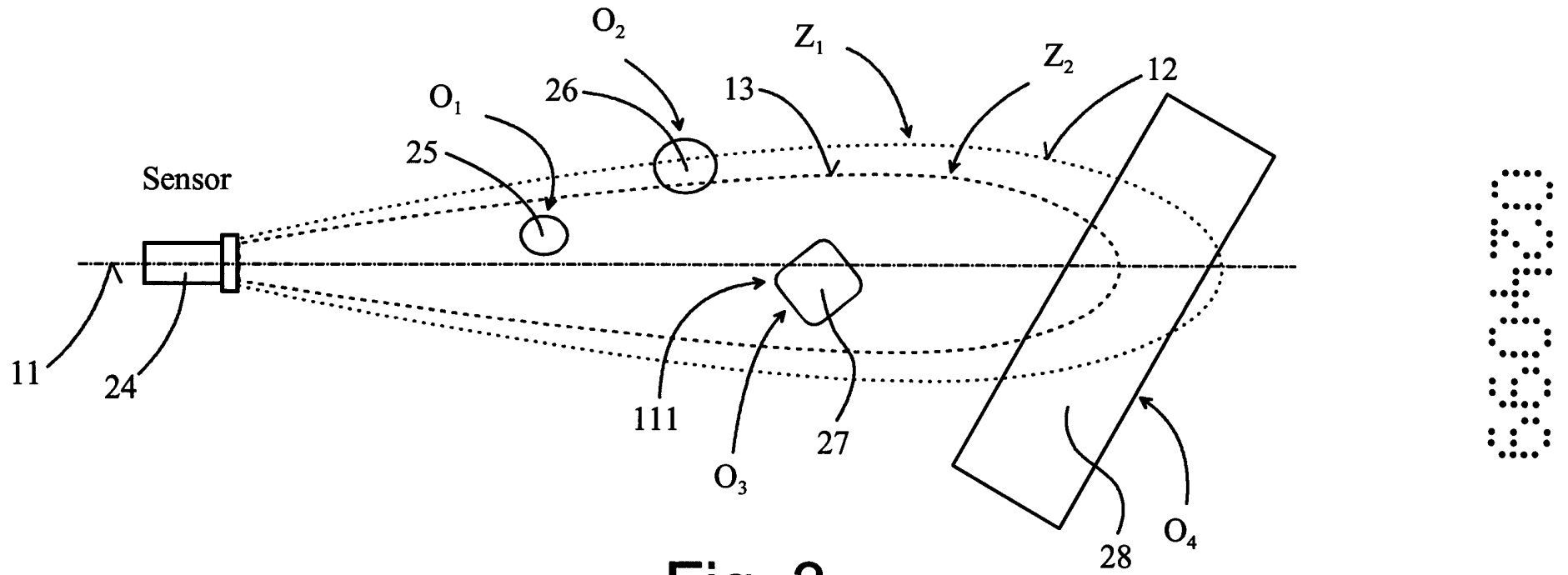


Fig. 3

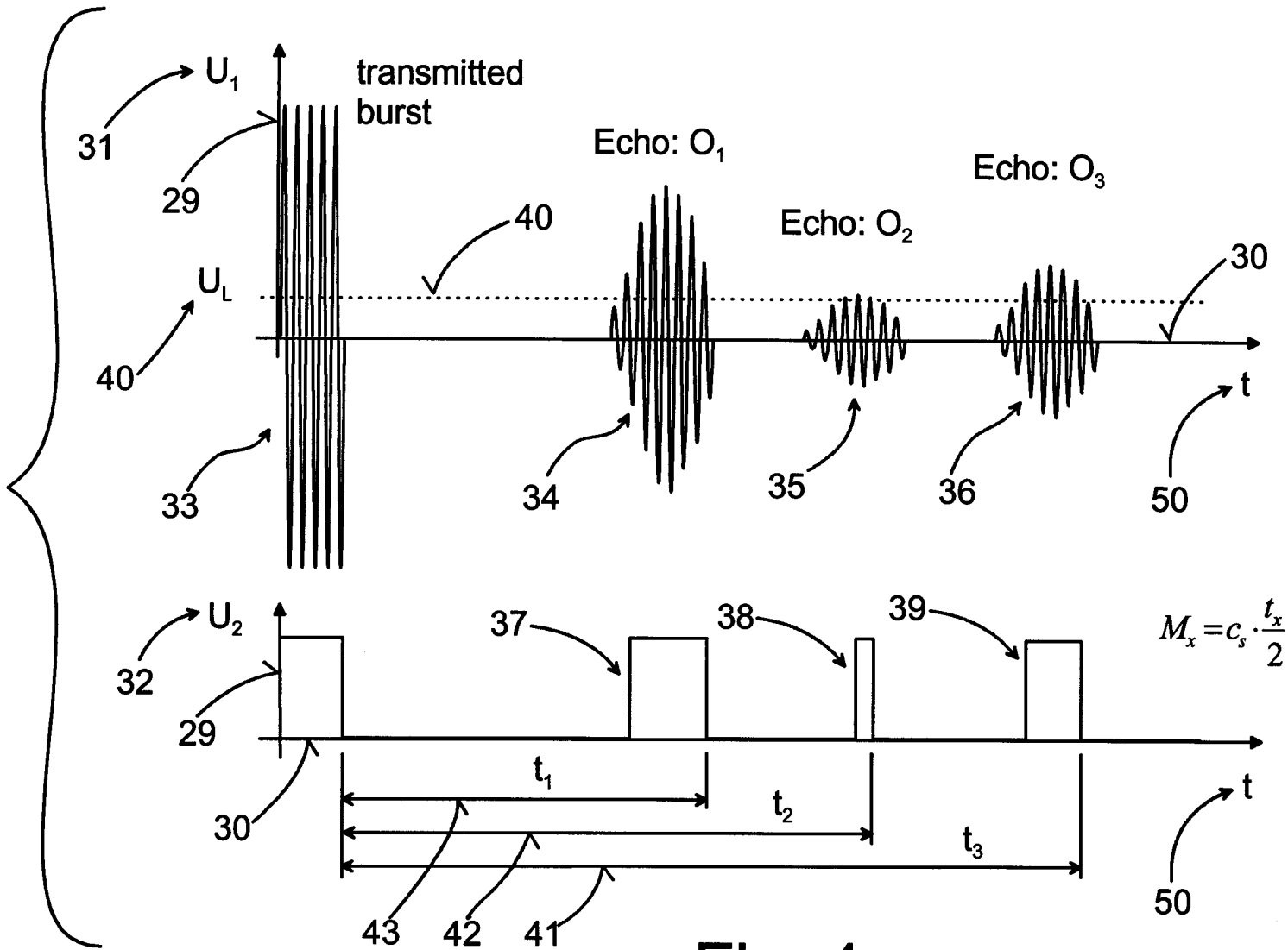


Fig. 4



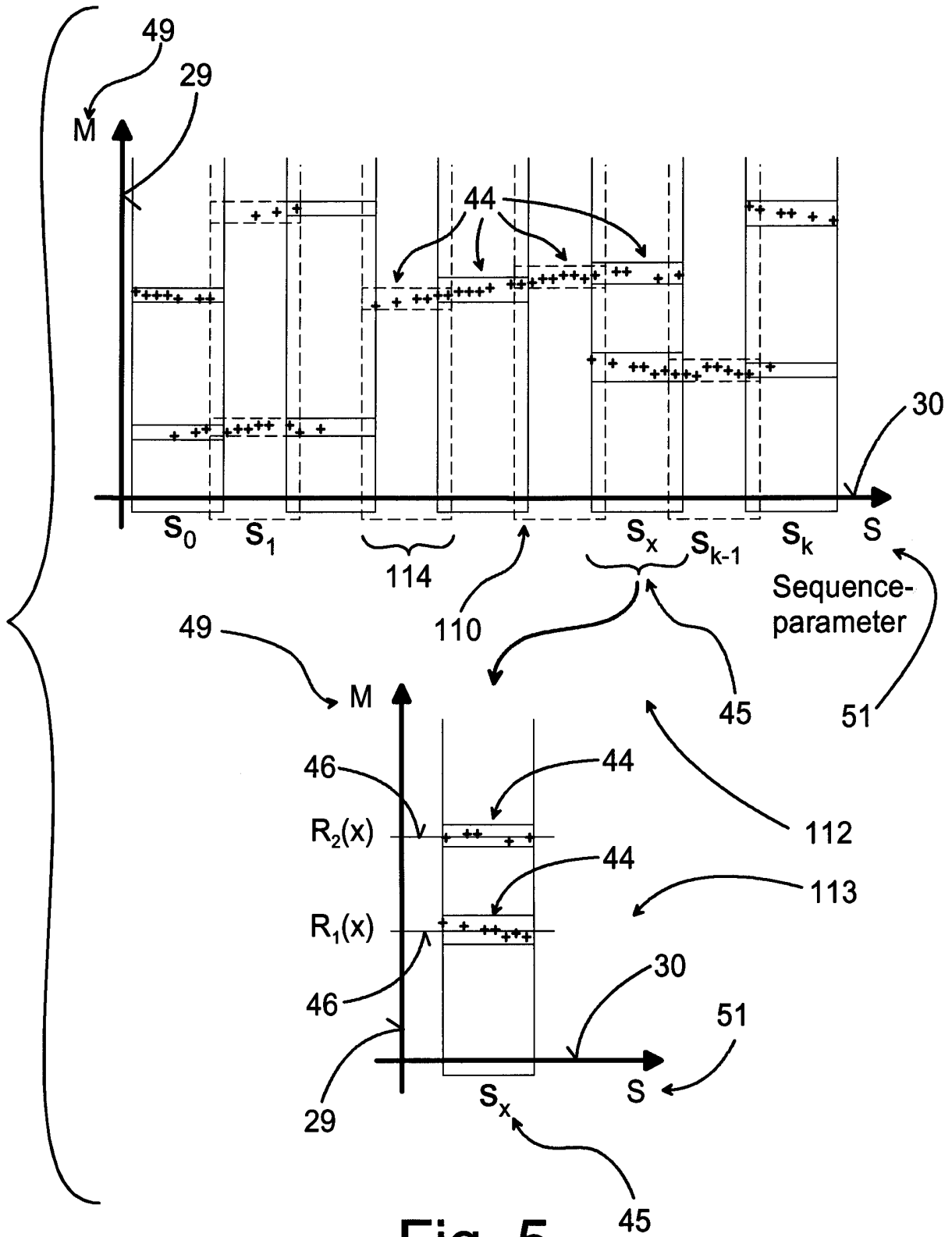


Fig. 5

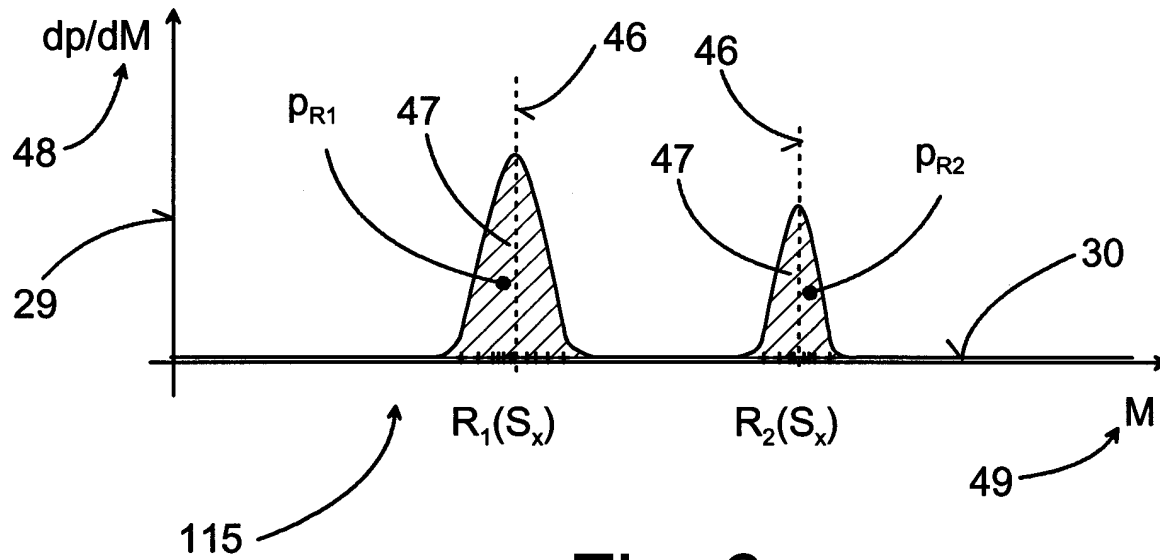
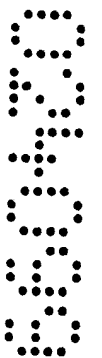


Fig. 6



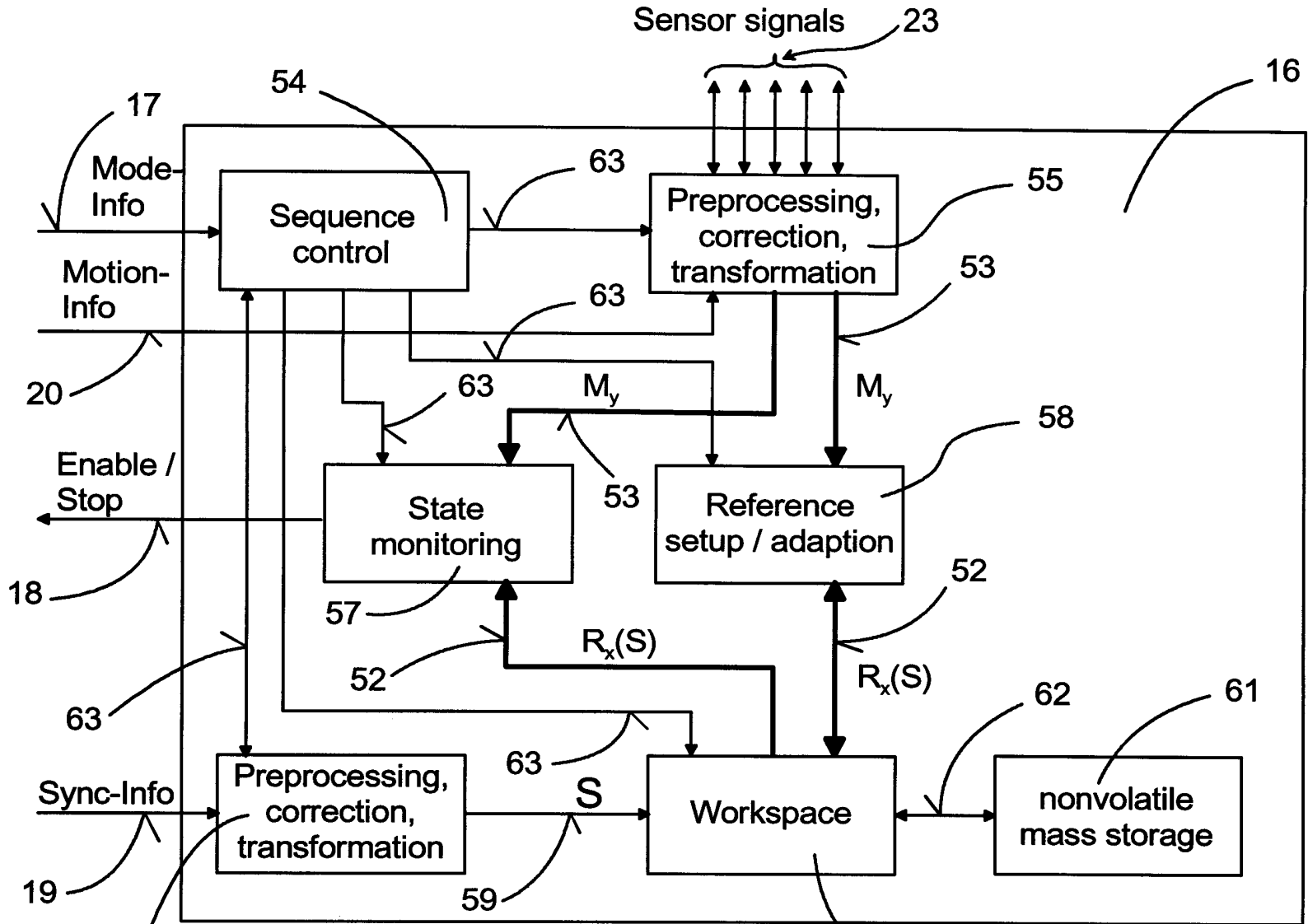
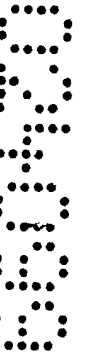


Fig. 7



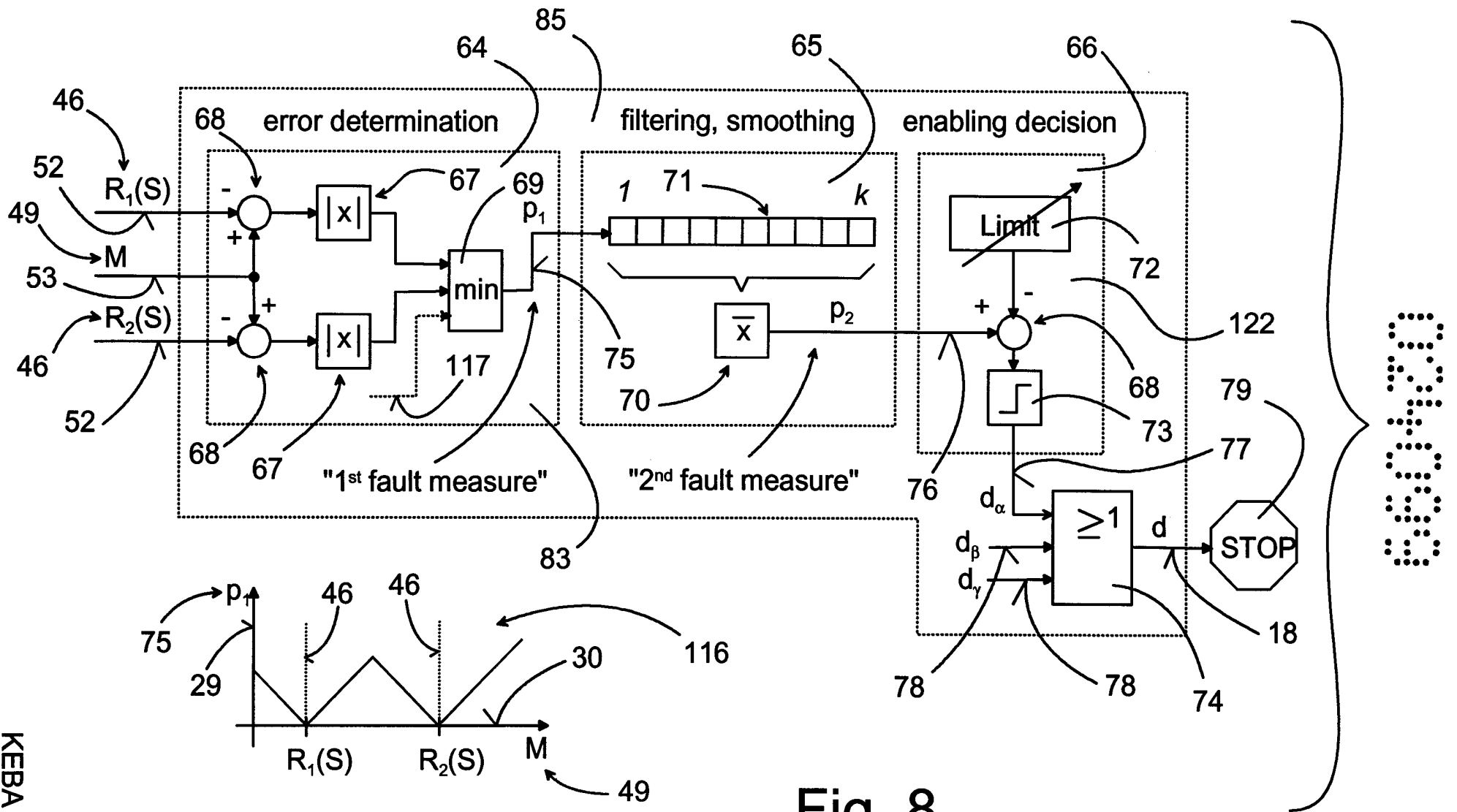


Fig. 8

04099

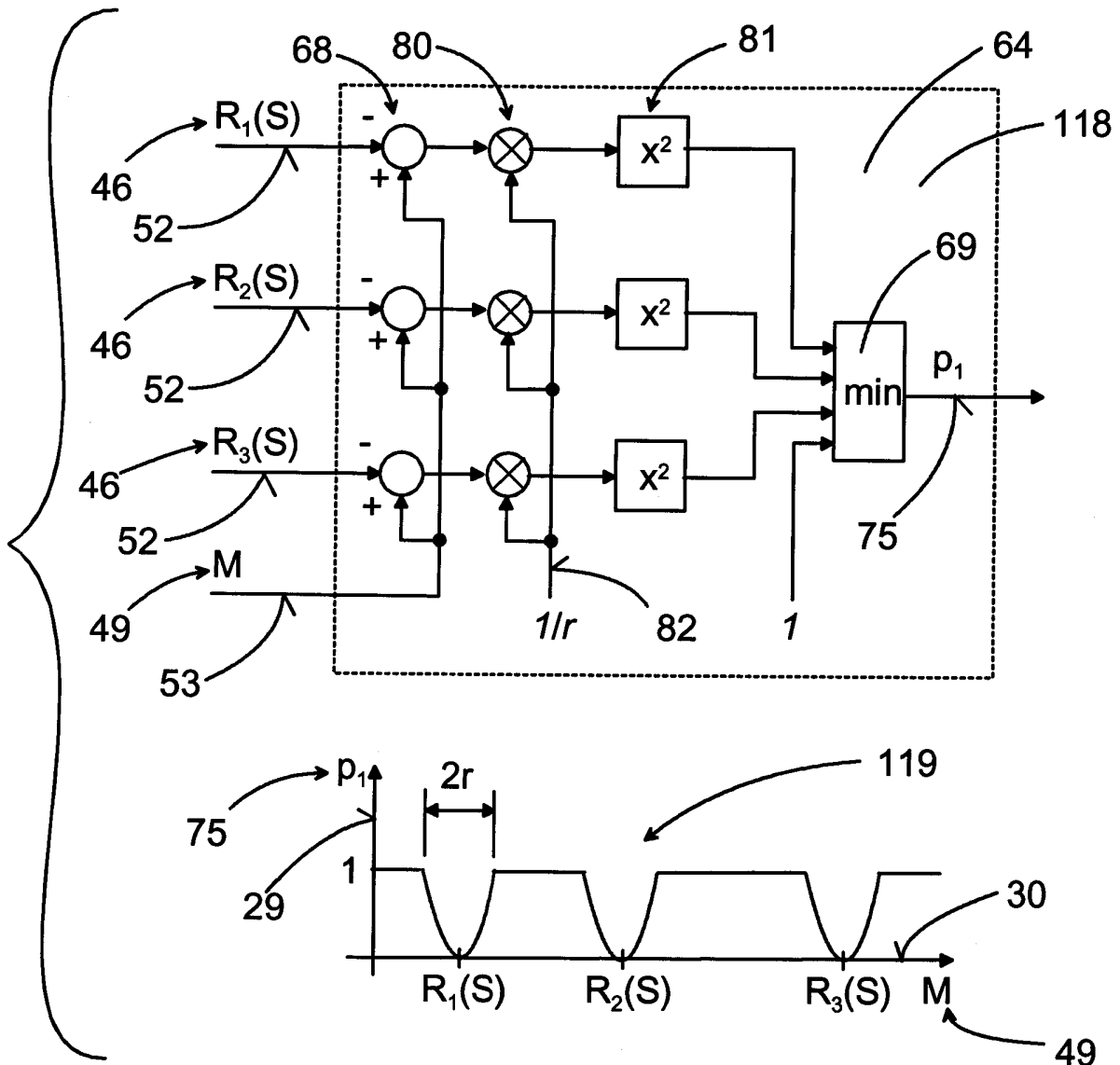


Fig. 9

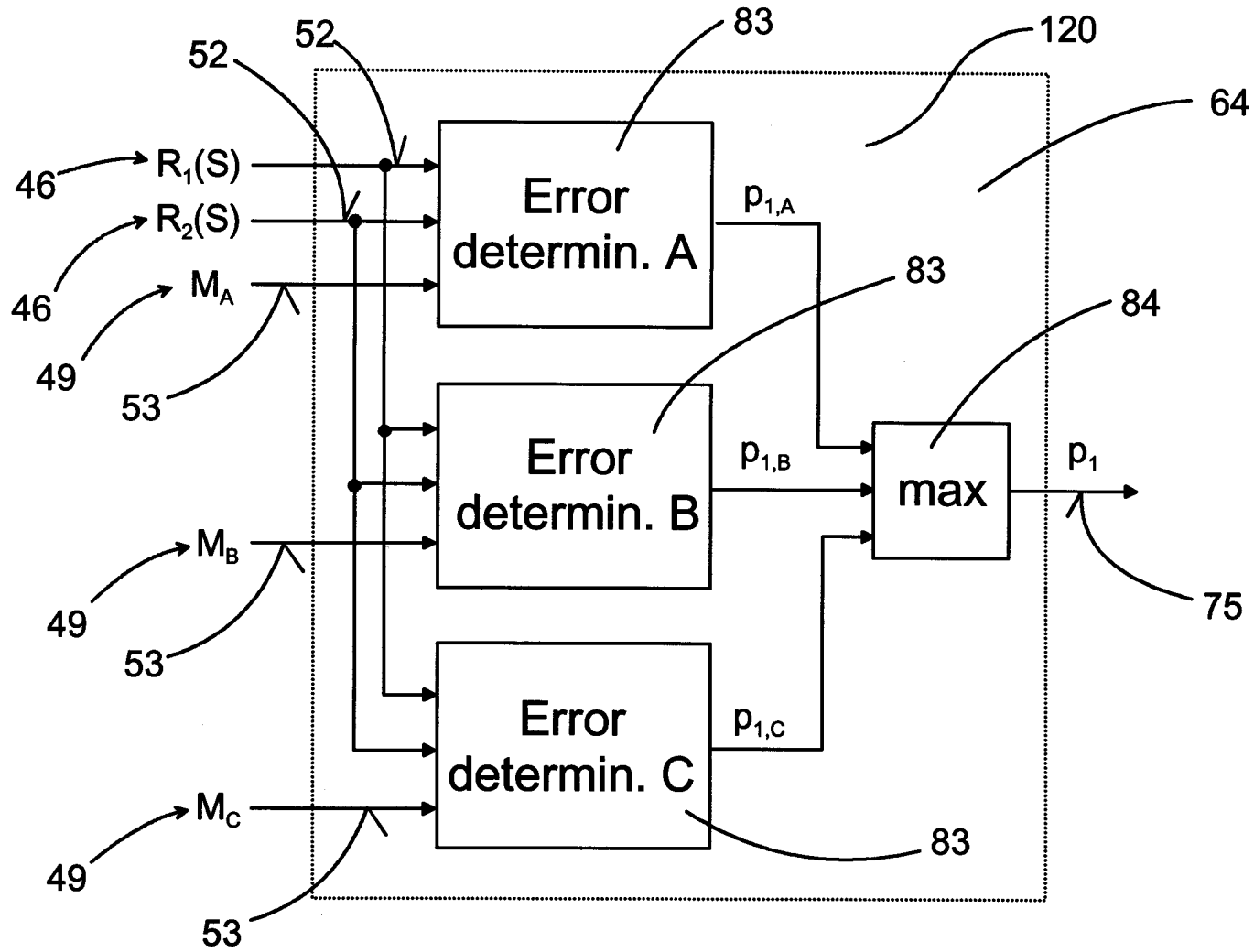
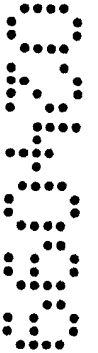


Fig. 10



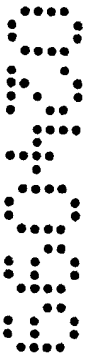
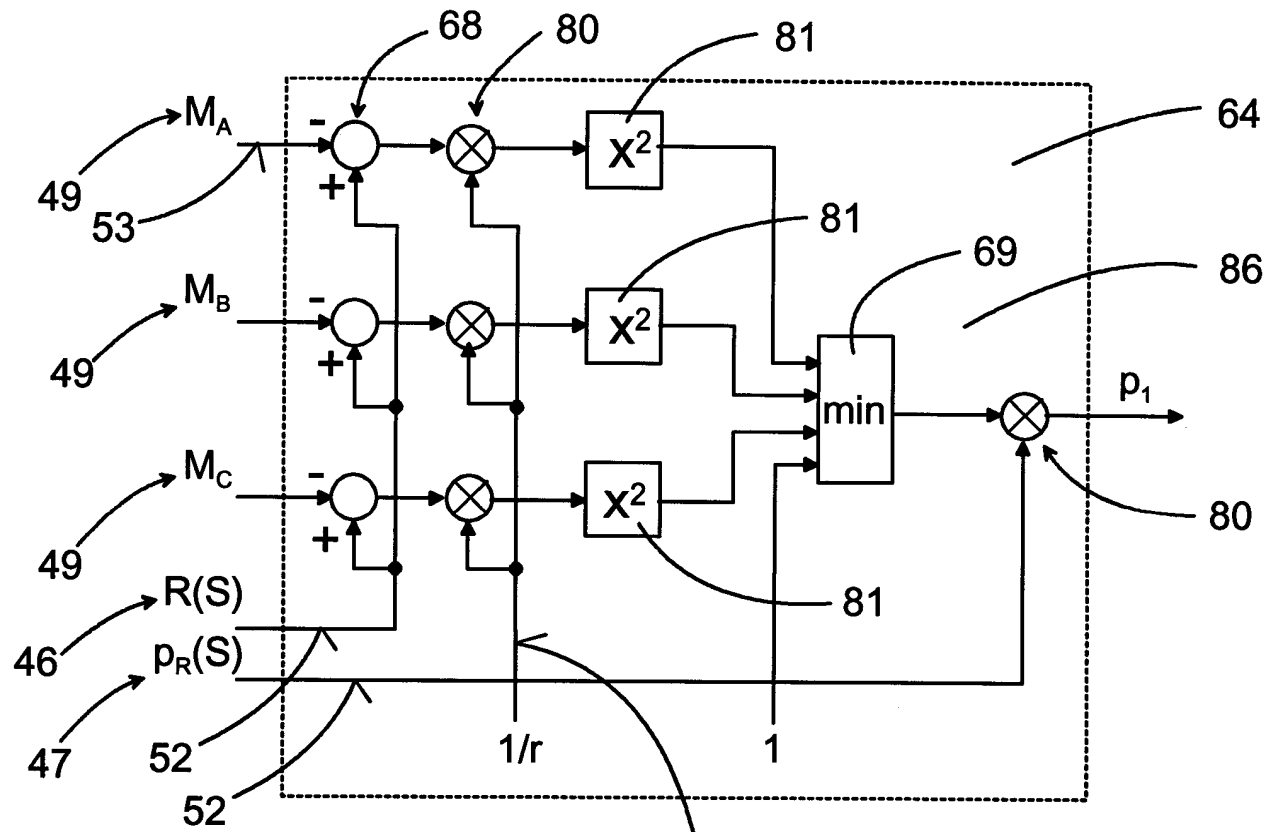
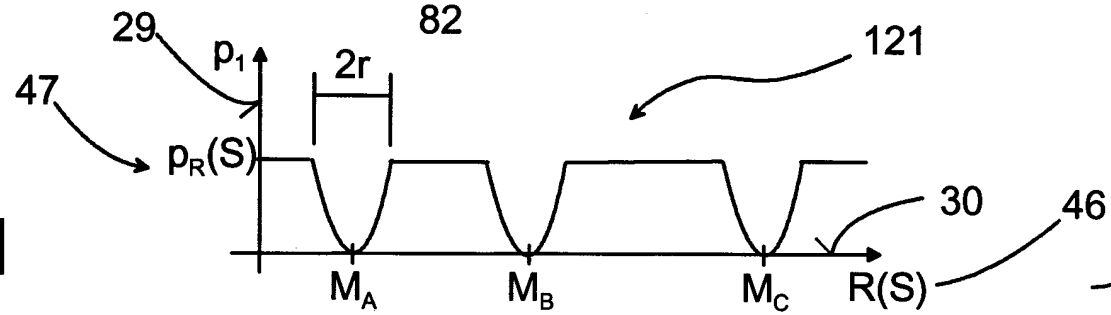


Fig. 11



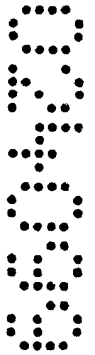
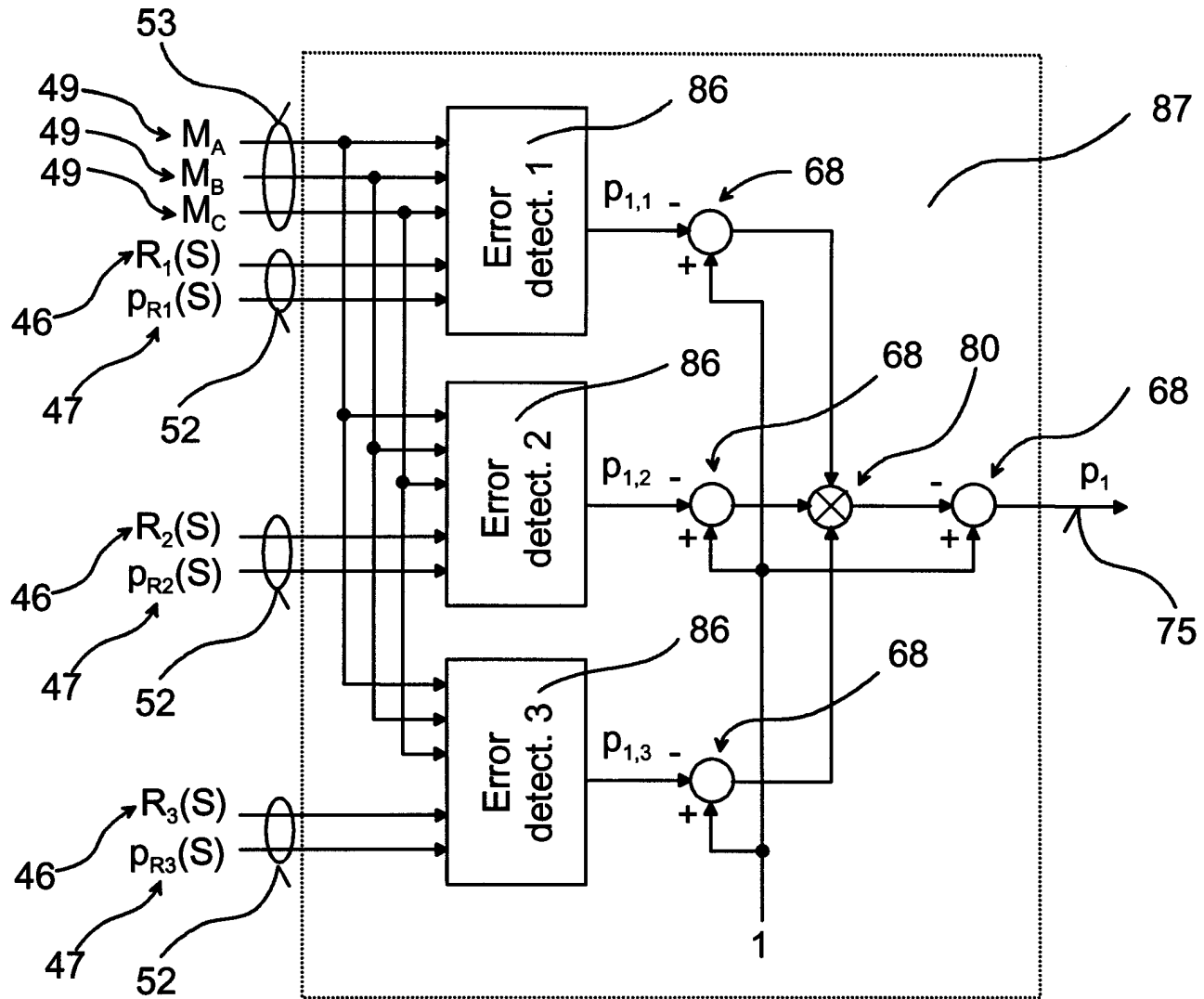


Fig. 12

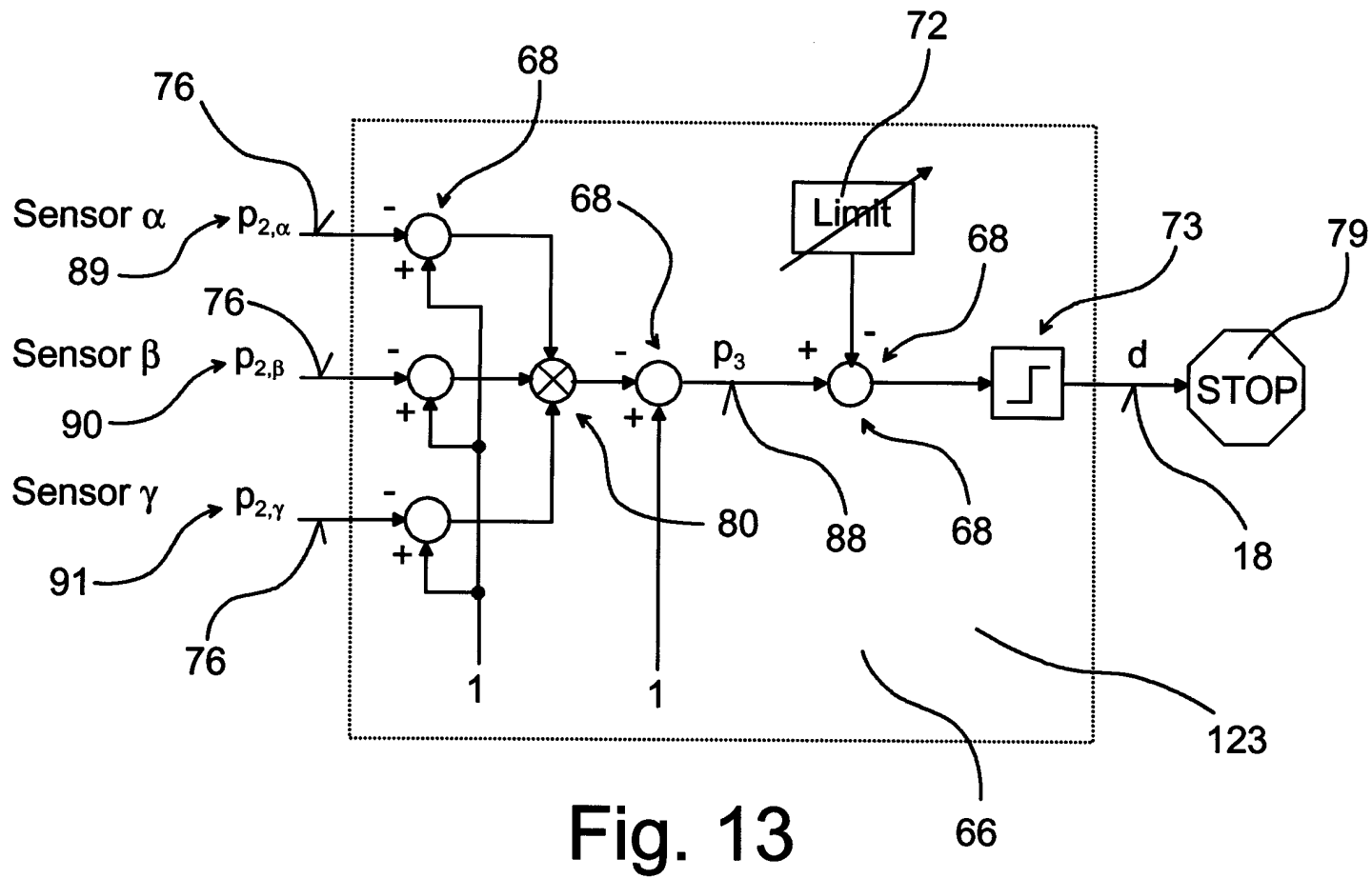
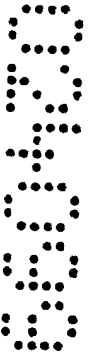


Fig. 13



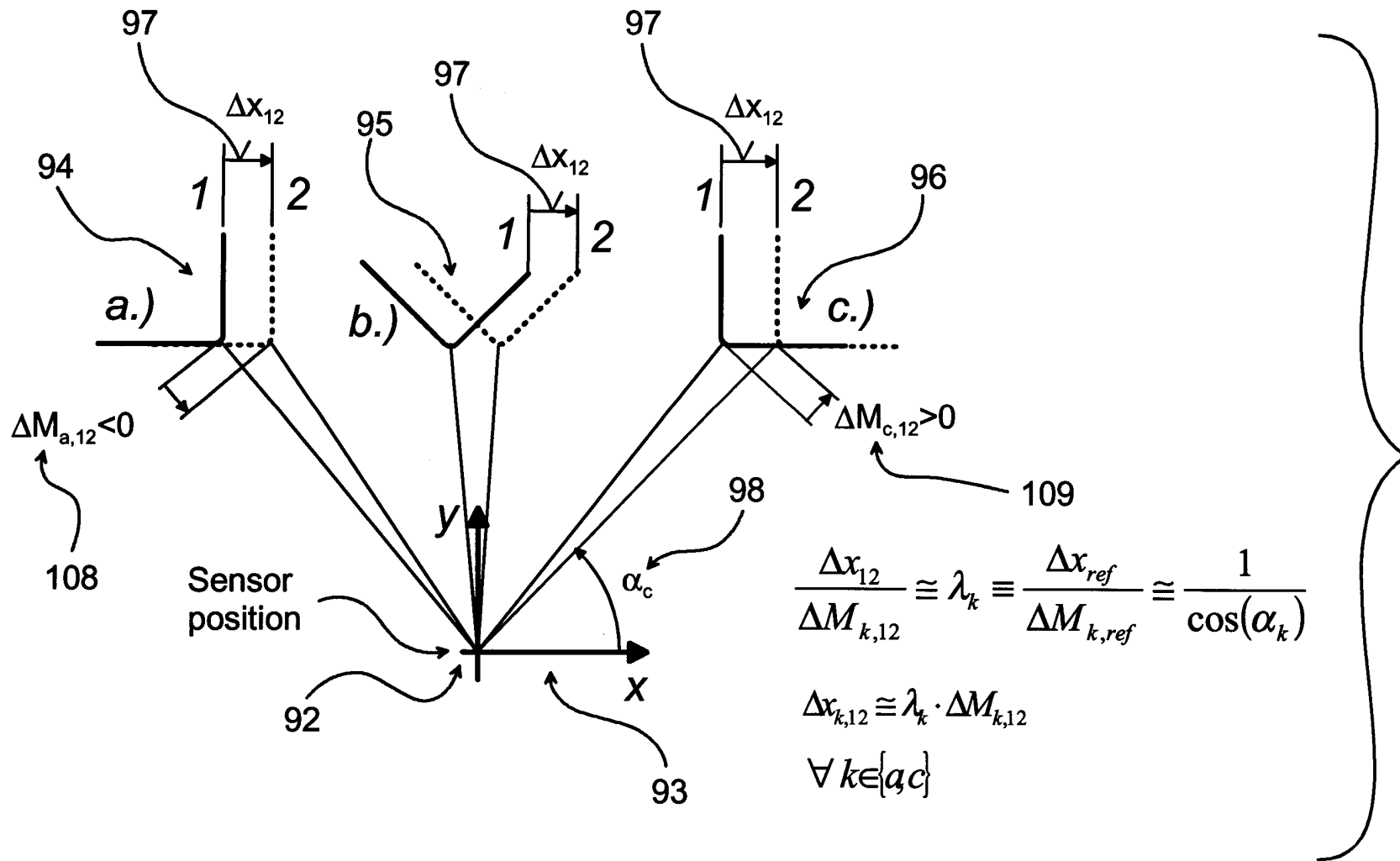


Fig. 14

