

**Wirtschaftspatent**

Erteilt gemäß § 5 Absatz 1 des Änderungsgesetzes zum Patentgesetz

ISSN 0433-6461

(11)

**208 858**Int.Cl.<sup>3</sup>

3(51) G 01 B 11/02

**AMT FUER ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN**

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

21) WP G 01 B/ 2429 414

(22) 01.09.82

(44) 11.04.84

71) siehe (72)

72) WOSCHNI, HANS-GUENTER, DR. SC. TECHN.; ENDTER, RAINER, DIPL.-PHYS.;  
CHRISTOPH, RALF, DIPL.-ING.; DD;

73) siehe (72)

74) FRIEDRICH-SCHILLER- UNIVERSITAET JENA DIREK. F. FORSCH. BFNS 6900 JENA  
AUGUST-BEBEL-STR. 4**54) VERFAHREN ZUR MESSUNG DES ORTES BEWEGTER OPTISCH WIRKSAMER STRUKTUREN MIT HILFE VON FOTOEMPFAENGER-ARRAYS**

57) Das Verfahren zur Messung des Ortes einer optisch wirksamen Struktur dient dazu, die Lage von bewegten Strichen und Kanten mit Hilfe von Fotoempfänger-Arrays, die mit einem weiteren Ortsmeßsystem gekoppelt sind, zu bestimmen. Dabei werden Fehler, die auf Grund der integrativen Messung (der Belichtung) durch das Array und/oder auf Grund der sequentiellen Auslesung aus diesem entstehen können, vermieden. Das wird dadurch erzielt, daß die Übernahme des Meßwertes aus den mit dem Array gekoppelten Meßsystemen zu einem solchen Zeitpunkt erfolgt, zu dem die Strukturlage auf dem Empfänger-Array einen Ort einnimmt, der mit demjenigen übereinstimmt, der aus der danach aus dem Empfänger-Array ausgelesenen Information bestimmt wird, oder dessen Abweichung durch Berücksichtigung der Strukturgeschwindigkeit berechnet wird. Das Verfahren ist insbesondere für die Anwendung in Koordinaten-Meßgeräten bestimmt.

#### Titel der Erfindung

Verfahren zur Messung des Ortes bewegter optisch wirksamer Strukturen mit Hilfe von Fotoempfänger-Arrays.

#### Anwendungsgebiet der Erfindung

In der Technik, insbesondere in der Feingeräte- und Feinmeßtechnik, nehmen die Anforderungen an die Genauigkeit und die Automatisierbarkeit von Meß- und Positionierverfahren ständig zu. Voraussetzung für die Automatisierbarkeit von Prozessen ist die objektive Erfassung des durch den Prozeß zu beeinflussenden Zustandes. Für die Feinmeßtechnik ist die Lage von Strukturen im Raum die relevante Größe. Diese wird durch bekannte Längenmeßsysteme erfaßt, indem die Lage mit einem als Normal dienenden Etalon (Maßstab, Lichtwelle) verglichen wird. Für die Automatisierbarkeit und die Objektivierung der Ortsbestimmung ist die Geschwindigkeit der Meßwerteerfassung eine wichtige Größe, da sie die Möglichkeit bestimmt, die Lage bewegter Strukturen zu ermitteln.

#### Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Bekannt sind berührende (mit mechanischen Testern) und berührungslose (z. B. optische) Verfahren zur Ortsbestimmung, bei denen eine signifikante Lage eines aus-

gezeichneten Punktes der Meßstruktur (Strukturort) signalisiert wird.

Ein Beispiel ist das Anvisieren einer Struktur mit einem Fadenkreuz, wobei die signifikante Lage dann erreicht ist, wenn das Fadenkreuz in der Bildebene mit dem Strukturort koinzidiert. Diese Lage wird mit dem Basis-Längenmeßsystem ermittelt. Sie wird bei objektiv arbeitenden Verfahren häufig als Nullsignal angezeigt, bzw. dient als Signal zur automatischen oder manuellen Meßwertübernahme aus dem Basis-Meßsystem. So wird beispielsweise bei vielen Tastern und fotoelektrischen Mikroskopen ein solches elektrisches Nullsignal ausgegeben.

Bekannt ist ferner, daß man einen derartigen Nullindikator mit einem Meßsystem ausstattet und mit diesem eine Interpolation im Basis-Meßsystem vornimmt. Als Beispiel sei das Meßsystem der durch H. Zill in der Zeitschrift "Jenaer Rundschau" 1960, S. 50 beschriebenen Universal-Längenmeßmaschine genannt. Diese enthält insgesamt 3 ineinander geschachtelte Systeme: Marken im Maschinenbett, ein Abbe-Meßelement zur Interpolation zwischen den Marken im Bett und eine Interpolationseinrichtung zwischen den Strichen des im Abbe-Meßelement enthaltenen Maßstabes. Der Meßwert selbst ist dann aus dem Skalenwert der Marke im Maschinenbett, dem Skalenwert des Abbe-Meßelementes und dem durch die Interpolationseinrichtung ermittelten Wert zusammengesetzt. Dabei ist die Teilung jeweils in vielfachen einer Zehnerpotenz gestuft (100 mm im Maschinenbett, 0,1 mm im Abbe-Meßelement, 1  $\mu$ m in der Interpolationseinrichtung). Dabei ist zu fordern, daß die Fehler der Basis-Meßeinrichtungen (d.h. die Maßstabsfehler) kleiner als die Auflösung der Interpolationseinrichtung ist, damit keine Leervergrößerung

eintritt. Beim Messen mit solchen geschachtelten Systemen ist zu fordern, daß Veränderungen des Objektes während der Auslese- und Einstellzeit so klein sind, daß sie den zulässigen Meßfehler nicht überschreiten.

Bekannt ist ferner, daß man als Interpolationseinrichtung Fotoempfänger-Arrays (z. B. CCD-Arrays) einsetzen kann, die in diesem Falle zugleich als Maßverkörperung dienen (optoelektronischer "Feinzeiger"). Dabei läßt sich ein Lokalisierungsvermögen erreichen, das noch unter der durch die Teilung der Empfänger (Abstand der Pixel) gegebenen Grenze liegt (s. DD WP G 01 B/234 313/6). Ein Nachteil der Lösung mit solchen ortsempfindlichen Fotoempfängern ist, daß

a) diese Empfänger auf Grund ihrer Funktionsweise einen der Belichtung  $\int_{T_I} E \, dt$  proportionalen Meßwert ausgeben, also über eine Integrationszeit  $T_I$  integrieren und somit einen von der Objektgeschwindigkeit  $v$  abhängigen Meßwert liefern,

b) die Signale auf Grund des sequentiellen Abtastens des Arrays erst verzögert (um etwa die Auslesezeit) erfaßt, bzw. weiter verarbeitet werden können. Damit kann nicht im Echtzeitbetrieb gearbeitet werden. Die Auslösung irgendwelcher Folgeschritte wird also stets verzögert und bei bewegten Objekten bei einer inzwischen gegenüber dem Registrierzeitpunkt veränderten Objektlage erfolgen.

#### Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist, ein solches Meßsystem zu schaffen, das den Nachteil der durch eine Objektbewegung bewirkten Objektverlagerung während der Integrations- Auslese- und einer evtl. notwendigen Rechenzeit umgeht, so daß diese Zeiten nicht zu einem Längenmeßfehler führen können. Es wird damit der Nachteil, der anderenfalls mit der bei diesen Empfängern verknüpften "Abtastung" des Signals verbunden ist, vermieden.

## Darlegung des Wesens der Erfindung

Die Erfindung vermeidet solche Meßfehler, die durch die Geschwindigkeit des Objektes während des Messens hervorgerufen werden könnten. Sowohl die Meßwertaufnahme (Integrationszeit) als auch die Auslesung und Ortsberechnung erfolgen nacheinander während endlicher Zeiten, während deren sich das Objekt weiter bewegt. Diese Objektbewegung kann zu Meßfehlern führen.

Die Strukturverlagerung während der Integrationszeit  $T_I$  führt zu einer "Verwaschung" des Objektes auf dem Array, die erfindungsgemäß berücksichtigt wird. Im Zeitpunkt  $\frac{T_I}{2}$  stimmt der Ort der nach  $T_I$  auf dem Array gespeicherten "verwaschenen" Struktur mit dem Strukturort des Originals überein. Das gilt für alle linearen Ortsdefinitionen, d.h. auch für die fotometrische Mitte von Strichen, die z. B. nach DD PS 133 003 ermittelt wird. Koppelt man erfindungsgemäß das Array mit einer weiteren Längenmeßeinrichtung (Basismeßsystem) und liest man diese Meßeinrichtung zu den oben genannten Zeitpunkt der halben Integrationszeit  $\frac{T_I}{2}$  ab, so entspricht dieser Meßwert derjenigen Objektlage auf dem Array, die aus dem nach Ablauf der vollen Integrationszeit ausgelesenen Signale ermittelt wird. Dabei kann als Objektstruktur jedes, auf das Fotoempfänger-Array abgebildete optische Signal dienen, das zur Lokalisierung eines Gegenstandes geeignet ist, z. B. die Schattenkante oder eine Interferenzlinie entsprechend dem in der Zeitschrift Jenaer Rundschau 1976/4 durch A. Erben und E. Hultzsch beschriebenen Verfahren des "optischen Antastens mit Mehrstrahl-Interferenzlinie bei Längen- und Winkelmessungen". Weiterhin kann man aus einem vor Beginn dieser Messung aus dem Array ausgelesenen Signal das Auftauchen der Objektstruktur erkennen und die Messung einleiten.

Ist die Objektgeschwindigkeit a priori nicht bekannt, jedoch im Zeitintervall  $T_A$  zwischen zwei Auslesezyklen konstant, so läßt sich aus der mit dem Array ermittelten Strukturortverlagerung unter Berücksichtigung von  $T_A$  diese rechnerisch ermitteln und zur Grundlage einer Korrekturrechnung, die eine mögliche Abweichung von  $\frac{T}{2}$  berücksichtigt, gemacht werden.

#### Ausführungsbeispiel

Der Einsatz des Verfahrens sei an Hand der Lösung der Aufgabe, auf optischem Wege den Durchmesser eines Werkstückes zu ermitteln, beschrieben.

Das Werkstück liege auf einem mit einem Basismeßsystem ausgestatteten Tisch. Ein gewisser Objektbereich werde auf ein Fotoempfänger-Array abgebildet. Die Lage des Arrays zum Basismeßsystem sei fest. Bei Bewegung des Tisches läuft das Bild der Begrenzung des Werkstückes über das Array, dessen Inhalt periodisch im zeitlichen Abstand  $T_A$  ausgelesen wird, nachdem das Signal während der Integrationszeit  $T_I$  ermittelt wurde. Taucht bei einer solchen Auslesung das Bild der Objektstruktur auf dem Array auf, was beispielsweise durch einen Diskriminator festgestellt wurde, so werden zum Zeitpunkt  $\frac{T}{2}$  nach Beginn einer Integrationszeit die Koordinaten  $\frac{T}{2}$  des Tisches aus dem Basismeßsystem abgespeichert und das danach aus dem Array ausgelesene Signal so verarbeitet, daß die Lage der auf das Array abgebildeten "verwaschenen" Struktur bestimmt wird. (z. B. entsprechend dem o.a. Verfahren nach DD WP G 01/ B 234 313/6). Dabei ist für die hier verarbeitete Integrationsperiode zu fordern, daß der gesamte, zum Strukturort beitragende Bereich ("Definitionsbereich") durch das Array erfaßt wird. Das wird durch eine entsprechend gewählte Größe des Arrays und der Vergrößerung für alle interessierenden Objektgeschwindigkeiten garantiert. Ist die Lage des Arrays zum Basismeßsystem

bekannt, so läßt sich die Lage der Objektbegrenzung in diesem System durch einfache Summation bestimmen.

Bei Differenzmessungen (Längen- bzw. Durchmesser-Messungen) hebt sich die Lage des Nullpunktes des Basis-Meßsystems heraus. Weicht man mit der Übernahme des Meßwertes aus dem Basismeßsystem vom Zeitpunkt  $\frac{T}{2}$  ab, so ist die entstehende Abweichung über die Objektgeschwindigkeit einzurechnen.

Ein weiteres Beispiel der Anwendung des Verfahrens ist der Vergleich zweier Strichmaßstäbe. Ergänzt man einen Abbe-Komparator, indem man in die Zwischenbildebenen der Mikroskope Fotoempfänger-Arrays einbaut und läßt man die Integrationsperioden dieser Empfänger synchron laufen, so drücken sich die Abweichungen der Maßstäbe voneinander unmittelbar in den Lagen der auf den Arrays abgebildeten Signale aus und lassen sich somit eindeutig errechnen. Wesentliche Bedingung ist hier die Gleichzeitigkeit der Integration in den beiden Arrays.

## Erfindungsanspruch

1. Verfahren zur Bestimmung des Ortes einer bewegten optisch wirksamen Struktur mit Hilfe eines oder mehrerer Fotoempfänger-Arrays, die mit einem oder mehreren weiteren Meßsystemen gekoppelt sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßwertübernahme aus dem(n) gekoppelten System(men) zu einer Zeit erfolgt, zu der die Struktur auf dem Empfänger-Array einen Ort einnimmt, der mit demjenigen übereinstimmt, der aus der danach aus dem Empfänger-Array ausgelesenen Information bestimmt wird.
2. Verfahren nach Punkt 1 dadurch gekennzeichnet, daß die Meßwert-Übernahme zum Zeitpunkt der halben Integrationszeit des Empfänger-Arrays  $\frac{T}{2I}$  erfolgt.
3. Verfahren nach Punkt 1 dadurch gekennzeichnet, daß Abweichungen des Übernahme-Zeitpunktes von  $\frac{T}{2I}$  unter Berücksichtigung des definitionsgemäßen Strukturortes und der Objektgeschwindigkeit rechnerisch erfaßt und eingerechnet werden.
4. Verfahren nach Punkt 1-3 dadurch gekennzeichnet, daß die Objektgeschwindigkeit ebenfalls aus nacheinander ausgelesenen Signalen des Arrays errechnet wird.
5. Verfahren nach Punkt 1-4 dadurch gekennzeichnet, daß das Erscheinen des Meßobjektes auf dem Array aus der Information, die periodisch aus dem Array entnommen wird, abgeleitet wird und damit die Messungen entsprechend den Punkten 1-3 ausgelöst werden.
6. Verfahren nach Punkt 1-5 dadurch gekennzeichnet, daß es für Koordinatenmessungen im Schattenbildverfahren eingesetzt wird.
7. Verfahren nach Punkt 1-5 dadurch gekennzeichnet, daß es zur Objektmessung nach dem Interferenzlinien-Verfahren eingesetzt wird.

242941 4

8

8. Verfahren nach Punkt 1-7 dadurch gekennzeichnet, daß es für Mehrkoordinatenmessungen an Objekten beliebiger Richtung eingesetzt wird.
9. Verfahren nach Punkt 1-5 dadurch gekennzeichnet, daß es die Interpolation eines Maßstabes realisiert.