

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50307/2012
(22) Anmeldetag: 01.08.2012
(45) Veröffentlicht am: 15.02.2014

(51) Int. Cl. : **G01N 21/88** (2006.01)
G06T 7/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 19511534 A1 US 6166393 A1
EP 2463175 A2

Wu et al.; Automated metal surface inspection through machine vision. Paper [online]. Imaging Science Journal Volume: 51, Issue: 2, pp. 79-88, 2003 [retrieved on 2013-07-23]. Retrieved from the Internet: <URL: <http://wenku.baidu.com/view/a1fdb97201f69e31433294f8.html>>

(73) Patentinhaber:
AIT AUSTRIAN INSTITUTE OF
TECHNOLOGY GMBH
1220 WIEN (AT)

(72) Erfinder:
Soukup Daniel
Wien (AT)
Huber-Mörk Reinhold
Wien (AT)
Mayer Konrad
Wien (AT)

(54) **Co-Occurrence Matrix**

(57) Das erfindungsgemäße Verfahren dient der Bestimmung von Oberflächenbeschädigungen oder oberflächlichen Veränderungen von zu inspizierenden Gegenständen. Erfindungsgemäß wird gewährleistet, dass eine genaue und numerisch stabile, robuste und einfache Bestimmung von derartigen Oberflächenfehlern ermöglicht wird.

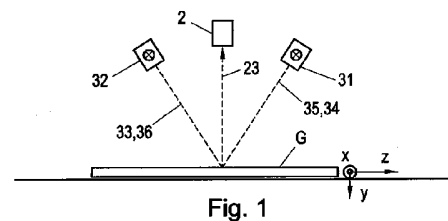


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Prüfung eines zusammenhängenden Bildbereichs auf Fehler im Oberflächenbereich eines im Bildbereich abgebildeten Gegenstands gemäß dem Oberbegriff des unabhängigen Patentanspruchs 1, wie insbesondere konkave Oberflächenbereiche oder Oberflächendefekte oder Vertiefungen. Weiters betrifft die Erfindung einen Datenträger gemäß Anspruch 12.

[0002] Grundsätzlich besteht im Stand der Technik die Möglichkeit, oberflächlich auf Gegenständen, z.B. Metallprofilen, angeordnete Oberflächenfehler, insbesondere Poren oder Risse, dadurch zu erkennen, dass eine Bildverarbeitungseinheit in Form eines Zeilensensors auf die Oberfläche des Gegenstands gerichtet wird und der Gegenstand relativ zum Zeilensensor bewegt wird, sodass ein Flächenbild der Oberfläche des Gegenstands erstellt wird. Um hierbei Oberflächen besser erkennen zu können, sieht der Stand der Technik weiters vor, dass zwei in Richtung der Fortbewegungsrichtung des Gegenstands geneigte Lichtquellen auf den Gegenstandsbereich der Lichtquelle in unterschiedlichen Farben und aus unterschiedlichen Winkeln einstrahlen. Hierdurch ergeben sich im Bereich der Abbildung von Oberflächendefekten unterschiedliche Muster, wobei im Wesentlichen parallele oder einander zugeordnete Farbbereiche im Bild entstehen, die jeweils die Farbe des Lichts der Lichtquelle aufweisen.

[0003] Der Stand der Technik ist in den Fig. 1 bis 7 näher dargestellt. In Fig. 1 ist ein abzubildender länglicher Gegenstand G, im vorliegenden Fall eine Eisenbahnschiene, dargestellt, der entlang einer Fortbewegungsrichtung z, die der Längserstreckungsrichtung z des Gegenstands G entspricht, gegenüber einem Zeilensensor 2 verschoben wird. Zeilenbilder des Gegenstands G werden mit dem Zeilensensor 2 aufgenommen. Der Aufnahmebereich des Gegenstands G liegt in einer Ebene xy, die normal zur Längserstreckungsrichtung z des Gegenstands G ausgerichtet ist. Der Bereich der Oberfläche des Gegenstands G befindet sich dabei im Aufnahmebereich des Zeilensensors 2.

[0004] Zudem sind in der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung zwei gegenüber dem Zeilensensor 2 lagefest angeordnete Lichtquellen 31, 32 vorgesehen.

[0005] Die erste der beiden Lichtquellen 31 gibt eine Strahlung im Wellenlängenbereich eines ersten Bildkanals R ab und ist in Längserstreckungsrichtung z in Bewegungsrichtung gesehen vor dem Zeilensensor 2 angeordnet. Die erste Lichtquelle 31 gibt eine Lichtebene ab, die sich mit der Ebene des Aufnahmebereichs im Bereich des Gegenstands G schneidet.

[0006] Die zweite der beiden Lichtquellen 32 gibt eine Strahlung im Wellenlängenbereich eines zweiten Bildkanals B ab und ist in Längserstreckungsrichtung z nach dem Zeilensensor 2 angeordnet. Die zweite Lichtquelle 32 gibt eine Lichtebene ab, die sich mit der Ebene des Aufnahmebereichs im Bereich des Gegenstands G schneidet.

[0007] Der Zeilensensor 2 weist eine Anzahl von Pixelsensoren zur separaten Erkennung des Lichts bei einer der beiden Lichtquellen 31, 32 für jeweils einen der beiden Bildkanäle R, B auf. Mit jedem der Pixelsensoren lässt sich somit separat ein Intensitätswert für jeden der beiden Bildkanäle R, B ermitteln. Die Pixelsensoren messen oder ermitteln somit, wie groß der Anteil des jeweils auf sie reflektierten Lichts der Lichtquellen 31, 32 ist.

[0008] Durch Aneinanderfügung der mit dem Zeilensensor 2 aufgenommenen Zeilenbilder wird ein Flächenbild D erstellt. Das Flächenbild D weist zwei Farbkanäle R, B auf, wobei die Farbe des ersten Bildkanals R der Farbe oder dem bevorzugten Wellenlängenbereich der ersten Lichtquelle 31 und die Farbe des zweiten Bildkanals B dem bevorzugten Wellenlängenbereich der zweiten Lichtquelle 32 entspricht. Im vorliegenden Fall werden ein roter Bildkanal R und ein blauer Farbkanal B verwendet.

[0009] In Fig. 2 ist ein Detail aus Fig. 1 dargestellt. Die beiden Strahlen 33, 34 der Lichtquellen 31, 32 treffen auf dem Gegenstand G auf, dessen Oberfläche in dem auf dem Zeilensensor 2 abgebildeten Bereich normal zum Sehstrahl 23 des Zeilensensors 2 steht. Der von der ersten Lichtquelle 31 abgegebene Strahl 34 wird vom Gegenstand G abgelenkt, wobei dessen reflek-

tierter Strahl 36 etwa in Richtung der zweiten Lichtquelle 32 abgelenkt wird.

[0010] Der von der zweiten Lichtquelle 32 abgegebene Strahl 33 wird vom Gegenstand G abgelenkt, wobei dessen reflektierter Strahl 35 etwa in Richtung der ersten Lichtquelle 31 abgelenkt wird.

[0011] In Fig. 3 ist ein Detail aus Fig. 1 dargestellt, wobei der Gegenstandsbereich g_1 des Gegenstands G in Richtung der Längserstreckungsrichtung z geneigt ist. Der von der ersten Lichtquelle 31 abgehende Lichtstrahl 34 wird aufgrund der Verkippung der Oberfläche des Gegenstands im Bereich g_1 auf den Zeilensensor 2 abgebildet, der reflektierte Strahl 36 liegt somit auf dem Sehstrahl 23 des Zeilensensors 2. Der von der zweiten Lichtquelle 32 abgehende Strahl 33 wird im Bereich g_1 , in dem der Sehstrahl 23 des Zeilensensors 2 auf den Gegenstand G trifft, reflektiert, der diesbezügliche reflektierte Lichtstrahl 35 geht zur Seite ab.

[0012] In Fig. 4 ist ein Detail aus Fig. 1 dargestellt, wobei der Gegenstandsbereich g_2 des Gegenstands G entgegen die Längserstreckungsrichtung z geneigt ist. Der von der zweiten Lichtquelle 32 abgehende Lichtstrahl 33 wird aufgrund der Verkippung des Gegenstands im Bereich g_2 auf den Zeilensensor 2 abgebildet, der reflektierte Strahl 35 liegt somit auf dem Sehstrahl 23 des Zeilensensors 2. Der von der ersten Lichtquelle 31 abgehende Strahl 34 wird im Bereich g_2 , in dem der Sehstrahl 23 des Zeilensensors 2 auf den Gegenstand G trifft, reflektiert, der diesbezügliche reflektierte Lichtstrahl 36 geht zur Seite ab.

[0013] In Fig. 5 ist der erste oder rote Bildkanal des durch den Zeilensensor erstellten Digitalbilds dargestellt, in dem die - in Gegenstandsrichtung des zu inspizierenden Gegenstands gesehen - vordere Flanke einer oberflächlichen Vertiefung dargestellt ist. Fig. 6 zeigt den zweiten Bildkanal, im vorliegenden Fall den blauen Bildkanal, des Digitalbilds B, in dem die - in Gegenstandsrichtung des zu inspizierenden Gegenstands gesehen - hintere Flanke einer oberflächlichen Vertiefung dargestellt ist. Fig. 7 zeigt das durch die beiden in Fig. 5 und Fig. 6 dargestellten Bildkanäle R, B erstellte Digitalbild D.

[0014] Das vorstehend dargestellte aus dem Stand der Technik bekannte Verfahren dient der Bestimmung von Oberflächenbeschädigungen oder oberflächlichen Veränderungen von zu inspizierenden Gegenständen. Ein wesentliches Problem solcher Verfahren liegt darin, dass eine genaue und numerisch stabile, robuste und einfache Bestimmung von derartigen Oberflächenfehlern nur sehr schwer möglich ist.

[0015] Somit besteht die erfindungsgemäße Aufgabe, bei einem Verfahren der eingangs genannten Art die vorstehend genannten Nachteile zu vermeiden und ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, das diese Nachteile nicht aufweist.

[0016] Die Erfindung löst diese Aufgabe mit einem Verfahren der eingangs genannten Art mit den kennzeichnenden Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs 1.

[0017] Erfindungsgemäß ist bei einem Verfahren zur Prüfung eines zusammenhängenden Bildbereichs innerhalb eines zweidimensionalen Digitalbilds auf das Vorhandensein von Oberflächenfehlern in dem auf den Bildbereich innerhalb des Digitalbilds abgebildeten Oberflächenbereich eines Gegenstands,

[0018] wobei der abgebildete Gegenstand eine Längserstreckung aufweist, deren Längserstreckungsrichtung mit der ersten Koordinatenrichtungen des zweidimensionalen Digitalbilds übereinstimmt, und wobei das jeweilige Digitalbild zumindest zwei Bildkanäle aufweist, sodass jedem Pixel jeweils ein erster und ein zweiter Intensitätswert zugeordnet ist, vorgesehen, dass

[0019] für jedes Pixel mit Bildkoordinaten innerhalb des Bildbereichs die folgenden Schritte (a) bis (d) durchgeführt werden, nämlich dass

[0020] (a) für die beiden Intensitätswerte der Bildkanäle für das jeweilige Pixel ein Abweichungswert mittels einer Abweichungsfunktion $\Delta(\cdot, \cdot)$ gemäß $\Delta(P) = \Delta(R(P), B(P))$ ermittelt wird, wobei der Wert der Abweichungsfunktion umso größer ist, je mehr der erste Intensitätswert den zweiten Intensitätswert übersteigt,

[0021] (b) jeweils für sämtliche Pixel des Bildbereichs auf dieselbe Weise die Anzahl der möglichen Ergebnisse der in Schritt (a) ausgewerteten Abweichungsfunktionen in eine Anzahl von Intervallen unterteilt wird, wobei die einzelnen Intervalle nach steigendem Intervallmittelwert indiziert werden, und ermittelt wird, in welches der Intervalle der für das Pixel im Schritt (a) ermittelte Abweichungswert fällt und dieses Intervall dem jeweiligen Pixel zugewiesen wird,

[0022] (c) jeweils für sämtliche Pixel jeweils eine Anzahl von voneinander unterschiedlichen Verschiebungswerten vorgegeben wird, und für das jeweilige Pixel jeweils eine Anzahl von weiteren Pixeln ermittelt wird, deren in Richtung der Längserstreckung verlaufende Koordinate jeweils um einen der vorgegebenen Verschiebungswerte größer ist als die entsprechende Koordinate des jeweiligen Pixels und deren jeweils andere Koordinate der entsprechenden Koordinate des jeweiligen Pixels gleich ist,

$$m = k + d, n = l,$$

[0023] (d) für jedes der dem jeweiligen Pixel zugeordneten weiteren Pixel

[0024] (i) jeweils ein weiterer Abweichungswert gemäß $\Delta'(P_m) = \Delta'(R(P_m), B(P_m))$ ermittelt wird, wobei der Wert der weiteren Abweichungsfunktion umso größer ist, je mehr der zweite Intensitätswert den ersten Intensitätswert übersteigt, und

[0025] (ii) jeweils für sämtliche weiteren Pixel auf dieselbe Weise die Anzahl der möglichen Ergebnisse der in Schritt (d, i) ausgewerteten weiteren Abweichungsfunktion Δ' in eine Anzahl von weiteren Intervallen unterteilt wird, wobei die einzelnen Intervalle nach steigendem Intervallmittelwert indiziert werden, und ermittelt wird, in welches der weiteren Intervalle der für das weitere Pixel im Schritt (d, i) ermittelte weitere Abweichungswert fällt und

[0026] (iii) ein durch das dem jeweiligen Pixel zugewiesenen Intervall, dem im Schritt (d, ii) ermittelten weiteren Intervall und den jeweiligen Verschiebungswert eindeutig adressierter und vor der Durchführung des Schritts initialisierter Speicherbereich $C(l, l', d)$ um einen vorgegebenen Wert erhöht wird,

[0027] sodass nach Durchlaufen sämtlicher Pixel für jede Kombination jedes im Schritt b) festgelegten Intervalls, eines im Schritt (d, ii) festgelegten weiteren Intervalls und eines Verschiebungswerts jeweils ein Zählwert zur Verfügung steht, und

[0028] (e) anschließend aus dem Speicherbereich C für jeden der Verschiebungswerte jeweils eine Cooccurrence-Matrix ermittelt wird, wobei die einzelnen Elemente der Cooccurrence-Matrizen gemäß der folgenden Vorschrift festgelegt werden:

$$C_d = [c_{i,j,d}]; \quad c_{i,j,d} = C(l_i, l'_j, d)$$

[0029] (f) die einzelnen Elemente der Cooccurrence -Matrizen normiert werden, und eine gemittelte Cooccurrence-Matrix C als Mittelwert der normierten Cooccurrence-Matrizen gebildet wird, und

[0030] (g) aus den Elementen der gemittelten Cooccurrence-Matrix \underline{C} diejenigen ihrer Elemente $c_{i,j}$ akkumuliert werden, deren jeweiliger Index einen vorgegebenen Mindestwert i_0, j_0 übersteigt, wobei als Ergebnis der Akkumulation ein Resultatwert u erhalten wird, der mit einem Schwellenwert t verglichen wird und

[0031] (h) dass für den Fall, dass $t > u$ ein Oberflächenfehler im jeweiligen auf den Bildbereich abgebildeten Oberflächenbereich als vorhanden angesehen wird.

[0032] Um eine vorteilhafte Unterscheidung von blauen und roten Farbanteilen in Pixeln zu ermöglichen, kann vorgesehen sein, dass die Abweichungsfunktion $\Delta(\cdot, \cdot)$ wie folgt festgelegt wird:

$$\Delta(P) = \Delta(R(P), B(P)) = \begin{cases} R(P) - B(P), & \text{wenn } R(P) - B(P) > 0 \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases}$$

[0033] Zum selben Zweck kann vorteilhafterweise vorgesehen sein, dass die weitere Abweichungsfunktion durch die Abweichungsfunktion wie folgt festgelegt wird:

$$\Delta'(P_1) = \Delta'(R(P_1), B(P_1)) = \Delta(B(P_1), R(P_1)).$$

[0034] Um den numerischen Aufwand zu reduzieren und Ergebnisse in vertretbarem Zeitaufwand zu erhalten, kann vorgesehen sein,

[0035] - dass eine Anzahl von, insbesondere gleich großen, Intervallen im Wertebereich der Abweichungsfunktion ausgewählt wird, die überlappungsfrei und sämtliche möglichen Werte der Abweichungsfunktion abdeckend im Wertebereich der Abweichungsfunktion liegen, und/oder

[0036] - dass eine Anzahl von, insbesondere gleich großen, weiteren Intervallen im Wertebereich der weiteren Abweichungsfunktion ausgewählt wird, die überlappungsfrei und sämtliche möglichen Werte der weiteren Abweichungsfunktion abdeckend im Wertebereich der weiteren Abweichungsfunktion liegen, und/oder

[0037] - dass die Anzahl der Intervalle und die Anzahl der weiteren Intervalle gleich groß gewählt wird.

[0038] Um Oberflächenfehler von unterschiedlicher Ausdehnung in Ausdehnungsrichtung des zu inspizierenden Gegenstands feststellen zu können, kann vorgesehen sein,

[0039] - dass als Verschiebungswerte ganzzahlige Werte in einem Bereich zwischen 1 und 10 gewählt werden, und/oder

[0040] - dass eine Anzahl von drei bis fünf Verschiebungswerten gewählt wird und/oder

[0041] - dass als Verschiebungswerte eine Anzahl von unmittelbar aufeinander folgenden ganzzahligen Werten gewählt wird, deren kleinster Wert zwischen 1 und 3 und/oder deren größter Wert zwischen 5 und 10 und/oder deren Anzahl zwischen 3 und 8 gewählt wird.

[0042] Eine konkrete Anpassung an bestimmte Arten von Oberflächenfehlern sieht vor,

[0043] - dass der Mindestwert so gewählt wird, dass die Intervalle, deren zugeordneter Index kleiner ist als der Mindestwert oder dem Mindestwert gleich, einen Anteil von mindestens 5%, insbesondere mindestens 10%, des gesamten Wertebereichs der Abweichungsfunktion umfassen, und/oder

[0044] - dass der weitere Mindestwert so gewählt wird, dass die weiteren Intervalle, deren zugeordneter Index kleiner ist als der weitere Mindestwert oder dem weiteren Mindestwert gleich, einen Anteil von mindestens 5%, insbesondere mindestens 10%, des gesamten Wertebereichs der weiteren Abweichungsfunktion umfassen.

[0045] Zur Vermeidung von der Erkennung von Falschpositiven kann vorgesehen sein, dass für ein weiteres Pixel ausschließlich dann ein Wert im Speicherbereich erhöht wird, wenn das weitere Pixel innerhalb des Bildbereichs liegt.

[0046] Um große und kleine Bildfehler nach gleichen Maßstäben beurteilen zu können sowie zur Erreichung einer von der Bildauflösung unabhängigen Beurteilung von Bildfehlern kann vorgesehen sein, dass die einzelnen Cooccurrence-Matrizen normiert werden, indem jeder der Werte der jeweiligen Cooccurrence-Matrix durch die Gesamtsumme der einzelnen Elemente der jeweiligen Cooccurrence-Matrix dividiert wird.

[0047] Um Oberflächenfehler mit unterschiedlicher Ausdehnung in Ausdehnungsrichtung des zu inspizierenden Gegenstands feststellen zu können, kann vorgesehen sein, dass die mittlere Cooccurrence-Matrix durch elementweise arithmetische Mittelwertbildung der Cooccurrence-Matrizen erstellt wird, insbesondere gemäß der folgenden Vorschrift:

$$\underline{C} = 1/N * \text{SUMME}(d=1...N) C_d$$

[0048] wobei N der Anzahl der Cooccurrence-Matrizen entspricht.

[0049] Vorteilhafterweise kann zur Aufnahme eines Gegenstands vorgesehen sein, dass vor der Bestimmung von Oberflächenfehlern das Digitalbild folgendermaßen aufgenommen wird:

[0050] a) dass der Gegenstand mit einem Zeilensensor aufgenommen wird, dessen Aufnahmebereich in einer vorgegebenen Ebene liegt, die normal zur Längserstreckungsrichtung des Gegenstands ausgerichtet ist, wobei sich der Gegenstand im Aufnahmebereich des Zeilensensors befindet,

[0051] b) dass zumindest zwei gegenüber dem Zeilensensor lagefest angeordnete Lichtquellen eingesetzt werden, wobei die erste Lichtquelle zur Abgabe einer Strahlung im Wellenlängenbereich des ersten Bildkanals in Längserstreckungsrichtung vor dem Zeilensensor angeordnet wird und die zweite Lichtquelle zur Abgabe einer Strahlung im Wellenlängenbereich des zweiten Bildkanals in Längserstreckungsrichtung hinter dem Zeilensensor angeordnet wird und das jeweilige Licht beider Lichtquellen in dem Bereich des Gegenstands eingestrahlt wird, der im Aufnahmebereich des Zeilensensors liegt,

[0052] c) dass der Zeilensensor jeweils eine Anzahl von Pixelsensoren zur separaten Erkennung des Lichts einer der beiden Lichtquellen für jeweils einen der beiden Bildkanäle aufweist, wobei mit jedem der Pixelsensoren separat ein Intensitätswert des von jeder der beiden Lichtquellen abgegebenen und auf ihn reflektierten Lichts gemessen wird,

[0053] d) dass mit jedem Pixelsensor jeweils ein erster Intensitätswert ermittelt wird, der dem von der ersten Lichtquelle abgegebenen und auf den Pixelsensor reflektierten Licht entspricht, und ein zweiter Intensitätswert ermittelt wird, der dem von der zweiten Lichtquelle abgegebenen und auf den Pixelsensor reflektierten Licht entspricht,

[0054] e) dass der Zeilensensor und die Lichtquellen zueinander lagefest sind und in Längserstreckungsrichtung des zu inspizierenden Gegenstands relativ zu diesem bewegt werden, und

[0055] f) dass mit dem Zeilensensor eine Anzahl von Zeilenbildern aufgenommen wird, die entsprechend ihrer Aufnahmereihenfolge zu einem zweidimensionalen Digitalbild zusammengesetzt werden.

[0056] Ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel der Erfindung, das den eingangs genannten und in den Fig. 1 bis 7 dargestellten Stand der Technik verbessert, wird im Folgenden anhand der Fig. 8 bis 13 dargestellt.

[0057] Fig. 8 zeigt ein Digitalbild des Gegenstands, in dem eine Anzahl von Bildbereichen detektiert worden ist, die Merkmale aufweisen, die Oberflächenfehler darstellen könnten. Fig. 9 zeigt einen der in Fig. 8 dargestellten Bildbereiche im Detail. Fig. 10 zeigt die Beurteilung eines Bildbereichs mit unterschiedlichen Verschiebungswerten. Fig. 11 zeigt ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel zur Bestimmung von Abweichungswerten durch eine Abweichungsfunktion. Fig. 12 zeigt die Bedeutung des Verschiebungswerts anhand eines oberflächlich am Gegenstand G befindlichen Oberflächenfehlers. Fig. 13 zeigt eine Anzahl von Cooccurrence-Matrizen für unterschiedliche Verschiebungswerte. Fig. 14 zeigt eine mittlere Cooccurrence-Matrix sowie die Bestimmung, ob ein Oberflächenfehler vorliegt.

[0058] Wie in Fig. 8 dargestellt, weist das Digitalbild D eine Vielzahl von Bildbereichen L_1, \dots, L_5 auf, die grundsätzlich als Oberflächenfehler F in Betracht kommen und auf das Vorliegen von Oberflächenfehlern F überprüft werden. Für sämtliche dieser Bildbereiche L_1, \dots, L_5 wird das im Folgenden dargestellte Verfahren separat ausgeführt. Bei der Beurteilung der einzelnen Bildbereiche L_1, \dots, L_5 wird grundsätzlich ermittelt, ob die Helligkeitswerte der einzelnen Pixel P des Bildbereichs L_1, \dots, L_5 von einem vorgegebenen Hintergrundwert abweichen. Der Hintergrundwert kann auf vielfältige aus dem Stand der Technik bekannte Art und Weise bestimmt werden, insbesondere kann der Hintergrundwert durch Bildung eines gleitenden Mittelwerts bestimmt werden. Die Bildbereiche L_1, \dots, L_5 sind diejenigen Bereiche, in denen die Intensitätswerte der einzelnen Pixel P um einen vorgegebenen Schwellenwert vom jeweiligen Hintergrundwert abweichen. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind die Bildbereiche L_1, \dots, L_5 der Übersichtlichkeit halber jeweils als Rechtecke dargestellt. Grundsätzlich ist es jedoch möglich und üblich, dass die einzelnen auf Fehler zu untersuchenden Bildbereiche L_1, \dots, L_5 unterschiedlichste

Form aufweisen, wobei jeder der Bildbereiche L_1, \dots, L_5 jeweils eine zusammenhängende Menge von Pixeln aufweist. Weiters ist in Fig. 8 die Längserstreckungsrichtung z des Gegenstands G dargestellt.

[0059] In Fig. 9 sind die einzelnen Pixel des Bildbereichs L_1 schematisch näher dargestellt.

[0060] Für jedes einzelne der in Fig. 9 dargestellten Pixel P des Bildbereichs L_1 werden die im Folgenden dargestellten Schritte (a) bis (e) nacheinander durchgeführt. Jedem der Pixel P sind, wie in Fig. 10 dargestellt, jeweils zwei Bildkoordinaten k, l zugewiesen. Dabei entspricht die Koordinate l der jeweiligen Position des Sensorpixels des Zeilensensors, das den jeweiligen Helligkeitswert ermittelt hat. Die zweite Bildkoordinate k des jeweiligen Pixels P des Digitalbilds D entspricht jeweils dem Aufnahmezeitpunkt der Zeile. Gemessen am Gegenstand G verläuft die Koordinatenrichtung der Bildkoordinate k in Längserstreckungsrichtung z bzw. in Fortbewegungsrichtung des Gegenstands G gegenüber dem Zeilensensor 2.

[0061] Zur Vorbereitung werden mit jedem Sensorpixel des Zeilensensors jeweils die beiden Intensitätswerte $R(P)$ und $B(P)$ der Bildkanäle für das jeweilige Pixel ermittelt.

[0062] Im ersten Schritt (a) wird auf Grundlage des jeweiligen Intensitätswerts im ersten und zweiten Bildkanal R, B jeweils für jedes Pixel separat ein Abweichungswert $\Delta(P) = \Delta(R(P), B(P))$ ermittelt. Hierbei wird ganz allgemein eine Größe gefunden, die angibt, wie stark sich die Intensitätswerte $R(P)$ des jeweiligen Pixels P im ersten oder roten Bildkanal R von den Intensitätswerten $B(P)$ im zweiten oder blauen Bildkanal B unterscheiden. Hierfür wird eine Abweichungsfunktion $\Delta(\dots)$ herangezogen, die im vorliegenden Ausführungsbeispiel der Erfindung näher in Fig. 12 dargestellt wird. Sofern der Intensitätswert $R(P)$ des Pixels P im ersten oder roten Farbkanal R größer ist als der Intensitätswert $B(P)$ im blauen Farbkanal B , so entspricht der Wert der Abweichungsfunktion $\Delta(R(P), B(P))$ dem Wert der Differenz der beiden Intensitätswerte $R(P) - B(P)$ für das jeweilige Pixel P . Ist jedoch der zweite Intensitätswert $B(P)$ größer als der erste Intensitätswert $R(P)$ des Pixels, so hat der durch Auswertung der Abbildungsfunktion A ermittelte Abweichungswert $A(P)$ den Wert 0.

[0063] Die Abweichungsfunktion $\Delta(\dots)$ ist in dieser besonderen Ausführungsform der Erfindung wie folgt festgelegt:

$$\Delta(P) = \Delta(R(P), B(P)) = \begin{cases} R(P) - B(P), & \text{wenn } R(P) - B(P) > 0 \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases}$$

[0064] Dieser Verlauf der Abweichungsfunktion Δ ist schematisch in Fig. 12 (durchgezogene Linie) dargestellt. Grundsätzlich können beliebige Abweichungsfunktionen A verwendet werden, deren Wert jeweils umso größer ist, je mehr der erste Intensitätswert $R(P)$ im jeweiligen Pixel P den zweiten Intensitätswert $B(P)$ im jeweiligen Pixel P übersteigt. Der so ermittelte Abweichungswert $\Delta(P)$ wird dem jeweiligen Pixel P zugeordnet.

[0065] Die Bestimmung des Abweichungswerts $\Delta(P)$ erfolgt, um festzustellen, ob im jeweiligen Pixel der Anteil bzw. der Intensitätswert des ersten Bildkanals den Intensitätswert des zweiten Bildkanals wesentlich übersteigt und somit eine oberflächliche Unebenheit g_1 , wie in Fig. 3 dargestellt, vorliegt. Pixel P , die aus diesem Grund einen wesentlich höheren Anteil im ersten oder roten Bildkanal R aufweisen, werden somit als Abbildungen eines Oberflächenbereichs g_1 des Gegenstands G angesehen, der in Richtung der Fortbewegungsrichtung z abfällt. Solche Pixel sind in den Fig. 9 und 10 durch das Symbol X dargestellt.

[0066] Pixel P , deren Intensitätswert $B(P)$ im zweiten oder blauen Bildkanal B größer ist als deren erster Intensitätswert $R(P)$, zeigen dagegen einen Oberflächenbereich g_2 , der entgegen der Fortbewegungsrichtung z abfällt und sind in Fig. 9 und 10 durch das Symbol 0 dargestellt.

[0067] In einem zweiten Schritt (b) wird eine Anzahl von Intervallen I_1, \dots, I_{\max} innerhalb des Wertebereichs der Abweichungsfunktion $\Delta(\dots)$ vorgegeben. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel liegt jeder Intensitätswert $R(P), B(P)$ eines Pixels P in einem Bereich zwischen 0 und 255. Folglich liegt auch der Wertebereich der Abweichungsfunktion $\Delta(P)$ zwischen 0 und 255. Dieser Wertebereich wird im Folgenden in acht verschiedene, gleich große, nicht überlappende und

den gesamten Wertebereich ausfüllende Intervalle I_1, \dots, I_{\max} unterteilt. Die einzelnen Intervalle werden nach steigendem Intervallmittelwert indiziert. Jedes Intervall I_1, \dots, I_{\max} weist folglich eine Intervallbreite von 32 auf, wobei das erste Intervall I_1 im Bereich zwischen 0 und 31, das zweite Intervall I_2 im Bereich zwischen 32 und 63, ..., und schließlich das letzte Intervall I_{\max} im Bereich zwischen 224, ..., 255 liegt. Für jedes der Pixel P wird nunmehr überprüft, in welchem der Intervalle I_1, \dots, I_{\max} der für das Pixel ermittelte Abweichungswert $\Delta(P)$ liegt, der als Ergebnis der in Schritt (a) ausgewerteten Abweichungsfunktion Δ ermittelt wurde. Dieses Intervall wird fortan mit $I(P)$ bezeichnet.

[0068] Alternativ besteht selbstverständlich auch die Möglichkeit, zur Anpassung an bestimmte Arten von Fehlern unterschiedliche Intervallbreiten vorzugeben. So kann beispielsweise auch vorgesehen sein, dass die Intervalle mit geringerem Intervallmittelwert eine kleinere Intervallbreite aufweisen als die Intervalle mit größerem Intervallmittelwert.

[0069] In einem dritten Schritt (c) wird eine Anzahl von unterschiedlichen Verschiebungswerten d_1, \dots, d_{\max} vorgegeben. Im vorliegenden Fall werden die Verschiebungswerte $d_1 = 1, d_2 = 2, \dots, d_6 = d_{\max} = 6$ vorgegeben.

[0070] Die Bedeutung des Verschiebungswerts d erschließt sich aus Fig. 11, die die Aufnahme von fünf Gegenstandszeilen des Gegenstands G zu fünf aufeinanderfolgenden Aufnahmezeitpunkten $t=1 \dots t=5$ zeigt.

[0071] Zum ersten Aufnahmezeitpunkt $t=1$ weist der Gegenstand G an seiner Oberfläche eine Kante eines Oberflächenfehlers im auf dem Zeilensensor 2 abgebildeten Bereich mit einer Neigung entgegen der Fortbewegungsrichtung z auf, es ergibt sich eine Situation wie in Fig. 4 dargestellt. Der zweite Farbwert übersteigt den ersten Farbwert, da lediglich das Licht der ersten Lichtquelle 31 auf den Zeilensensor 2 fällt.

[0072] Zum letzten Aufnahmezeitpunkt $t=5$ weist der Gegenstand G an seiner Oberfläche eine Kante eines Oberflächenfehlers, insbesondere einer Pore, im auf dem Zeilensensor 2 abgebildeten Bereich mit einer Neigung in der Fortbewegungsrichtung z auf, es ergibt sich eine Situation wie in Fig. 3 dargestellt. Der erste Farbwert übersteigt den zweiten Farbwert.

[0073] Die erstellten Pixel der beiden geneigten Oberflächenbereiche g_1, g_2 haben aufgrund der Zusammensetzung des Digitalbilds D durch einzelne Zeilenbilder einen Abstand von $d=4$ Pixeln in Längserstreckungsrichtung z des Gegenstands G . Durch Auswahl verschiedener Verschiebungswerte d_1, \dots, d_{\max} lassen sich somit unterschiedlich große zu detektierende Oberflächenfehler auffinden. Die Breite des jeweiligen Oberflächenfehlers entspricht jeweils dem d -fachen des Weges, den der Gegenstand G zwischen zwei aufeinander folgenden Aufnahmezeitpunkten zurücklegt.

[0074] Für das jeweilige Pixel P wird jeweils eine Anzahl von weiteren Pixeln P_1, \dots, P_{\max} ermittelt, wobei die in Richtung der Längserstreckung z verlaufende Koordinate m des weiteren Pixels P_1, \dots, P_{\max} jeweils um einen der vorgegebenen Verschiebungswerte d_1, \dots, d_{\max} größer ist als die entsprechende in Längserstreckungsrichtung z verlaufende Koordinate k des jeweiligen Pixels P . Die andere Koordinate n des weiteren Pixels P_1, \dots, P_{\max} entspricht der jeweiligen Koordinate l des jeweiligen Pixels P . Es gilt folglich $m = k + d, n = l$.

[0075] Für das erste weitere Pixel P_1 gilt somit, dass sich die in Längserstreckungsrichtung z verlaufende Koordinate m des ersten weiteren Pixels P_1 um den vorgegebenen ersten Verschiebungswert $d_1 = 1$ von der jeweiligen in Längserstreckungsrichtung z verlaufenden Koordinate k des Pixels P unterscheidet, somit gilt $m = k + d_1 = k + 1$. Die beiden anderen Koordinaten n, l des Pixels P und des ersten weiteren Pixels P_1 sind gleich groß.

[0076] Für das zweite weitere Pixel P_2 gilt entsprechend, dass sich die in Längserstreckungsrichtung z verlaufende Koordinate m des zweiten weiteren Pixels P_2 um den vorgegebenen ersten Verschiebungswert $d_2 = 2$ von der jeweiligen in Längserstreckungsrichtung z verlaufenden Koordinate k des Pixels P unterscheidet, somit gilt $m = k + d_2 = k + 2$. Die beiden anderen Koordinaten n, l des Pixels P und des zweiten weiteren Pixels P_2 sind gleich groß.

[0077] Für jedes der dem jeweiligen Pixel P zugeordneten weiteren Pixel P_1, \dots, P_{\max} werden die folgenden Schritte (d, i), (d, ii) und (d, iii) durchgeführt.

[0078] Für das jeweilige weitere Pixel P_1, \dots, P_{\max} wird im Schritt (d, i) ein weiterer Abweichungswert $\Delta'(P_1), \Delta'(P_2), \dots, \Delta'(P_n), \dots, \Delta'(P_{\max})$ gemäß $\Delta'(P_m) = \Delta'(R(P_m), B(P_m))$ ermittelt. Der so ermittelte Wert der weiteren Abweichungsfunktion Δ' ist umso größer, je mehr der zweite Intensitätswert $B(P_m)$ den ersten Intensitätswert $R(P_m)$ übersteigt. Ein Beispiel einer solchen weiteren Abweichungsfunktion ist in Fig. 12 als strichlierte Linie dargestellt. Diese weitere Abweichungsfunktion wird wie folgt festgelegt:

$$\Delta'(P_m) = \Delta'(R(P_m), B(P_m)) = \begin{cases} B(P_m) - R(P_m), & \text{wenn } B(P_m) - R(P_m) > 0 \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases}$$

[0079] Die weitere Abweichungsfunktion Δ' wird in diesem besonderen Ausführungsbeispiel der Erfindung wie folgt festgelegt:

$$\Delta'(P_1) = \Delta'(R(P_1), B(P_1)) = \Delta(B(P_1), R(P_1)).$$

[0080] Der Wertebereich der weiteren Abweichungsfunktion Δ' , der im vorliegenden Ausführungsbeispiel dem Wertebereich der Abweichungsfunktion Δ entspricht, wird in eine Anzahl von weiteren Intervallen I_1', \dots, I_{\max}' unterteilt. Vorteilhafterweise erfolgt die Unterteilung des Wertebereichs der weiteren Abweichungsfunktion Δ' analog der Unterteilung des Wertebereichs der Abweichungsfunktion Δ . Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird der Wertebereich der weiteren Abweichungsfunktion, der den Bereich der natürlichen Zahlen zwischen 0 und 255 umfasst, in 8 weitere Wertebereiche I_1', \dots, I_{\max}' unterteilt, die jeweils den gesamten Wertebereich der weiteren Abweichungsfunktion Δ' umfassen und eine gleiche Intervallbreite von jeweils 32 aufweisen. Jedes der Intervalle I_1', \dots, I_{\max}' wird nach steigendem Intervallmittelwert indiziert.

[0081] Im Schritt (d, ii) wird für sämtliche weiteren Pixel P_1, \dots, P_{\max} sowie die diesen zugeordneten ermittelten Werte der Abweichungsfunktion Δ' ermittelt, in welche der vergebenen weiteren Intervalle $I_1', I_2', \dots, I_{\max}'$ sie fallen.

[0082] Wie in Fig. 13 dargestellt, wird ein Speicherbereich C verwendet, der unter Angabe eines Intervalls $I(P)$, eines weiteren Intervalls $I'(P_m)$ sowie eines Verschiebungswerts d eindeutig adressierbar ist. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel weist dieser Speicherbereich C insgesamt $8 \times 8 \times 6$ numerische Speicherbereiche $c_{i,j,d}$ auf, die zu Beginn der Ausführung des Verfahrens auf einen vorgegebenen Wert, im vorliegenden Fall auf 0, initialisiert werden. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist der Speicherbereich C als dreidimensionales Speicherfeld angeordnet, das über drei Indizes i, j, d adressierbar ist. Der erste Index i entspricht dem Index des jeweiligen Intervalls $I(P)$, in dem sich der dem jeweiligen Pixel P zugeordnete Abweichungswert $\Delta(P)$ befindet. Der zweite Index j entspricht dem Index des weiteren Intervalls $I'(P_m)$, innerhalb dessen der weitere in Schritt (d, i) ermittelte Abweichungswert $\Delta'(P_m)$ liegt. Der dritte Index d entspricht dem jeweiligen Verschiebungswert d , um den sich die ersten in Längserstreckungsrichtung z gelegenen Koordinaten k, m des Pixels P sowie des weiteren Pixels P_m voneinander unterscheiden.

[0083] In Schritt (d, iii) wird nunmehr ein Speicherbereich $c_{i,j,d}$ anhand des dem jeweiligen Pixel P zugewiesenen Intervalls I bzw. dessen Index i , des dem weiteren Pixel P_m zugewiesenen weiteren Intervalls I' bzw. dessen Index j sowie dem jeweiligen Verschiebungswert d eindeutig adressiert. Der jeweilige hierdurch adressierte Speicherbereich $c_{i,j,d}$ wird um einen vorgegebenen Wert, im vorliegenden Fall um den Wert 1, erhöht. Nach Durchlaufen sämtlicher Pixel P stellt somit für jeden adressierten Speicherplatz $c_{i,j,d}$ des Speicherbereichs C bzw. für jede Kombination $[i, j, d]$ jedes im Schritt b festgelegten Intervalls I , jedes im Schritt (d, ii) festgelegten weiteren Intervalls I' und jedes Verschiebungswerts d jeweils ein Zählwert zur Verfügung, der angibt, wie oft eine derart festgelegte Kombination $[i, j, d]$ während der durchlaufenen Schritte (a) bis (d) vorgefunden wurde.

[0084] Die einzelnen zweidimensionalen Speicherbereiche C_1, \dots, C_{\max} des Speicherbereichs C , die zweidimensionale Speicherbereiche mit jeweils gleichem Verschiebungswert d darstellen,

werden im Folgenden als Cooccurrence-Matrizen C_d bezeichnet. Die Elemente $c_{i,j,d}$ der Cooccurrence-Matrizen C_d werden gemäß der folgenden Vorschrift festgelegt:

$$C_d = [c_{i,j,d}]; \quad c_{i,j,d} = C(l_i, l'_j, d)$$

[0085] Die einzelnen Elemente der Cooccurrence-Matrizen C_d werden im vorliegenden Ausführungsbeispiel derart normiert, dass die Summe sämtlicher Einträge innerhalb der jeweiligen Cooccurrence-Matrix insgesamt 1 ergibt. Eine Normierung kann auch auf andere Art und Weise erfolgen, etwa, dass die Summe der Quadrate der einzelnen Einträge der Cooccurrence-Matrix C_d insgesamt 1 ergibt. Die Cooccurrence-Matrix C_1 , für die jeweils $d=d_1=1$ gilt, ist in Fig. 13 näher dargestellt.

[0086] In weiterer Folge wird aus den einzelnen der in Fig. 13 dargestellten Cooccurrence-Matrizen eine gemittelte Cooccurrence-Matrix \underline{C} ermittelt, die als Mittelwert der normierten Cooccurrence-Matrizen C gebildet wird. Die einzelnen Einträge $\underline{c}_{i,j}$ der gemittelten Cooccurrence-Matrix \underline{C} werden als Mittelwert der Einträge $c_{i,j,d}$ des Speicherbereichs ermittelt, wobei eine Mittelung über den dritten Index d erfolgt.

[0087] Wie in Fig. 14 dargestellt, werden aus den einzelnen Elementen der ermittelten Cooccurrence-Matrix \underline{C} diejenigen Elemente akkumuliert, deren jeweiliger Index i, j einen vorgegebenen Mindestwert i_0, j_0 übersteigt. Im vorliegenden Fall werden die Mindestwerte $i_0 = j_0 = 1$ festgesetzt. Als Ergebnis der Akkumulation wird ein Resultatwert u ermittelt, der mit einem vorgegebenen Schwellenwert t verglichen wird. Falls der Resultatwert u den Schwellenwert t übersteigt, wird darauf geschlossen, dass ein Oberflächenfehler F im jeweiligen ausgewählten Bildbereich L_1, \dots, L_5 vorliegt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Prüfung eines zusammenhängenden Bildbereichs (L) innerhalb eines zweidimensionalen Digitalbilds (D) auf das Vorhandensein von Oberflächenfehlern (F) in dem auf den Bildbereich (L) innerhalb des Digitalbilds (D) abgebildeten Oberflächenbereich eines Gegenstands (G),

wobei der abgebildete Gegenstand (G) eine Längserstreckung aufweist, deren Längserstreckungsrichtung (z) mit der ersten Koordinatenrichtungen des zweidimensionalen Digitalbilds (D) übereinstimmt, und wobei das jeweilige Digitalbild (D) zumindest zwei Bildkanäle (R, B) aufweist, sodass jedem Pixel (P) jeweils ein erster und ein zweiter Intensitätswert (R(P), B(P)) zugeordnet ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

für jedes Pixel (P) mit Bildkoordinaten (k; l) innerhalb des Bildbereichs (L) die folgenden Schritte (a) bis (d) durchgeführt werden, nämlich dass

(a) für die beiden Intensitätswerte (R(P), B(P)) der Bildkanäle (R, B) für das jeweilige Pixel (P) ein Abweichungswert ($\Delta(P)$) mittels einer Abweichungsfunktion $\Delta(\cdot, \cdot)$ gemäß $\Delta(P) = \Delta(R(P), B(P))$ ermittelt wird, wobei der Wert der Abweichungsfunktion (Δ) umso größer ist, je mehr der erste Intensitätswert (R(P)) den zweiten Intensitätswert (B(P)) übersteigt,

(b) jeweils für sämtliche Pixel (P) des Bildbereichs auf dieselbe Weise die Anzahl der möglichen Ergebnisse der in Schritt (a) ausgewerteten Abweichungsfunktionen in eine Anzahl von Intervallen ($l_1, l_2, \dots, l_{\max}$) unterteilt wird, wobei die einzelnen Intervalle nach steigendem Intervallmittelwert indiziert werden, und ermittelt wird, in welches der Intervalle der für das Pixel (P) im Schritt (a) ermittelte Abweichungswert ($\Delta(P)$) fällt und dieses Intervall (l(P)) dem jeweiligen Pixel (P) zugewiesen wird,

(c) jeweils für sämtliche Pixel (P) jeweils eine Anzahl von voneinander unterschiedlichen Verschiebungswerten ($d_1, d_2, \dots, d_{\max}$) vorgegeben wird, und für das jeweilige Pixel (P) jeweils eine Anzahl von weiteren Pixeln (P_1, \dots, P_{\max}) ermittelt wird, deren in Richtung der Längserstreckung (z) verlaufende Koordinate (m) jeweils um einen der vorgegebenen Verschiebungswerte ($d_1, d_2, \dots, d_{\max}$) größer ist als die entsprechende Koordinate (k) des jeweiligen Pixels (P) und deren jeweils andere Koordinate (n) der entsprechenden Koordinate (l) des jeweiligen Pixels (P) gleich ist,

$$m = k + d, n = l,$$

(d) für jedes der dem jeweiligen Pixel (P) zugeordneten weiteren Pixel (P_1, \dots, P_{\max})

(i) jeweils ein weiterer Abweichungswert ($\Delta'(P_1), \Delta'(P_2), \dots, \Delta'(P_m), \dots, \Delta'(P_{\max})$) gemäß $\Delta'(P_m) = \Delta'(R(P_m), B(P_m))$ ermittelt wird, wobei der Wert der weiteren Abweichungsfunktion (Δ') umso größer ist, je mehr der zweite Intensitätswert (B(P)) den ersten Intensitätswert (R(P)) übersteigt, und

(ii) jeweils für sämtliche weiteren Pixel (P) auf dieselbe Weise die Anzahl der möglichen Ergebnisse der in Schritt (d, i) ausgewerteten weiteren Abweichungsfunktion Δ' in eine Anzahl von weiteren Intervallen ($l'_1, l'_2, \dots, l'_{\max}$) unterteilt wird, wobei die einzelnen Intervalle nach steigendem Intervallmittelwert indiziert werden, und ermittelt wird, in welches der weiteren Intervalle ($l'(P_m)$) der für das weitere Pixel (P_m) im Schritt (d, i) ermittelte weitere Abweichungswert ($\Delta'(P_m)$) fällt und

(iii) ein durch das dem jeweiligen Pixel zugewiesenen Intervall (l), dem im Schritt (d, ii) ermittelten weiteren Intervall (l') und den jeweiligen Verschiebungswert (d) eindeutig adressierter und vor der Durchführung des Schritts (a) initialisierter Speicherbereich C(l, l', d) um einen vorgegebenen Wert erhöht wird,

sodass nach Durchlaufen sämtlicher Pixel (P) für jede Kombination (l, l', d) jedes im Schritt b) festgelegten Intervalls, eines im Schritt (d, ii) festgelegten weiteren Intervalls ($l'_1, l'_2, \dots, l'_{\max}$) und eines Verschiebungswerts (d) jeweils ein Zählwert zur Verfügung steht, und

(e) anschließend aus dem Speicherbereich C für jeden der Verschiebungswerte (d) jeweils eine Cooccurrence-Matrix (C_1, \dots, C_{\max}) ermittelt wird, wobei die einzelnen Elemente ($c_{i,j,d}$) der Cooccurrence-Matrizen (C_d) gemäß der folgenden Vorschrift festgelegt werden:

$$C_d = [c_{i,j,d}]; \quad c_{i,j,d} = C(l_i, l'_j, d)$$

(f) die einzelnen Elemente der Cooccurrence -Matrizen normiert werden, und eine gemittelte Cooccurrence-Matrix \underline{C} als Mittelwert der normierten Cooccurrence-Matrizen gebildet wird, und

(g) aus den Elementen der gemittelten Cooccurrence-Matrix \underline{C} diejenigen ihrer Elemente $c_{i,j}$ akkumuliert werden, deren jeweiliger Index (i, j) einen vorgegebenen Mindestwert i_0, j_0 übersteigt, wobei als Ergebnis der Akkumulation ein Resultatwert u erhalten wird, der mit einem Schwellenwert t verglichen wird und

(h) dass für den Fall, dass $t > u$ ein Oberflächenfehler (F) im jeweiligen auf den Bildbereich (L) abgebildeten Oberflächenbereich als vorhanden angesehen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abweichungsfunktion $\Delta(\cdot, \cdot)$ wie folgt festgelegt wird:

$$\Delta(P) = \Delta(R(P), B(P)) = \begin{cases} R(P) - B(P), & \text{wenn } R(P) - B(P) > 0 \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases}$$

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die weitere Abweichungsfunktion ($\Delta'(\cdot, \cdot)$) durch die Abweichungsfunktion ($\Delta(\cdot, \cdot)$) wie folgt festgelegt wird:

$$\Delta'(P_1) = \Delta'(R(P_1), B(P_1)) = \Delta(B(P_1), R(P_1)).$$

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
- dass eine Anzahl von, insbesondere gleich großen, Intervallen (I_1, \dots, I_{\max}) im Wertebereich der Abweichungsfunktion ausgewählt wird, die überlappungsfrei und sämtliche möglichen Werte der Abweichungsfunktion abdeckend im Wertebereich der Abweichungsfunktion liegen, und/oder
 - dass eine Anzahl von, insbesondere gleich großen, weiteren Intervallen (I'_1, \dots, I'_{\max}) im Wertebereich der weiteren Abweichungsfunktion ausgewählt wird, die überlappungsfrei und sämtliche möglichen Werte der weiteren Abweichungsfunktion abdeckend im Wertebereich der weiteren Abweichungsfunktion liegen, und/oder
 - dass die Anzahl der Intervalle (I_1, \dots, I_{\max}) und die Anzahl der weiteren Intervalle (I'_1, \dots, I'_{\max}) gleich groß gewählt wird.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
- dass als Verschiebungswerte (d) ganzzahlige Werte in einem Bereich zwischen 1 und 10 gewählt werden, und/oder
 - dass eine Anzahl von drei bis fünf Verschiebungswerten (d) gewählt wird und/oder
 - dass als Verschiebungswerte (d) eine Anzahl von unmittelbar aufeinander folgenden ganzzahligen Werten gewählt wird, deren kleinster Wert zwischen 1 und 3 und/oder deren größter Wert zwischen 5 und 10 und/oder deren Anzahl zwischen 3 und 8 gewählt wird.
6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
- dass der Mindestwert (i_0) so gewählt wird, dass die Intervalle (I_1, \dots, I_{i_0}), deren zugeordneter Index (i) kleiner ist als der Mindestwert oder dem Mindestwert (i_0) gleich, einen Anteil von mindestens 5%, insbesondere mindestens 10%, des gesamten Wertebereichs der Abweichungsfunktion umfassen, und/oder
 - dass der weitere Mindestwert (j_0) so gewählt wird, dass die weiteren Intervalle (I'_1, \dots, I'_{j_0}), deren zugeordneter Index (j) kleiner ist als der weitere Mindestwert oder dem weiteren Mindestwert (j_0) gleich, einen Anteil von mindestens 5%, insbesondere mindestens 10%, des gesamten Wertebereichs der weiteren Abweichungsfunktion umfassen.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass für ein weiteres Pixel (P_1, \dots, P_{\max}) ausschließlich dann ein Wert im Speicherbereich (C) erhöht wird, wenn das weitere Pixel (P_1, \dots, P_{\max}) innerhalb des Bildbereichs (L) liegt.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die einzelnen Cooccurrence-Matrizen (C_d) normiert werden, indem jeder der Werte der jeweiligen Cooccurrence-Matrix (C_d) durch die Gesamtsumme der einzelnen Elemente der jeweiligen Cooccurrence-Matrix (C_d) dividiert wird.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mittlere Cooccurrence-Matrix (\underline{C}) durch elementweise arithmetische Mittelwertbildung der Cooccurrence-Matrizen (C_d) erstellt wird, insbesondere gemäß der folgenden Vorschrift:

$$\underline{C} = 1/N * \text{SUMME}(d=1\dots N) C_d$$

wobei N der Anzahl der Cooccurrence-Matrizen (C_d) entspricht.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor der Bestimmung von Oberflächenfehlern (F) das Digitalbild (D) folgendermaßen aufgenommen wird:
- (a) dass der Gegenstand (G) mit einem Zeilensensor (2) aufgenommen wird, dessen Aufnahmebereich in einer vorgegebenen Ebene (xy) liegt, die normal zur Längserstreckungsrichtung (z) des Gegenstands (G) ausgerichtet ist, wobei sich der Gegenstand (G) im Aufnahmebereich (20) des Zeilensensors (2) befindet,
 - (b) dass zumindest zwei gegenüber dem Zeilensensor (2) lagefest angeordnete Lichtquellen (31, 32) eingesetzt werden, wobei die erste Lichtquelle (31) zur Abgabe einer Strahlung im Wellenlängenbereich des ersten Bildkanals (R) in Längserstreckungsrichtung (z) vor dem Zeilensensor (2) angeordnet wird und die zweite Lichtquelle (32) zur Abgabe einer Strahlung im Wellenlängenbereich des zweiten Bildkanals (B) in Längserstreckungsrichtung (z) hinter dem Zeilensensor (2) angeordnet wird und das jeweilige Licht beider Lichtquellen (31, 32) in dem Bereich des Gegenstands (G) eingestrahlt wird, der im Aufnahmebereich des Zeilensensors (2) liegt,
 - (c) dass der Zeilensensor (2) jeweils eine Anzahl von Pixelsensoren zur separaten Erkennung des Lichts einer der beiden Lichtquellen (31, 32) für jeweils einen der beiden Bildkanäle (R, B) aufweist, wobei mit jedem der Pixelsensoren separat ein Intensitätswert (R, B) des von jeder der beiden Lichtquellen (31, 32) abgegebenen und auf ihn reflektierten Lichts gemessen wird,
 - (d) dass mit jedem Pixelsensor jeweils ein erster Intensitätswert (R) ermittelt wird, der dem von der ersten Lichtquelle (31) abgegebenen und auf den Pixelsensor reflektierten Licht entspricht, und ein zweiter Intensitätswert (B) ermittelt wird, der dem von der zweiten Lichtquelle (32) abgegebenen und auf den Pixelsensor reflektierten Licht entspricht,
 - (e) dass der Zeilensensor (2) und die Lichtquellen (31, 32) zueinander lagefest sind und in Längserstreckungsrichtung (z) des zu inspizierenden Gegenstands (G) relativ zu diesem bewegt werden, und
 - (f) dass mit dem Zeilensensor (2) eine Anzahl von Zeilenbildern aufgenommen wird, die entsprechend ihrer Aufnahmereihenfolge zu einem zweidimensionalen Digitalbild (D) zusammengesetzt werden.
11. Datenträger, auf dem ein Computerprogramm zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche abgespeichert ist.

Hierzu 5 Blatt Zeichnungen

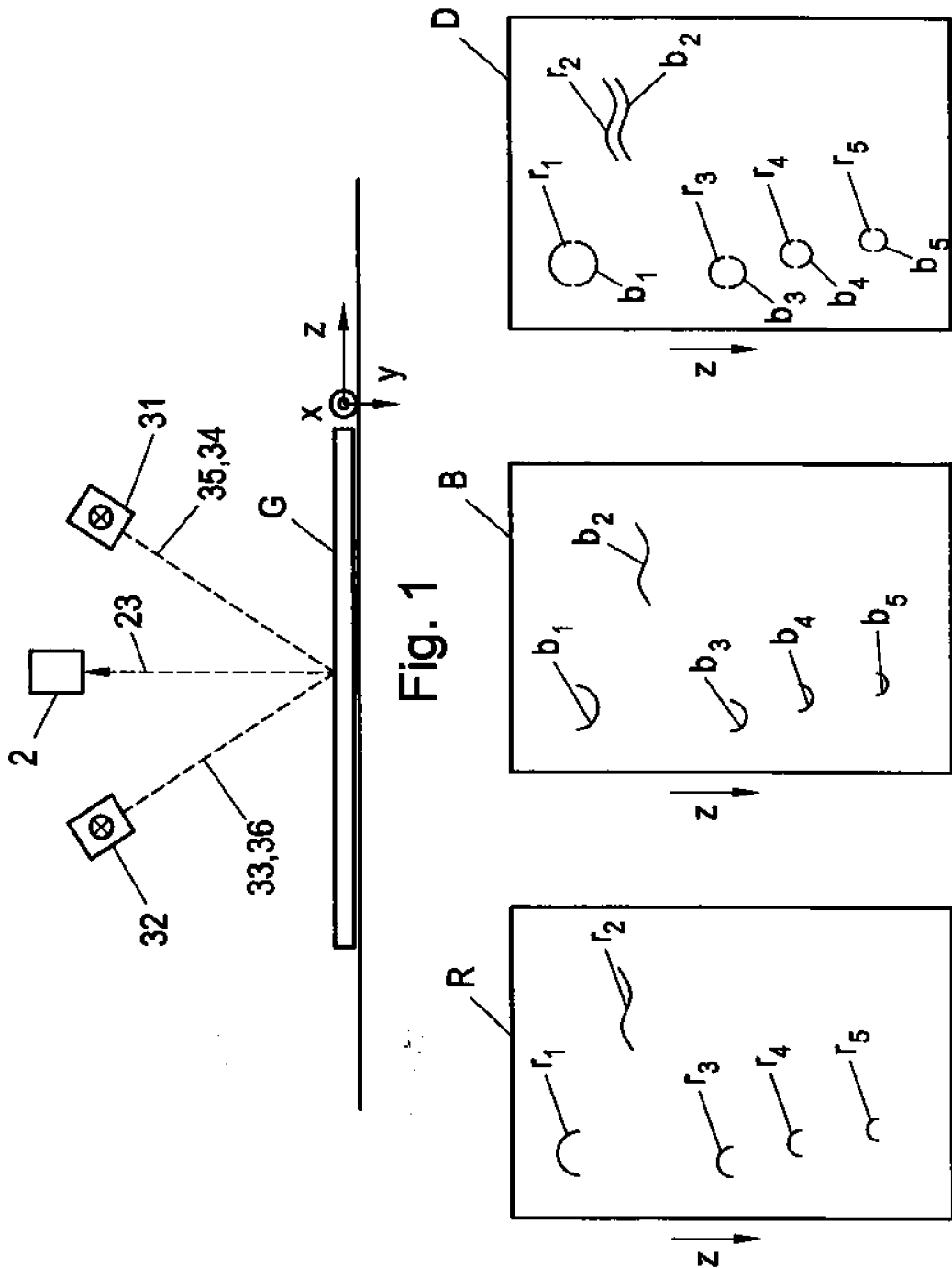


Fig. 1

B

D

Fig. 5

Fig. 6

Fig. 7

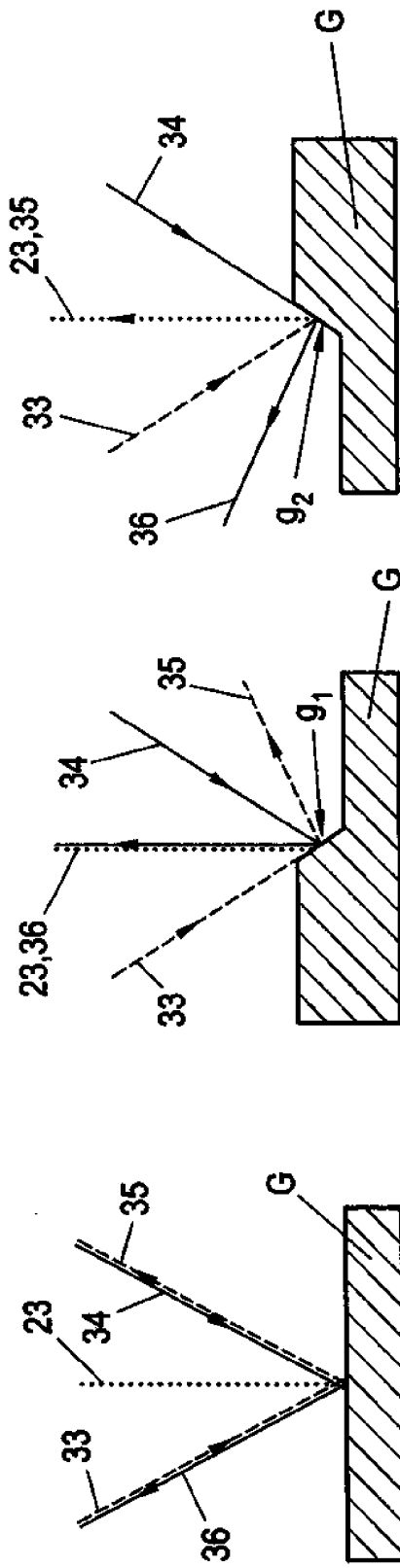


Fig. 4

Fig. 3

Fig. 2

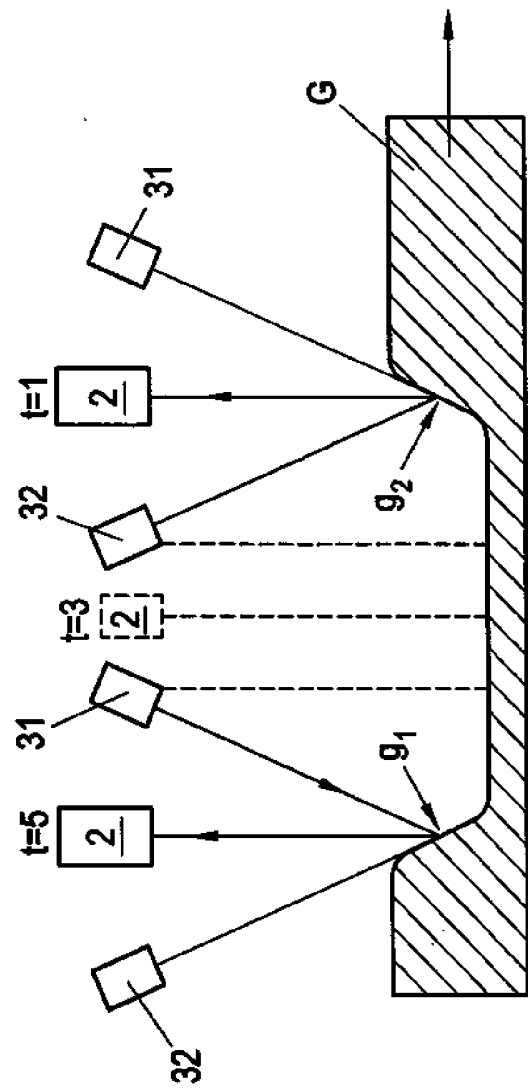


Fig. 11

3/5

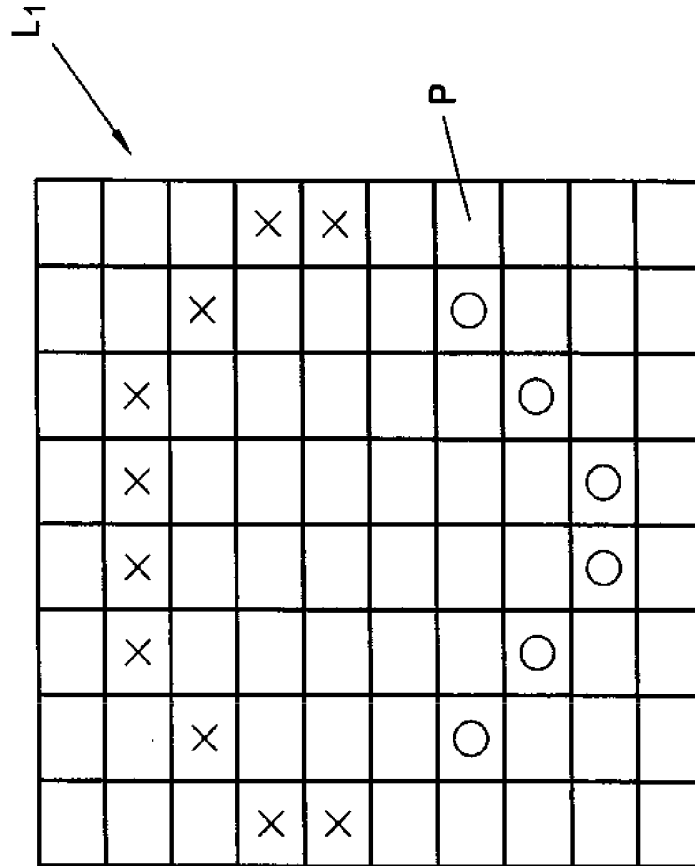


Fig. 9

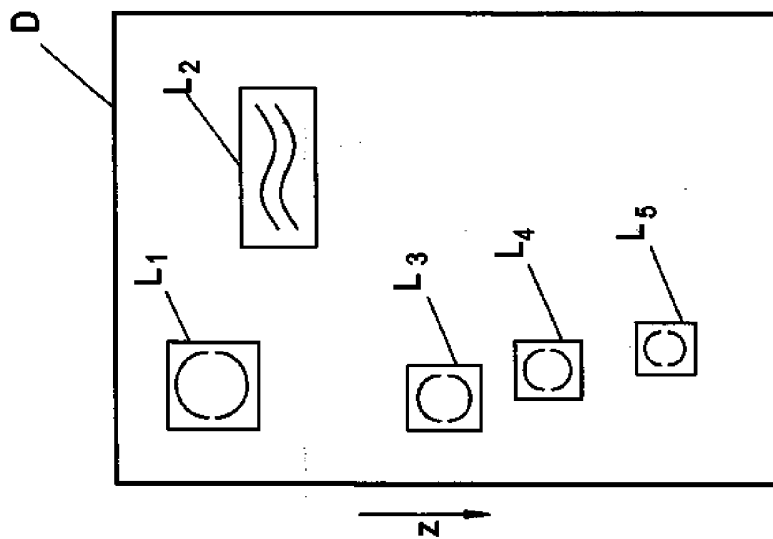


Fig. 8

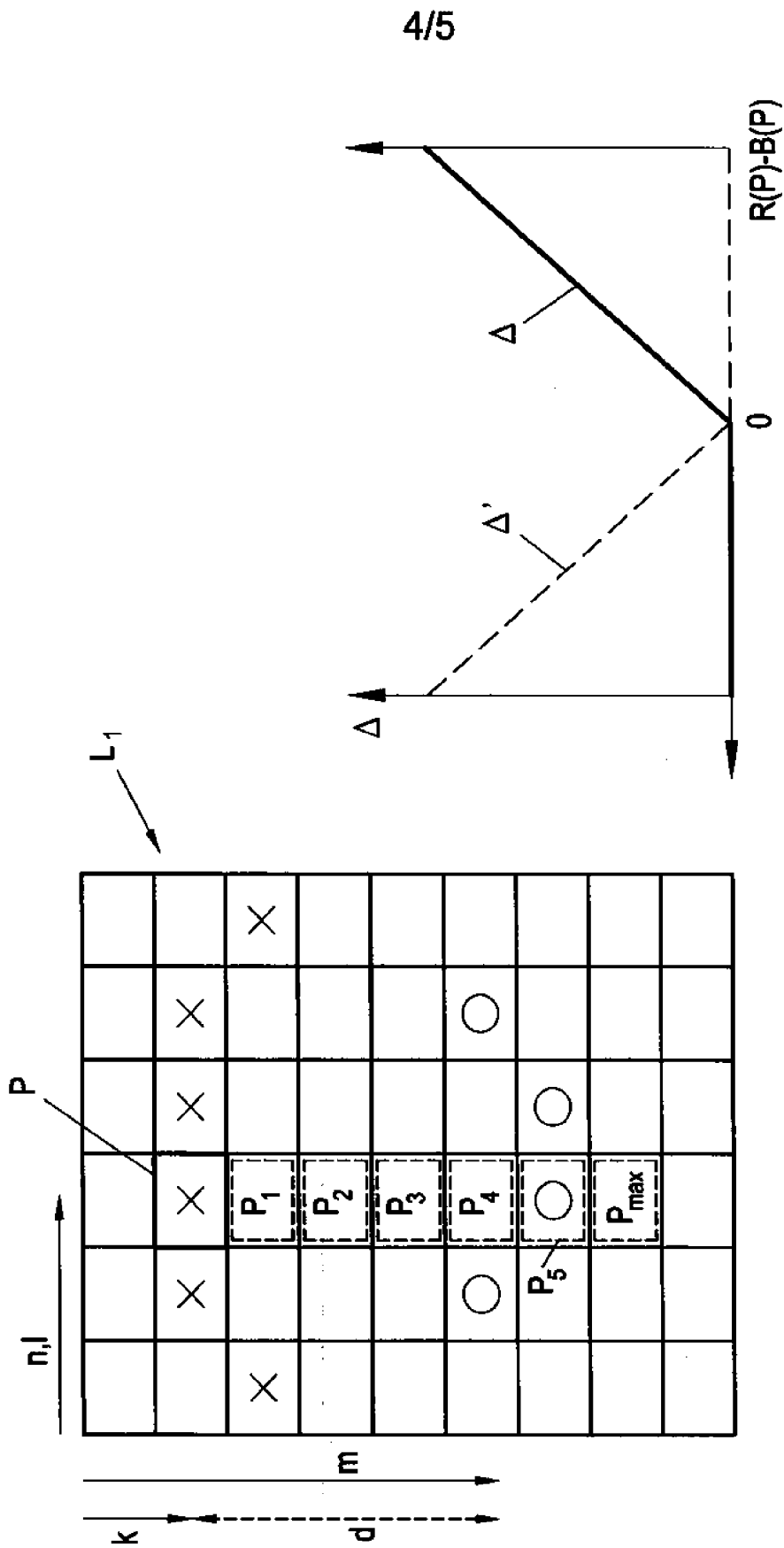


Fig. 12

Fig. 10

5 / 5

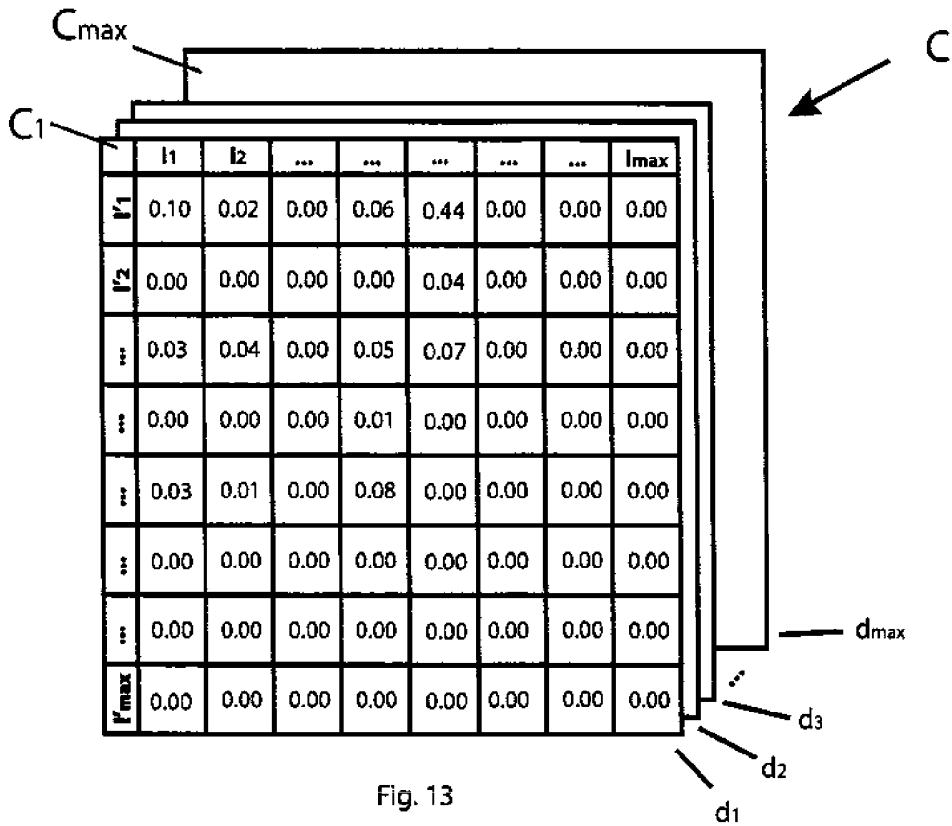


Fig. 13

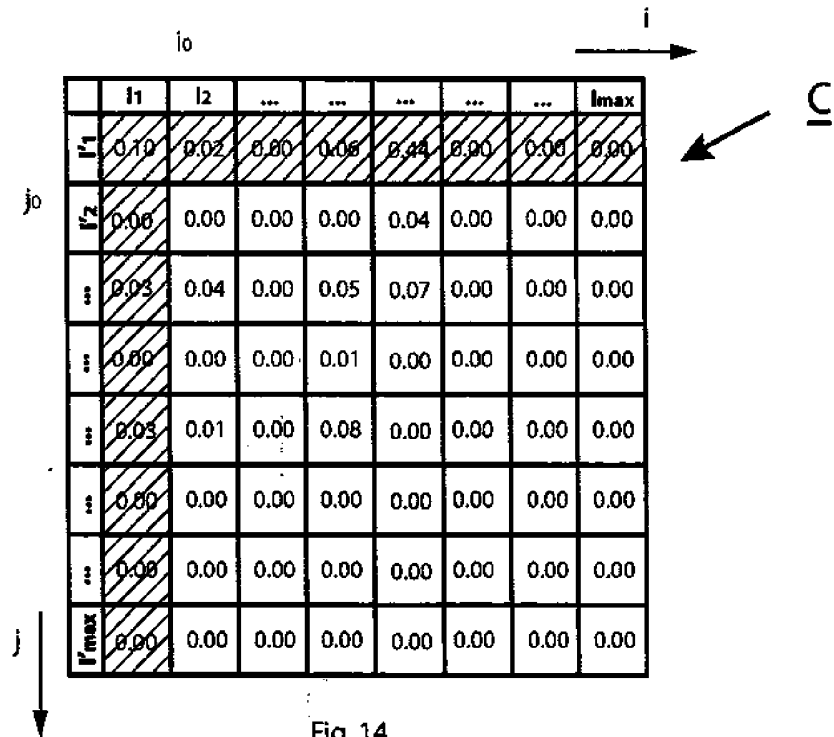


Fig. 14