



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 001 224 A1** 2006.03.09

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 001 224.8**

(22) Anmeldetag: **10.01.2005**

(43) Offenlegungstag: **09.03.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G06K 9/46** (2006.01)

(66) Innere Priorität:

10 2004 043 149.3 03.09.2004

(74) Vertreter:

König Szynga von Renesse, 40549 Düsseldorf

(71) Anmelder:

**Betriebsforschungsinstitut VDEh - Institut für
angewandte Forschung GmbH, 40237 Düsseldorf,
DE**

(72) Erfinder:

Coen, Günther, 42549 Velbert, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

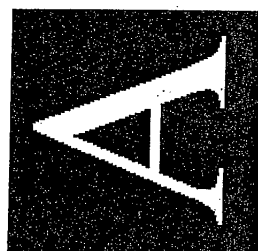
(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Zuordnung eines digitalen Bildes in eine Klasse eines Klassifizierungssystems**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Zuordnung des Inhalts eines digitalen Bildes in eine Klasse eines Klassifizierungssystems, mit den folgenden Schritten:

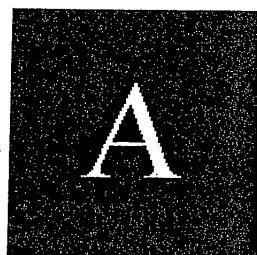
- Ermitteln einer vorbestimmten Anzahl von F numerischen Formmerkmalen Ψ_m ,
- Vergleichen des Werts jedes Formmerkmals der für das Bild bestimmten F numerischen Formmerkmale mit den in einer Tabelle zu dem jeweiligen Formmerkmal abgelegten Wert, wobei in der Tabelle jeder Klasse Werte für die einzelnen numerischen Formmerkmale zugeordnet sind,
- Ausgabe der Klasse als Klasse, in die das zu erkennende Bild klassifiziert wurde, bei der die für das Bild bestimmten F numerischen Formmerkmale den in der Tabelle für diese Klasse angegebenen Werten der numerischen Formmerkmale am besten entsprechen.



Buchstabe A: (zentriert, 96, normal)



Buchstabe A: (zentriert, 96, 90° gedreht)



Buchstabe A: (zentriert, 48, normal)

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Zuordnung eines digitalen Bildes in eine Klasse eines Klassifizierungssystems.

Stand der Technik

[0002] Mit der zunehmenden Automatisierung industrieller Prozesse erhält die Automatisierung der Fehlererkennung auf Grundlage optischer Analysemethoden zunehmend an Bedeutung. Optische Fehlererkennungsverfahren wurden in der Vergangenheit von Qualitätssicherungspersonal durchgeführt. Diese haben das zu überprüfende Objekt oder eine Bilddarstellung des zu überprüfenden Objekts betrachtet und mögliche Fehler erkannt. Beispielsweise werden Schweißnähte anhand von Röntgenbildern auf Fehlertypen, wie beispielsweise Risse, ungenügende Durchschweißungen, Bindefehler, Schlacke, Schlackenzeilen, Poren, Schlauchporen, Wurzelkerben, Wurzelfehler, Schwermetalleinschlüsse und Kantenversatz überprüft. Ferner ist es bekannt, raioskopische Bilder von Gußteilen zu betrachten, um Fehler in dem Gußteil zu erkennen, beispielsweise Fremdeinschlüsse, Gaseinschlüsse, Lunker, wie Fadenlunker oder schwammige Lunker, Risse oder Kernstützen. Da solche Fehler ihrer Art nach ähnlich, ihrer Ausprägung und Form nach jedoch unterschiedlich sein können, ist man bei der industriellen Fehlerüberprüfung dazu übergegangen, Fehler verschiedenen Klassen zuzuordnen, wobei die jeweilige Klasse Fehler der gleichen Art enthält. Die Industrienorm EN 1435 beschreibt beispielsweise das Klassifizierungssystem für Schweißnahtfehler. Gemäß dieser Norm werden die bei Schweißnähten auftretenden, anhand von Röntgenbildern erkannten Fehler in die 30 verschiedene Klassen eingeteilt, beispielsweise Klassen für die Fehler Riß, wie beispielsweise Längsriß oder Querriß, ungenügende Durchschweißung, Bindefehler, Fremdeinschlüsse, wie Schlacke, Schlackenzeile, Gaseinschlüsse, wie Pore oder Schlauchpore, oder Schwermetalleinschluß, Einbrandkerben, Wurzelkerbe, Wurzelfehler, und Kantenversatz. Mit der Automatisierung der Prozesse ist man nun bestrebt, das optische Erkennen von Fehlern und Zuordnen dieser Fehler in vorgegebene Klassen durch Bildanalyse mit digitalen Bildaufnahmetechniken aufgenommener und gespeicherter Bilder zu erreichen. Herkömmliche automatisierte Fehlererkennungsmethoden auf Grundlage digitaler Bilder verwenden einen sogenannten "heuristischen Ansatz". Hier werden in einer Bildverarbeitungseinheit Referenzbilder abgelegt und durch einen Bildvergleich versucht, den Inhalt eines digitalen Bildes einem dieser Referenzmuster zuzuordnen.

[0003] Auf anderen technologischen Gebieten wird die Zuordnung von Bildinhalten zu Klassen eines Klassifizierungssystems beispielsweise in der Schrifterkennung eingesetzt. Hier bildet beispielsweise jeder Buchstabe seine eigene Klasse, so daß für das Großbuchstabenalphabet beispielsweise 26 Klassen bestehen, nämlich für die Zeichen (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z). Die OCR-Technologien (Optical Character Recognition) analysieren das durch einen Scanner erzeugte digitale Abbild einer geschriebenen Seite und ordnen die singularisierten Buchstabenzeichen den vorgegebenen Klassen zu. Im Ergebnis "erkennt" die OCR-Technologie den Text und kann die klassifizierten Zeichen einem Textverarbeitungsprogramm als editierbare Buchstabenreihenfolge übergeben. Die erteilten europäischen Patentschriften 0 854 435 B1 und 0 649 113 B1 befassen sich beispielsweise mit dem technischen Gebiet der Zeichenerkennung (Optical Character Recognition).

[0004] Zunehmend läßt sich die Technik der Bildverarbeitung in Bereiche unterschiedlicher Teilprozesse unterteilen, deren Technologien sich unabhängig von einander weiterentwickeln. Diese Bereiche werden häufig in die Bildvorverarbeitung, Bildanalyse, Analyse von Bildfolgen, Bildarchivierung und das sogenannte Imaging gegliedert.

[0005] Unter Bildvorverarbeitung versteht man die computergestützte Verbesserung der Qualität (Aufbereitung: Entrauschung, Glättung) des jeweiligen digitalen Bildes zur leichteren visuellen Wahrnehmung des Informationsgehaltes dieses Bildes für den Betrachter.

[0006] Unter Bildanalyse versteht man die computergestützte Auswertung des Informationsgehaltes des jeweiligen digitalen Bildes durch automatisches und reproduzierbares Strukturieren, Erkennen und Verstehen dieses Bildes.

[0007] Unter der Analyse von Bildfolgen versteht man die computergestützte Auswertung des Informationsgehaltes der jeweiligen Folge von digitalen Bildern durch automatisches und reproduzierbares Strukturieren, Erkennen und Verstehen aller Einzelbilder dieser Folge und durch automatisches und reproduzierbares Verstehen des Kontextes der Abfolge der Einzelbilder dieser Bildfolge.

[0008] Unter Bildarchivierung versteht man die computergestützte Kompression und Speicherung von digitalen Bildern zusammen mit indizierenden Suchdeskriptoren aus einem kontrollierten Vokabular.

[0009] Unter Imaging versteht man die computergestützte Erzeugung synthetischer Graphiken und digitaler Bilder zur Visualisierung und Erläuterung des Informationsgehaltes komplexer Prozesse auf Bild- und Symbolenebene für den menschlichen Betrachter.

[0010] Die Technik des Zuordnens der Inhalte digitaler Bilder zu einer Klasse eines Klassifizierungssystems ist ein Verfahren der Bildanalyse. Diese läßt sich in drei Teilbereiche: Segmentierung, Objekterkennung und Bildverstehen unterteilen.

[0011] Unter Segmentierung versteht man das automatische und reproduzierbare Strukturieren des jeweiligen digitalen Bildes durch Separieren der für die Analyse des Bildes relevanten Objekte voneinander und vom Bildhintergrund. Unter Objekterkennung versteht man die automatische und reproduzierbare Klassifikation der separierten Objekte. Das Bildverstehen kann aufgefaßt werden als das automatische und reproduzierbare Interpretieren des jeweiligen digitalen Bildes durch Kontextbewertung der klassierten, separierten Objekte. Die Technik des Zuordnens digitaler Bilder zu einer Klasse eines Klassifizierungssystems ist ein Verfahren der Objekterkennung.

[0012] Die Objekterkennung kann aufgefaßt werden als ein Teilgebiet der Mustererkennung und zwar als das Teilgebiet der Mustererkennung, das als Muster nur ebene Objekte in Bildern erkennt.

[0013] Die Darstellung der Bilder erfolgt regelmäßig durch ein aus Bildpunkten zusammengesetztes Bild, wobei zur Darstellung des Bildes der Inhalt eines jeden Bildpunktes und dessen Lage im Bild bekannt sein muß. Abhängig von dem Inhaltsattribut lassen sich die Bilder in Farbbilder, Grauwertbilder und Binärbilder, wobei Binärbilder als Inhaltsattribut beispielsweise nur die Werte 0 und 1 für schwarz und weiß annehmen.

[0014] Ein in der Technik häufig eingesetztes Verfahren zur Zuordnung eines digitalen Bildes in eine Klasse eines Klassifizierungssystems, das jahrzehntelang erfolgreich zur Unterscheidung militärischer Flugzeuge (Freund-Feind-Erkennung) eingesetzt wurde, ist aus M. K. Hu: "Visual Pattern Recognition by Moment Invariants", IRE Trans. Info. Theory, vol. IT-8, 1962, pp. 179–187 und R. C. Gonzalez, R. E. Woods: "Digital Image Processing", Addison-Wesley Publishing Company, 1992, pp. 514–518 bekannt. Auf der Basis der so genannten normierten, zentralisierten axialen Momente, die durch Bildanalysetechniken aus der Bildwiedergabe gewonnen werden, läßt sich durch Skalierung für jedes beliebige, separierte, beschränkte, ebene Objekt in einem Binärbild eine endliche Folge $\{\phi_i\}$ von 7 dimensionslosen Formmerkmalen erzeugen. Betrachtet man die 7 Folgeglieder ϕ_i ($0 \leq i \leq 6$) als die Koordinaten eines Merkmalsvektors $\Phi = (\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4, \phi_5, \phi_6, \phi_7)$, der Element eines 7-dimensionalen, euklidischen Merkmalsraums M_7 ist, dann induziert dieses Verfahren eine Objekterkennung in diesem 7-dimensionalen Merkmalsraum M_7 . Sie hat, gemessen an der Objekterkennung mittels heuristischer Merkmale die Vorteile, daß die Klassierung ausschließlich mit Merkmalsvektoren $\Phi = (\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4, \phi_5, \phi_6, \phi_7)$, deren Koordinaten dimensionslose Formmerkmale sind, geschieht, so daß insbesondere Größenunterschiede zwischen den zu erkennenden Objekten und den für die Erstellung der Vergleichstabelle verwendeten Objekten bedeutungslos sind. Ferner ist innerhalb der Menge der dimensionslosen Formmerkmale ϕ_i durch den Koordinatenbezug zum Merkmalsvektor Φ eine eindeutige Reihenfolge bezüglich der Relevanz der Merkmale für die Objekterkennung in der digitalen Bildverarbeitung vorgegeben, so daß eindeutig ist, daß das erste Merkmal ϕ_1 das wichtigste ist.

[0015] Dennoch ist dieses Verfahren nachteilbehaftet, da die Zahl der verfügbaren dimensionslosen Formmerkmale auf 7 begrenzt ist und somit bei komplexen Objekten eine Fehlklassifizierung erfolgen kann, wenn sich für zwei unterschiedliche Klassen gleiche Werte für die 7 dimensionslosen Formmerkmale ergeben.

[0016] Vor diesem Hintergrund liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Zuordnen des Inhalts eines digitalen Bildes in eine Klasse eines Klassifizierungssystems vorzuschlagen, mit dem auch Zeichen komplexerer Form sicher erkannt werden können.

Aufgabenstellung

[0017] Diese Aufgabe wird mit den Verfahren gemäß dem Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0018] Die Erfindung geht von dem Grundgedanken aus, für das zu analysierende Bild einer vorbestimmte

Anzahl von numerischen Formmerkmalen Ψ_m mit m als Zählindex, der von 1 bis F läuft, zu ermitteln, wobei Ψ_m ein transformierter Ausdruck des dimensionslosen, skalierten, normierten, zentralisierten, polaren Moment $\overline{\rho^m}$ ist. Diese voneinander unabhängigen Formmerkmale ψ_m können zur Zuordnung des Inhalts des digitalen Bildes mit in einer Tabelle abgelegten Werten für diese Formmerkmale verglichen werden. Bei einer Übereinstimmung der Werte sämtlicher ermittelter F Formmerkmale ψ_m mit den für eine Klasse in der Tabelle abgelegten F Formmerkmalen ψ_m gehört der Bildinhalt des analysierten Bildes dieser Klasse an. Aufgrund der Digitalisierung ist hierbei bevorzugt mit Nährungswerten zu arbeiten, so daß eine Klassenzuordnung auch bereits dann ausgegeben wird, wenn die berechneten F Formmerkmale ψ_m näherungsweise mit den F abgelegten Formmerkmalen ψ_m einer Klasse übereinstimmen.

[0019] Im Gegensatz zu der aus dem Stand der Technik bekannten auf 7 Formmerkmale begrenzten Methode sind die erfindungsgemäß zu Bildanalyse vorgeschlagenen numerischen Formmerkmale ψ_m derart unabhängig voneinander, daß eine große Zahl von Formmerkmalen aufgestellt werden kann, ohne das eine Abhängigkeit der Formmerkmale zueinander entsteht. Dadurch kann eine eindeutige Zuordnung der zuerkennenden Bildinhalte in eine vorgesehene Klasse erreicht werden.

[0020] Das erfindungsgemäße Verfahren ist insbesondere unabhängig von der relativen Lage des zu erkennenden Inhalts zu der Aufnahmevorrichtung. Auch um beispielsweise 60° oder 180° gedrehte Objekte können eindeutig zugeordnet werden.

[0021] Das Verfahren basiert auf der Berechnung einer Folge von F funktional unabhängigen, dimensionslosen Merkmalen des separierten, beschränkten Inhalts im jeweils vorliegenden Bild.

[0022] Das Bild wird in herkömmlicher Weise durch N Bildpunkte dargestellt, wobei ein Bildpunkt in einem vorbestimmten Koordinatensystem an dem Ort (x_i, y_j) liegt und das Bild sich über die Koordinaten $(0,0)$ bis $(x_{\text{imax}}, y_{\text{imax}})$ erstreckt und imax die maximale Zahl der Bildpunkte in Richtung der x -Koordinate und ymax die maximale Zahl der Bildpunkte in Richtung der y -Koordinate ist und jedem Bildpunkt ein Inhaltsattribut $\text{data}[j, i]$ zugeordnet ist.

[0023] Das Inhaltsattribut ist für eine binär-dargestelltes Bild, bei dem der jeweilige Bildpunktinhalt beispielsweise entweder den Wert 1 oder 0 für schwarz oder weiß annimmt, beispielsweise ein einzelner Wert, der in einer Tabelle abgelegt ist, und $\text{data}[j, i]$ stellvertretend für den Wert in dieser Tabelle am dem dem Bildpunkt zugeordneten Ort ist. Bei farbigen Bildern, bei denen sich das Inhaltsattribut jedes Bildpunkt beispielsweise aus drei Werten für die 3 Farbdarstellung "rot, grün, blau" (RGB-Darstellung) zusammensetzt, ist das Inhaltsattribut $\text{data}[j, i]$ beispielsweise stellvertretend für einen Vektor, der diese drei Werte für den jeweiligen Bildpunkt enthält. $\text{data}[j, i]$ kann auch stellvertretend für andere Vektoren sein, falls andere Farbdarstellungen verwendet werden, bzw. Graustufendarstellungen. $\text{data}[j, i]$ kann auch stellvertretend für den Betrag eines solchen Vektors stehen, wenn eine Mehrfarbdarstellung vor dem Einsatz des erfindungsgemäßen Klassifizierungsverfahrens von einer Mehrfarbdarstellung, beispielsweise einer RGB-Darstellung, in eine Graustufen oder sogar binäre Darstellung umgewandelt wird.

[0024] Bei einer Farbdarstellung, beispielsweise einer RGB-Darstellung, kann $\text{data}[j, i]$ zudem auf für den Einzelwert der Rot-Darstellung, bzw. Grün-Darstellung, bzw. Blau-Darstellung im Bildpunkt stehen. Das Klassifizierungsverfahren wird dann beispielsweise ausschließlich anhand einer Darstellung, beispielsweise der Rot-Darstellung, durchgeführt, wobei das Verfahren dann gleich dem vorstehenden Verfahren für Binär-Darstellungen durchgeführt wird. Es können dann ebenfalls binäre Werte 1 und 0 für $\text{data}[j, i]$ am Bildpunkt verwendet werden, wobei 1 beispielsweise für rot und 0 für leer steht. Ebenso kann das Klassifizierungsverfahren parallel für die verschiedenen Farb-Darstellungen durchgeführt werden, also parallel für eine binäre Rot-Darstellung, eine binäre Grün-Darstellung und eine binäre Blau-Darstellung. Hierdurch wird die Genauigkeit der Klassifizierung erhöht.

[0025] Das in das numerische Formmerkmal ψ_m transformierte Moment $\overline{\rho^m}$ berechne sich aus

$$\overline{\rho^m} = k_m \overline{R^m}$$

$$\text{mit } k_m = \frac{(m+2)}{2} \left(\frac{\pi}{|A|} \right)^{\frac{m}{2}}$$

$$A = m_{0,0} = \Delta a * \Delta b * \sum_{j=1}^{j \max} \sum_{i=1}^{i \max} data[j,i]$$

$$\overline{R^m} = \frac{U_m}{U_0} = \frac{U_m}{m_{0,0}}$$

$$U_m = \Delta a * \Delta b * \sum_{j=1}^{j \max} \sum_{i=1}^{i \max} (R(j,i))^m data[j,i]$$

$$R(j,i) = \sqrt{((i-0,5) * \Delta a - \bar{x})^2 + ((j-0,5) * \Delta b - \bar{y})^2}$$

$$\bar{x} = \frac{m_{1,0}}{m_{0,0}}$$

$$\bar{y} = \frac{m_{0,1}}{m_{0,0}}$$

$$m_{1,0} = (\Delta a)^2 * \Delta b * \sum_{j=1}^{j \max} \sum_{i=1}^{i \max} (i-0,5) * data[j,i]$$

$$m_{0,1} = (\Delta b)^2 * \Delta a * \sum_{j=1}^{j \max} \sum_{i=1}^{i \max} (j-0,5) * data[j,i]$$

- Δa = Breite des Bildpunktes in x-Koordinaten Richtung
 Δb = Breite des Bildpunktes in y-Koordinaten Richtung
 $data [j, i]$ = Inhaltsattribut des Bildpunkts an der Stelle (y_j, x_i)
 m = Durchlaufende Zahl von 1 bis F.

[0026] Das vorbestimmte Koordinatensystem ist besonders bevorzugt ein kartesisches Koordinatensystem, da die meisten digitalen Bilder die Bildpunkte über ein kartesisches Koordinatensystem definieren. Es können jedoch auch andere Koordinatensysteme, beispielsweise polare Koordinatensysteme eingesetzt werden.

[0027] Während derzeit digitale Bilder in der Regel mit 1 bis zu 3 Millionen Bildpunkten (pixel) dargestellt werden können, ist zu erwarten, daß sich die Zahl N mit dem Fortschritt der Bildaufnahme und -verarbeitungstechnik zunehmend erhöht, so daß die vorgenannten Summenfunktionen annähernd in Integralfunktionen übergehen.

[0028] Insbesondere wird ein Bildinhalt durch die Anordnung von Bildpunkten gleichen Inhaltsattributs definiert.

[0029] Die F ermittelten Formmerkmale des Bildinhalts ergeben einen Merkmalsvektor in einem beschränkten, F-dimensionalen Teilbereich (Einheits-Hyperwürfel) des F-dimensionalen Merkmalsraum. Die Inhaltsklassierung geschieht schließlich durch problemspezifisches Clustern dieses n-dimensionalen Einheits-Hyperwürfels.

[0030] Das Klassifizierungssystem kann beispielsweise eine vorgegebene Industrienorm sein, wie beispielsweise die EN 1435. Bei der Personenerkennung kann beispielsweise jede Person eine eigene Klasse bilden. So werden in der Vergleichstabelle die F Formmerkmale ψ_m , die den Fingerabdruck oder das Iris-Bild der zu erkennenden Person charakterisieren, abgelegt. Zur Personenerkennung wird das von einer Aufnahmeeinheit, beispielsweise Kamera, aufgenommene Bild der Iris nach dem erfindungsgemäßen Verfahren analysiert, wobei die F Formmerkmale ψ_m der aufgenommenen Iris berechnet werden und mit den in der Tabelle abgelegten Formmerkmals-Werten verglichen werden. Ergibt sich eine (annäherungsweise) Übereinstimmung mit allen Werten der Formmerkmale ψ_m einer Klasse, so hat das System die Person, die durch diese Klasse charakte-

risiert wird erkannt. Für die Bestimmung der näherungsweise Übereinstimmung kann vorzugsweise eine Methode der kleinsten Quadrate, beispielsweise nach Gauss, verwendet werden.

[0031] Wird ein digitales Bild erkannt, daß in einer anderen als einer Binär-Darstellung dargestellt wird, so können die vorgenannten Verfahrensschritte für mehrere Gruppen mit F numerischen Formmerkmalen ψ_m durchgeführt werden, beispielsweise in einer Gruppe für Werte einer Rot-Darstellung, in einer Gruppe für Werte einer Grün-Darstellung und in einer Gruppe für Werte einer Blau-Darstellung. Alternativ können die vorgenannten Verfahrensschritte auch an Inhaltsattributen data [j, i] durchgeführt werden, die als Vektor die einzelnen Werte der einzelnen Farb-Darstellungen enthalten. Divisions-Rechenoperationen werden dann bevorzugt an den Beträgen der Vektoren durchgeführt.

[0032] In einer bevorzugten Ausführungsform wird das Formmerkmal ψ_m durch die Transformation

$$\psi_m = \sqrt[m]{\frac{1}{\rho^m}}$$

ermittelt. Als Transformation von ψ_m zu $\overline{\rho^m}$ sind jedoch auch andere Transformationen, sogar eine Gleichsetzung $\psi_m = \overline{\rho^m}$ möglich.

[0033] Das mit den in der Tabelle abgelegten Werten zu vergleichende Formmerkmal ist vorzugsweise das mittels der vorgenannten Transformation gewonnene Formmerkmal ψ_m . Vor dem Vergleich mit den Tabellenwerten oder in der Transformation aus $\overline{\rho^m}$ kann die Reihe der F Formmerkmale einem Orthogonalisierungsverfahren unterworfen werden, wie es beispielsweise nach E. Schmidt durchgeführt wird. Hierbei können die zu vergleichenden Formmerkmale insbesondere derart umgerechnet werden, daß sich für einen Kreis eine Reihe von F Formmerkmalen $\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4, \psi_5 \dots \psi_F$ mit Werten von 1,0,0,0,0 ... 0 ergibt.

[0034] Um die Zahl F der numerischen Formmerkmale ψ_m festzulegen, kann aus mehreren, insbesondere mehr als 29 Proben pro Klasse des Klassifizierungssystems die Zahl F ausgehend von F = 1 soweit erhöht werden, daß sich die für die Proben einer Klasse ermittelten Werte für das jeweilige Formmerkmal ψ_m zu mindestens in einem numerischen Wert für mindestens ein Formmerkmal ψ_m von dem numerischen Wert dieses Formmerkmals ψ_m der anderen Klasse unterscheidet. Besonders bevorzugt wird die Zahl F der Formmerkmale soweit erhöht, bis die Werte der Formmerkmale mit den höchsten Ordnungsziffern m in allen Klassen mit zunehmender Ordnungsziffer abnehmen. Die für die mindestens 29 Proben pro Klasse ermittelten Werte des jeweiligen Formmerkmals ψ_m können zur Bestimmung eines, für diese Klasse für dieses Formmerkmal einzusetzenden Werts arithmetisch gemittelt werden.

[0035] Die nachfolgende wiedergegebene Tabelle nur zur Veranschaulichung frei gewählter Zahlenwerten zeigt, daß für die Bestimmung des Schweißnahtfehlers auf die Zugehörigkeit zu den Fehlerklassen "Riß", "Pore", "Schlauchpore" eine Zahl F = 1 von numerischen Formmerkmalen ψ_m nicht hinreichend präzise ist, da ψ_1 sowohl für den Riß-Klasse als auch die Schlauchporen-Klassen nahezu gleiche Werte annimmt. Erst durch die Hinzunahme des zweiten numerischen Formmerkmals ψ_2 wird die Zuordnung eindeutig. Es zeigt sich, daß trotz der ähnlichen Zahlenwerte für ψ_2 in der Klasse "Pore" und "Schlauchpore", dieses System aus nur zwei Formmerkmalen ψ_1, ψ_2 geeignet ist, die 3 Fehler präzise zu klassifizieren.

| | Riß | Pore | Schlauchpore |
|----------|---------|---------|--------------|
| ψ_1 | 0,01245 | 0,87231 | 0,01268 |
| ψ_2 | 0,00234 | 0,54100 | 0,54612 |

[0036] Die Zahl F kann jedoch auch im Wege eines Rotationsellipsen-Bestimmungsverfahrens ermittelt werden. Derartig "Cluster-Verfahren" werden beispielsweise in H. Niemann, Klassifikation von Mustern, Springer Verlag, Berlin, 1983, Seite 200ff beschrieben.

[0037] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Zuordnung des Inhalts eines digitalen Bildes in eine Klasse eines Klassifizierungssystems wird bevorzugt bei der optischen Inspektion von Bauteilen, insbesondere bei der optischen Oberflächeninspektion eingesetzt. Ferner kann das Verfahren bei der Qualitätssicherung, der Textur-, Form- und Konturanalyse, der Photogrammetrie, der Zeichen- und Schrifterkennung, der Personenerkennung, der Robot-Vision oder der Auswertung von radiographischen oder radioskopischen Bildern, Ultraschall-Bildern und Kernspinn-Tomographie eingesetzt werden.

[0038] Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich bei den Bildern, bezüglich derer die Objekterkennung durchgeführt wird, um "optische" Bilder aus dem Spektralbereich des sichtbaren Lichts oder um radiographische bzw. radioskopische Bilder oder gar um synthetische Bilder aus dem Bereich Imaging handelt. Das Verfahren kann daher im Bereich der optischen Oberflächeninspektion ebenso eingesetzt werden, wie etwa bei der Qualitätssicherung, der Textur-, Form- und Konturanalyse, der Photogrammetrie, der Zeichen- und Schrifterkennung, der Personenerkennung, der Robot-Vision oder der Auswertung von radiographischen bzw. radioskopischen Bildern, Ultraschall-Bildern und Kernspin-Tomographien.

[0039] Wenn man im Rahmen dieses breiten Spektrums möglicher Anwendungen ein konkretes Problem der Objekterkennung angeht, dann steht der Komplexitätsgrad des Problems von Beginn an fest:

Es ist bekannt, in wie viele verschiedene Objektklassen K die zu erkennenden Objekte einsortiert werden sollen. Im Gegensatz zur Klassierung auf der Basis heuristischer Merkmale kann bei dem neuen, algorithmischen Verfahren bezüglich jeder Objektklasse die Anzahl der Freiheitsgrade der Form anhand einer repräsentativen Stichprobe von Testobjekten experimentell ermittelt werden. Die Klassierung geschieht ausschließlich mit Merkmalsvektoren $\Psi = (\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4, \psi_5, \dots, \psi_F)$. Der Merkmalsvektor jedes beliebigen, separierten, beschränkten, ebenen Objekts im Bild liegt im Innern eines beschränkten, normierten F -dimensionalen Teilbereichs ("Einheits-Hyperwürfel") eines F -dimensionalen Merkmalsraums. Die Musterklassierung geschieht durch problemspezifisches Clustern des Inneren dieses F -dimensionalen Einheits-Hyperwürfels.

Ausführungsbeispiel

[0040] Nachfolgend wird die Erfindung anhand einer, lediglich ein Ausführungsbeispiel darstellende Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen

[0041] [Fig. 1](#) drei unterschiedliche Wiedergaben eines ersten zu erkennenden Zeichens;

[0042] [Fig. 2](#) drei Darstellungen eines zweiten zu erkennenden Zeichens und

[0043] [Fig. 3](#) drei Darstellungen eines dritten zu erkennenden Zeichens.

[0044] In den [Fig. 1](#), [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) sind die Buchstaben A, B und C jeweils in drei Darstellungsformen i) normal, ii) normal, aber um 90° gedreht, iii) gleiche Ausrichtung wie normal, jedoch kleiner dargestellt. Ferner wurde neben den in den Fig. dargestellten zentrierten Ausrichtungen noch eine Positionierung links und eine Positionierung rechts untersucht.

[0045] Die nachfolgende Tabelle zeigt die Werte für ψ_1 , wobei ψ_1 nach der Beziehung

$$\psi_1 = \sqrt[1]{\frac{1}{\rho^1}}$$

berechnet wurde.

[0046] $\overline{\rho^1}$ ergibt sich dabei aus folgenden Beziehungen

$$\bar{\rho}^1 = k_1 \bar{R}^1$$

$$\text{mit } k_1 = \frac{3}{2} \left(\frac{\pi}{|A|} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$A = m_{0,0} = \Delta a * \Delta b * \sum_{j=1}^{j \max} \sum_{i=1}^{i \max} data[j,i]$$

$$\bar{R}^1 = \frac{v_1}{v_0} = \frac{v_1}{m_{0,0}}$$

$$v_1 = \Delta a * \Delta b * \sum_{j=1}^{j \max} \sum_{i=1}^{i \max} (R(j,i))^1 data[j,i]$$

$$R(j,i) = \sqrt{((i-0,5) * \Delta a - \bar{x})^2 + ((j-0,5) * \Delta b - \bar{y})^2}$$

$$\bar{x} = \frac{m_{1,0}}{m_{0,0}}$$

$$\bar{y} = \frac{m_{0,1}}{m_{0,0}}$$

$$m_{1,0} = (\Delta a)^2 * \Delta b * \sum_{j=1}^{j \max} \sum_{i=1}^{i \max} (i-0,5) * data[j,i]$$

$$m_{0,1} = (\Delta b)^2 * \Delta a * \sum_{j=1}^{j \max} \sum_{i=1}^{i \max} (j-0,5) * data[j,i]$$

Δa = Breite des Bildpunktes in x-Koordinaten Richtung = $\Delta a = 0,3175$ mm

Δb = Breite des Bildpunktes in y-Koordinaten Richtung = $\Delta b = 0,3175$ mm

data [j, i] = Inhaltsattribut des Bildpunkts an der Stelle (y_j, x_i)

[0047] Mit den vorgenannten Beziehung und den jeweiligen Datenfeldern für die jeweiligen Darstellungen, in denen Inhaltsattribute an den Stellen (y_j, x_i) abgelegt sind, ergeben sich die in der folgenden Tabelle wiedergegebenen Werte:

| Buchstabe | Positionierung | Größe | Ausrichtung | Merkmal ψ_i |
|-----------|----------------|-------|-------------|------------------|
| A | links | 96 | normal | 0.576 |
| A | zentriert | 96 | normal | 0.576 |
| A | rechts | 96 | normal | 0.576 |
| A | links | 96 | 90° gedreht | 0.574 |
| A | zentriert | 96 | 90° gedreht | 0.574 |
| A | rechts | 96 | 90° gedreht | 0.574 |
| A | links | 48 | normal | 0.569 |
| A | zentriert | 48 | normal | 0.569 |
| A | rechts | 48 | normal | 0.569 |
| B | links | 96 | normal | 0.609 |
| B | zentriert | 96 | normal | 0.609 |
| B | rechts | 96 | normal | 0.609 |
| B | links | 96 | 90° gedreht | 0.608 |
| B | zentriert | 96 | 90° gedreht | 0.608 |
| B | rechts | 96 | 90° gedreht | 0.608 |
| B | links | 48 | normal | 0.598 |
| B | zentriert | 48 | normal | 0.598 |
| B | rechts | 48 | normal | 0.598 |
| C | links | 96 | normal | 0.445 |
| C | zentriert | 96 | normal | 0.445 |
| C | rechts | 96 | normal | 0.445 |
| C | links | 96 | 90° gedreht | 0.444 |
| C | zentriert | 96 | 90° gedreht | 0.444 |
| C | rechts | 96 | 90° gedreht | 0.444 |
| C | links | 48 | normal | 0.443 |
| C | zentriert | 48 | normal | 0.443 |
| C | rechts | 48 | normal | 0.443 |

Tabelle der numerischen Werte für das Formmerkmal ψ_i

[0048] Man erkennt, daß der Wert ψ_i für den Buchstaben A Werte um 0,57 einnimmt, für den Buchstaben B Werte um 0,6 und für den Buchstaben C Werte um 0,44. Unabhängig von der tatsächlichen Lage und Größe des Buchstabens kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren somit ein vorher definiertes Zeichen eindeutig erkannt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Zuordnung des Inhalts eines digitalen Bildes in eine Klasse eines Klassifizierungssystems, wobei das Bild durch N Bildpunkte dargestellt wird, wobei ein Bildpunkt in einem vorbestimmten Koordinatensystem an dem Ort (x_i, y_i) liegt und das Bild sich über die Koordinaten $(0,0)$ bis (x_{imax}, y_{imax}) erstreckt und $imax$ die maximale Zahl der Bildpunkte in Richtung der x-Koordinate und $jmax$ die maximale Zahl der Bildpunkte in Richtung der y-Koordinate ist und jedem Bildpunkt mindestens ein numerisches Inhaltsattribut $data [j, i]$ zugeordnet ist, mit den folgenden Schritten:

– Ermitteln mindestens einer Gruppe einer vorbestimmten Anzahl von F numerischen Formmerkmalen ψ_m mit m als Zählindex, wobei ψ_m ein transformierter Ausdruck des Moments $\overline{\rho^m}$ ist und $\overline{\rho^m}$ sich aus

$$\overline{\rho^m} = k_m \overline{R^m}$$

$$\text{mit } k_m = \frac{(m+2)}{2} \left(\frac{\pi}{|A|} \right)^{\frac{m}{2}}$$

$$A = m_{0,0} = \Delta a * \Delta b * \sum_{j=1}^{j \max} \sum_{i=1}^{i \max} data[j,i]$$

$$\overline{R^m} = \frac{v_m}{v_0} = \frac{v_m}{m_{0,0}}$$

$$v_m = \Delta a * \Delta b * \sum_{j=1}^{j \max} \sum_{i=1}^{i \max} (R(j,i))^m data[j,i]$$

$$R(j,i) = \sqrt{((i-0,5) * \Delta a - \bar{x})^2 + ((j-0,5) * \Delta b - \bar{y})^2}$$

$$\bar{x} = \frac{m_{1,0}}{m_{0,0}}$$

$$\bar{y} = \frac{m_{0,1}}{m_{0,0}}$$

$$m_{1,0} = (\Delta a)^2 * \Delta b * \sum_{j=1}^{j \max} \sum_{i=1}^{i \max} (i-0,5) * data[j,i]$$

$$m_{0,1} = (\Delta b)^2 * \Delta a * \sum_{j=1}^{j \max} \sum_{i=1}^{i \max} (j-0,5) * data[j,i]$$

Δa = Breite des Bildpunktes in x-Koordinaten Richtung

Δb = Breite des Bildpunktes in y-Koordinaten Richtung

$data[j, i]$ = Inhaltsattribut des Bildpunkts an der Stelle (y_j, x_i)

m = eine mit der Zählung der Formmerkmale durchlaufende Zahl von 1 bis F ergibt,

– Vergleichen des Werts jedes Formmerkmals der für das Bild bestimmten F numerischen Formmerkmale in der mindestens einen Gruppe mit den in einer Tabelle zu dem jeweiligen Formmerkmal dieser Gruppe abgelegten Wert, wobei in der Tabelle jeder Klasse Werte für die einzelnen numerischen Formmerkmale dieser Gruppe zugeordnet sind,

– Ausgabe der Klasse als Zuordnungsklasse, in die das zu erkennende Bild klassifiziert wurde, bei der die für das Bild bestimmten F numerischen Formmerkmale den in der Tabelle für diese Klasse angegebenen Werten der numerischen Formmerkmale am besten entsprechen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Formmerkmalen ψ_m durch die Transformation

$$\psi_m = \sqrt[m]{\frac{1}{\rho^m}}$$

ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahl F der numerischen Formmerkmalen ψ_m aus mindestens 29 Proben pro Klasse des Klassifizierungssystems ermittelt wird, indem die Zahl F soweit erhöht wird, daß sich die für die Proben einer Klasse ermittelten Werte für die Formmerkmale ψ_m zumindest in ihrem numerischen Wert für mindestens ein Formmerkmale ψ_m von den numerischen Werten dieses Formmerkmals ψ_m der anderen Klassen unterscheiden.

4. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3 zur Zuordnung von Fehlern von Gußteilen zu in einer Industrie-Norm definierten Fehlerklassen, wobei das digitale Bild mittels Radioskopie erzeugt

wird.

5. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3 zur Zuordnung von Fehlern von Schweißnähten zu in einer Industrie-Norm definierten Fehlerklassen, wobei das digitale Bild mittels Radioskopie erzeugt wird.

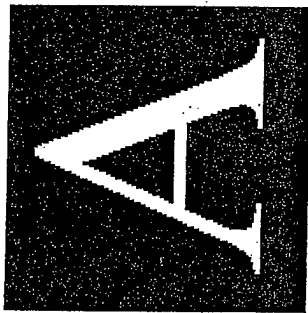
6. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3 zur Erkennung von aus Papier wiedergegebenen Objekten, wie Buchstaben oder Tönen in einer Notendarstellung, wobei das digitale Bild mittels einem Scanner erzeugt wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

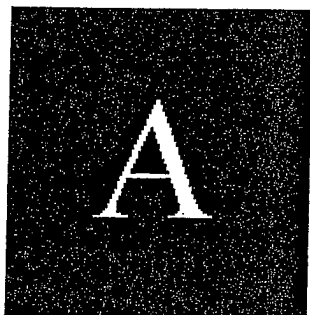
Anhängende Zeichnungen



Buchstabe A: (zentriert, 96, normal)

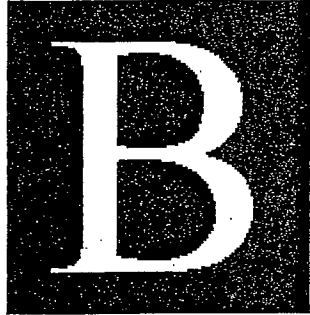


Buchstabe A: (zentriert, 96, 90° gedreht)

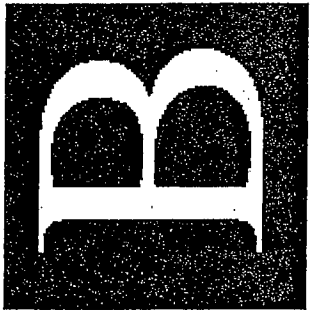


Buchstabe A: (zentriert, 48, normal)

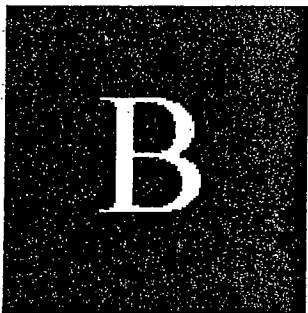
Fig. 1



Buchstabe B: (zentriert, 96, normal)

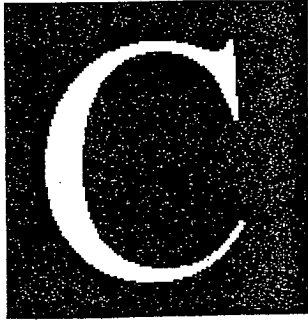


Buchstabe B: (zentriert, 96, 90° gedreht)

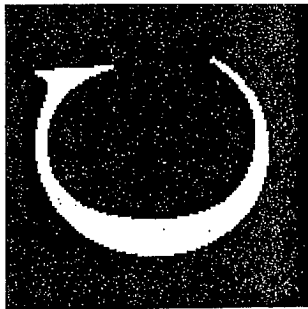


Buchstabe B: (zentriert, 48, normal)

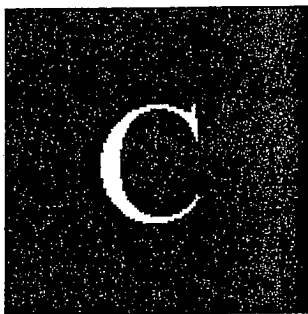
Fig. 2



Buchstabe C: (zentriert, 96, normal)



Buchstabe C: (zentriert, 96, 90° gedreht)



Buchstabe C: (zentriert, 48, normal)

Fig. 3