

(19)



österreichisches
patentamt

(10)

AT 509 022 A2 2011-05-15

(12)

Österreichische Patentanmeldung

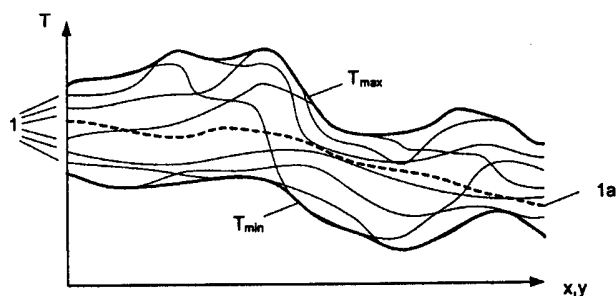
(21) Anmeldenummer: **A 1286/2009**(51) Int. Cl.: **G06T 5/40 (2006.01)**(22) Anmeldetag: **14.08.2009**(43) Veröffentlicht am: **15.05.2011**

(73) Patentinhaber:

AIT AUSTRIAN INSTITUTE OF
TECHNOLOGY GMBH
A-1220 WIEN (AT)

(54) VERFAHREN ZUR QUALITÄTSPRÜFUNG EINES DIGITALBILDS

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Qualitätsprüfung eines Digitalbilds (3) anhand von fehlerfreien Referenz-Digitalbildern (1). Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass für die Referenz-Digitalbilder (1) pixelweise Fehlerschranken vorgegeben werden, ein verfälschtes Digitalbild (2) erstellt wird, das vorgegebene Abweichungen zum Referenz-Digitalbild (1a) aufweist, wobei die maximale Abweichung (E_{full}) der Fehlerschranken vom verfälschten Digitalbild (2) für alle Bildkanäle bzw. Elemente eines Feature-Vektors ($P_1, \dots, P_N$) pixelweise ermittelt werden, und daran anschließend ein Optimierungsverfahren durchgeführt wird, wobei als Parameter des Optimierungsverfahrens die Quantisierung (Q) variabel vorgegeben wird, wobei die maximale Abweichung (E_{cbr}) der mit der im Optimierungsverfahren als Optimierungsparameter gewählten vorgegebenen Quantisierung (Q) quantisierten Fehlerschranken ermittelt werden, wobei dem Optimierungsverfahren als Zielfunktion (F) die Standardabweichung der Differenz zwischen der ersten Fehlerfläche (FF_{full}) und der mit der jeweiligen Quantisierung (Q) ermittelten quantisierten Fehlerfläche (FF_{cbr}) zugrunde gelegt und minimiert wird, und überprüft wird, ob die einzelnen Pixel des Digitalbilds (3) innerhalb der quantisierten Fehlerschranken liegen.

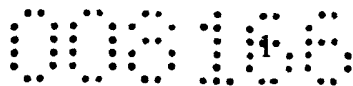


AT 509 022 A2 2011-05-15

Zusammenfassung:

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Qualitätsprüfung eines Digitalbilds (3) anhand von fehlerfreien Referenz-Digitalbildern (1).

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass für die Referenz-Digitalbilder (1) pixelweise Fehlerschranken vorgegeben werden, ein verfälschtes Digitalbild (2) erstellt wird, das vorgegebene Abweichungen zum Referenz-Digitalbild (1a) aufweist, wobei die maximale Abweichung (E_{full}) der Fehlerschranken vom verfälschten Digitalbild (2) für alle Bildkanäle bzw. Elemente eines Feature-Vektors ($P_1, \dots, P_N$) pixelweise ermittelt werden, und daran anschließend ein Optimierungsverfahren durchgeführt wird, wobei als Parameter des Optimierungsverfahrens die Quantisierung (Q) variabel vorgegeben wird, wobei die maximale Abweichung (E_{cbr}) der mit der im Optimierungsverfahren als Optimierungsparameter gewählten vorgegebenen Quantisierung (Q) quantisierten Fehlerschranken ermittelt werden, wobei dem Optimierungsverfahren als Zielfunktion (F) die Standardabweichung der Differenz zwischen der ersten Fehlerfläche (FF_{full}) und der mit der jeweiligen Quantisierung (Q) ermittelten quantisierten Fehlerfläche (FF_{cbr}) zugrunde gelegt und minimiert wird, und überprüft wird, ob die einzelnen Pixel des Digitalbilds (3) innerhalb der quantisierten Fehlerschranken liegen. (Fig. 1)



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Qualitätsprüfung eines Digitalbilds gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

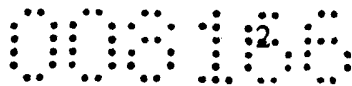
Derartige Verfahren werden bei der Qualitätsprüfung von Druckwerken, insbesondere von Banknoten, verwendet.

Hintergrund der Erfindung ist das Problem, dass bei sehr hochaufgelösten Bildern eine große Anzahl an Prüfdaten erforderlich ist, um die Qualität eines Bildes wirksam überprüfen zu können. Bei einer Vielzahl von Bildern pro Zeiteinheit ist zusätzlich eine höhere Speicherbandbreite erforderlich.

Üblicherweise werden auf dem Gebiet der automatisierten Überprüfung der Qualität von Druckwerken bzw. davon abgeleiteten Digitalbildern Verfahren eingesetzt, die mit einem oder mehreren Referenzbildern operieren. Dabei kann einerseits die maximal erlaubte Abweichung von einzelnen Referenzbildern zur Überprüfung der Qualität herangezogen werden. Andererseits ist es auch möglich, dass eine Überprüfung derart stattfindet, dass pixelweise Vergleiche der Intensitätswerte des zu überprüfenden Bildes mit dem jeweils maximalen bzw. minimalen Wert des entsprechenden Pixels in den Referenzbildern durchgeführt werden. Dazu wird jedem Pixel ein sogenannter Feature-Vektor, der die an der Pixelposition gemessenen Farbwerte und daraus errechnete Größen, z.B. Farbmischungen, Kantenstärke usw., enthält, zugeordnet. Liegt der Wert für ein Element des Feature-Vektors für ein Pixel des zu überprüfenden Bildes zwischen den korrespondierenden Werten der Elemente der Feature-Vektoren der entsprechenden Pixel der Referenzbilder, wird das Pixel als korrekt erachtet. Ein derartiger Test kann für alle Pixel durchgeführt werden, wobei die Qualität dann als ausreichend angesehen wird, wenn der Test für einen vorgegebenen Bruchteil der Pixel positiv verläuft.

Alle diese Tests haben den wesentlichen Nachteil, dass die zur Abspeicherung der Referenzbilder erforderliche Datenmenge sehr groß ist und gerade bei hochaufgelösten Bildern und hohen Datenraten einen erheblichen Ressourcenbedarf, insbesondere hohe Speicherbandbreiten sowie Speicherkapazitäten, bedingt.

Eine Möglichkeit, diese Datenmenge zu reduzieren, liegt darin, dass Kompressionsverfahren eingesetzt werden, um die Datenmengen auf ein vorgegebenes Maß zu reduzieren. Als Kompressionsverfahren bieten sich verlustlose Verfahren (D. A. Huffman, A Method for the Construction of Minimum Redundancy Codes, Proceedings of the IRE, Vol. 40, pp. 1098-1101, 1952), die nach dem Prinzip der Entropiekodierung funktionieren, oder verlustbehaftete Verfahren (Sayood, Khalid: Introduction to Data compression. Third Edition. Morgan Kaufmann Series in Multimedia Information and Systems, San Francisco, 2006), die nach dem Prinzip der Quantisierung funktionieren, an. Der Einsatz eines verlustbehafteten Verfahrens bringt jedoch den Nachteil mit sich, dass typische Druckfehler in den Druckwerken nach einer Kompression aufgrund der



Quantisierung nicht mehr detektiert werden können und fehlerhafte Druckwerke fälschlicherweise als fehlerfrei anerkannt werden. Der Einsatz eines verlustlosen Verfahrens birgt den Nachteil des vom Bildinhalt abhängigen Kompressionsverhältnisses, welches in weiterer Folge zu nicht konstantem Speicherbedarf bzw. einer variablen großen Speicherbandbreite führt.

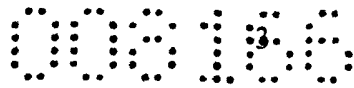
Die Erfindung hat die Aufgabe, die Probleme der eingangs genannten Verfahren zu überwinden und ein Verfahren zur Prüfung von Digitalbildern zur Verfügung zu stellen, das einen geringen und konstanten Ressourcenbedarf bei der Überprüfung der Digitalbilder verglichen mit einem konventionellen Überprüfungsverfahren aufweist und eine höhere Überprüfungssignifikanz aufweist, als dies nach einer Behandlung mit herkömmlichen Kompressionsalgorithmen der Fall ist.

Die Erfindung löst die Aufgabe mit den Merkmalen des Kennzeichens des Anspruchs 1.

Die Erfindung sieht ein Verfahren zur Qualitätsprüfung eines zu prüfenden Digitalbilds anhand einer Anzahl von als fehlerfrei erachteten Referenz-Digitalbildern, aus denen ein Referenz-Digitalbild ausgewählt wird, wobei das zu prüfende Digitalbild und die Referenz-Digitalbilder dieselbe Größe aufweisen, vor.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass für die Referenz-Digitalbilder pixelweise Fehlerschranken für zumindest einen Bildkanal, z.B. für die Bildhelligkeit, Farbe sowie deren Ableitungen nach den Bildrichtungen, vorgegeben werden. Ferner wird ein verfälschtes Digitalbild erstellt, das vorgegebene Abweichungen zum Referenz-Digitalbild aufweist.

Die maximale Abweichung (E_{full}), insbesondere die Überschreitung oder Unterschreitung, der Fehlerschranken vom verfälschten Digitalbild (2) wird für alle Bildkanäle bzw. Elemente des Feature-Vektors ($P_1, \dots, P_N$) pixelweise ermittelt und als erste Fehlerfläche (FF_{full}) bezeichnet. Anschließend wird ein Optimierungsverfahren durchgeführt, wobei als Parameter des Optimierungsverfahrens die Quantisierung nach den einzelnen Bildkanälen variabel vorgegeben wird. Die maximale Abweichung bzw. Überschreitung der mit der im Optimierungsverfahren als Optimierungsparameter gewählten vorgegebenen Quantisierung quantisierten Fehlerschranken werden mittels der verfälschten Referenz-Digitalbilder ermittelt und als quantisierte Fehlerschranken bezeichnet. Dem Optimierungsverfahren wird als Zielfunktion die Standardabweichung der Differenz zwischen der ersten Fehlerfläche und der mit der jeweiligen Quantisierung ermittelten quantisierten Fehlerfläche zugrunde gelegt und diese Zielfunktion wird minimiert. Es wird überprüft, ob die einzelnen Pixel bzw. wie viele der einzelnen Pixel des zu prüfenden Digitalbilds innerhalb der pixelweise vorgegebenen quantisierten Fehlerschranken liegen. Der Anteil der innerhalb der Fehlerschranken liegenden Pixel wird als Qualitätsmaß bewertet.



Erfindungsgemäß besteht der Vorteil, dass die zur Abspeicherung der Fehlerschranken benötigte Datenmenge drastisch reduziert werden kann. Das Verfahren kann an eine Vielzahl von unterschiedlichen Bildern angepasst werden, wobei eine unterschiedliche Anzahl von Bildeigenschaften bzw. Features überprüft werden kann.

Eine besondere Weiterbildung des Verfahrens sieht vor, dass die Referenz-Digitalbilder in eine Anzahl von Teilbereichen unterteilt werden. Jeder Teilbereich der Referenz-Digitalbilder wird mittels eines Klassifikationsverfahrens klassifiziert und dieser Menge wird eine Klassenkennung zugeordnet. Für das Optimierungsverfahren wird die Quantisierung der einzelnen Fehlerschranken der Bildkanäle für sämtliche Klassen von Teilbereichen unterschiedlich festgelegt, wobei die Fehlerschranken der Bildkanäle der Teilbereiche derselben Klasse mit derselben Quantisierung festgelegt werden. Hierdurch kann eine Anpassung des Verfahrens an einzelne unterschiedliche Bildbereiche erzielt werden.

Ein weiterer besonderer Aspekt der Erfindung sieht vor, dass die Unterteilung in rechteckige oder quadratische, nicht überlappende und in ihrer Gesamtheit den gesamten Bildbereich ausfüllende Teilbereiche erfolgt, wobei die Größe dieser Teilbereiche vorzugsweise 8x8 Pixel oder 16x16 Pixel beträgt.

Dies ermöglicht eine besonders rasche und einfache Abarbeitung und eine besonders gute Anpassung des Verfahrens an unterschiedliche Bildbereiche.

Ein weiterer bevorzugter Aspekt der Erfindung sieht vor, dass zur Klassifikation der einzelnen Mengen von Teilbereichen der Sobel-Operator sowohl in X-Richtung als auch in Y-Richtung in den einzelnen Teilbereichen des Digitalbilds angewendet wird und aus den ermittelten Werten der Sobel-Operatoren der Mittelwert des Betrages gebildet und zur Klassifikation herangezogen wird.

Dies ermöglicht eine gute Unterscheidung der einzelnen Bildbereiche und führt zu einer Klassifikation, die eine besonders hohe Kompression der Fehlerflächen ermöglicht.

Ein weiterer bevorzugter Aspekt der Erfindung sieht vor, dass jeweils ein Schwellenwert für die Werte nach der Anwendung der Sobel-Operatoren festgelegt wird. Falls $G_x > Z_x$ und $G_y > Z_y$, wird der jeweilige Teilbereich einer ersten Klasse zugeordnet. Falls $G_x > Z_x$ und $G_y < Z_y$, wird der jeweilige Teilbereich einer zweiten Klasse zugeordnet. Falls $G_x < Z_x$ und $G_y > Z_y$, wird der jeweilige Teilbereich einer dritten Klasse zugeordnet. Falls $G_x < Z_x$ und $G_y < Z_y$, wird der jeweilige Teilbereich einer vierten Klasse zugeordnet.

Dieses Vorgehen verbessert die Klassifikation und ermöglicht eine weitere Kompression der Fehlerflächen.

Gegebenenfalls wird der Teilbereich auch dann dieser Klasse zugeordnet, wenn nur einer der beiden nach Anwendung des Sobel-Operatoren ermittelten Werte einen Schwellenwert übersteigt, jedoch unterhalb eines weiteren Schwellenwerts bleibt.

Dieses Vorgehen verbessert zusätzlich die Klassifikation und ermöglicht eine weitere Kompression der Fehlerschranken.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung sieht vor, dass für mehrfarbige Bilder ein Farbigkeits-Operator gemäß der Formel

$$H = - \sum_{i=0}^{R \max} \sum_{j=0}^{G \max} \sum_{k=0}^{B \max} h_{ijk} \log_2 h_{ijk} \quad \text{mit} \quad \sum_{i=0, \dots, 255} \sum_{j=0, \dots, 255} \sum_{k=0, \dots, 255} h_{ijk} = 1, \quad \text{ausgewertet wird,}$$

wobei h_{ijk} die relative Häufigkeit eines durch das Tripel $(R, G, B) = (i, j, k)$ ausgedrückten Farbwertes innerhalb des Bildes angibt, und $R \max$, $G \max$ und $B \max$ den maximalen Farbwert für die jeweilige Farbe bezeichnen und der Farbwert mit einem Schwellenwert verglichen wird. Dem jeweiligen Teilbereich wird je nach Ergebnis des Schwellenwertvergleichs ein Farbigkeits-Attribut zugeordnet und dieses Farbigkeits-Attribut als Unterscheidungskriterium zur Unterteilung in Klassen herangezogen.

Dieses Vorgehen führt zu einer verbesserten Kompression der Fehlerschranken bei mehrfarbigen Bildern.

Ferner sieht ein weiterer bevorzugter Aspekt der Erfindung vor, dass die Anzahl der zur Darstellung der jeweiligen Schranken zur Verfügung stehenden Bits pro Pixel auf einen vorgegebenen Wert festgelegt wird, wobei diese Vorgabe als Nebenbedingung dem Optimierungsverfahren zugrunde gelegt wird.

Hierdurch kann die Kompressionsrate vorab vorgegeben und abgeschätzt werden.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung sieht vor, dass zum Erzeugen des verfälschten Digitalbilds dem Referenz-Digitalbild lokale Verschiebungen, lokale Farbfehler und lokale Linienfehler aufgeprägt werden.

Dies ermöglicht eine besonders realistische Anpassung der Fehlerflächen an die typischen Fehler einer Druckmaschine und liefert eine verbesserte Auswertung von Bildern von mit einer Druckmaschine gedruckten Druckwerken.

Die Erfindung wird anhand eines Ausführungsbeispiels sowie den Zeichnungsfiguren näher dargestellt.

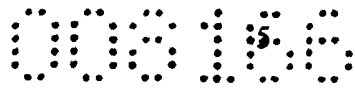


Fig. 1 zeigt einen eindimensionalen Schnitt der Referenz-Digitalbilder eines ausgewählten Referenz-Digitalbilds sowie der oberen Schranke und unteren Schranke der Referenz-Digitalbilder für ein Element des Feature-Vektors.

Fig. 2 zeigt einen eindimensionalen Schnitt des verfälschten Referenz-Digitalbilds sowie der oberen Schranke und unteren Schranke der Referenz-Digitalbilder für ein Element des Feature-Vektors.

Fig. 3 zeigt die Überschreitung der oberen Schranke und Unterschreitung der unteren Schranke der Referenz-Digitalbilder durch das verfälschte Referenz-Digitalbild in einer Schnittdarstellung analog zu Fig. 2.

Fig. 3a zeigt die Bildung einer Fehlerfläche aus den Abweichungen der einzelnen Abweichungen für die Elemente des Feature-Vektors anhand eines eindimensionalen Schnittes.

Fig. 4 zeigt einen eindimensionalen Schnitt des verfälschten Referenz-Digitalbilds sowie der oberen Schranke und unteren Schranke der Referenz-Digitalbilder mit einer feineren Quantisierung für ein Element des Feature-Vektors.

Fig. 5 zeigt die Überschreitung der oberen Schranke und Unterschreitung der unteren Schranke der Referenz-Digitalbilder durch das verfälschte Referenz-Digitalbild in einer Schnittdarstellung analog zu Fig. 3.

Fig. 6 zeigt einen eindimensionalen Schnitt des verfälschten Referenz-Digitalbilds sowie der oberen Schranke und unteren Schranke der Referenz-Digitalbilder mit einer gröberen Quantisierung für ein Element des Feature-Vektors

Fig. 7 zeigt die Überschreitung der oberen Schranke und Unterschreitung der unteren Schranke der Referenz-Digitalbilder durch das verfälschte Referenz-Digitalbild in einer Schnittdarstellung analog zu Fig. 3 und 5.

Fig. 8 zeigt einen eindimensionalen Schnitt des verfälschten Referenz-Digitalbilds sowie der oberen Schranke und unteren Schranke der Referenz-Digitalbilder mit einer variierenden Quantisierung für ein Element des Feature-Vektors.

Fig. 9 zeigt die Überschreitung der oberen Schranke und Unterschreitung der unteren Schranke der Referenz-Digitalbilder durch das verfälschte Referenz-Digitalbild in einer Schnittdarstellung analog zu Fig. 3, 5 und 7.

Fig. 10 zeigt ein Klassifizierungsschema zur Unterteilung der Teilbereiche des Digitalbilds in einzelne Klassen.

Fig. 11 zeigt ein in Teilbereiche unterteiltes Digitalbild.

Fig. 12 zeigt die Klassifikation eines Digitalbildes.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird zur Überprüfung einer Vielzahl von zu überprüfenden Digitalbildern 3 unter Einsatz einer Vielzahl von Referenz-Digitalbildern 1

eingesetzt. Dabei zeigen die Referenz-Digitalbilder 1 Aufnahmen mehrerer Referenz-Objekte, beispielsweise von Druckwerken, insbesondere Banknoten einer bestimmten Denomination. Die zu überprüfenden Digitalbilder 3 werden von jeweils einem zu überprüfenden Objekt aufgenommen. Jedes zu überprüfende Objekt wird genau einmal aufgenommen und von ihm ein Digitalbild 3 erstellt. Üblicherweise wird eine derartige Aufnahme automatisiert, beispielsweise mit einem Transportband und einer Kamera, durchgeführt, wobei sich die zu überprüfenden Objekte auf dem Transportband in den Aufnahmebereich der Kamera bewegen und die Kamera die zu überprüfenden Digitalbilder erstellt.

In diesem Zusammenhang wird der Begriff des Feature-Vektors näher erläutert. Der Feature-Vektor ist eine auf jedem Pixel definierte Größe mit einer Anzahl von Pixelwerten, wobei sich jedes Element des Feature-Vektors aus einer Anzahl von Intensitätswerten bzw. davon abgeleiteten Werten ergibt.

Fig. 1 zeigt die Schnitte der Referenz-Digitalbilder 1 sowie den Schnitt von im Feature-Vektor befindlichen aus den Referenz-Digitalbildern abgeleiteten Größen, die vor der Durchführung des eigentlichen Qualitätsprüfverfahrens ermittelt werden. Diese Schritte können für die Referenz-Digitalbilder 1 durchgeführt werden und müssen nicht bei der Qualitätsprüfung jedes einzelnen zu überprüfenden Digitalbilds 3 wiederholt werden. Das im Folgenden beschriebene Verfahren kann für alle der dargestellten Kanäle, insbesondere Farbkanäle oder Bildkanäle oder überhaupt für alle Elemente des Feature-Vektors, der Referenz-Digitalbilder 1 durchgeführt werden.

Die Referenz-Digitalbilder 1 weisen alle dieselben Größe auf. Beispielsweise handelt es sich dabei um Farbbilder mit einer Auflösung von 2560x1024 Pixeln und einer Farbtiefe von 8 Bit in jedem Farbkanal. Der hier dargestellte Schnitt wird aus dem Gesamtbild nur exemplarisch herausgegriffen und dient lediglich der Einfachheit und zur Vermeidung von dreidimensionalen Darstellungen. Bei dem Schnitt handelt es sich dabei um eine beliebige Zeile oder Spalte des Digitalbilds. Aus der Vielzahl von etwa 10 bis 100 Referenz-Digitalbildern 1 wird ein Referenz-Digitalbild 1a herausgenommen und mit Fehlern beaufschlagt, wie noch beschrieben wird. Weiters werden pixelweise und elementweise das Minimum und das Maximum der Werte des Feature-Vektors der Referenz-Digitalbilder ermittelt. Die so ermittelten Fehlerschranken werden mit T_{min} , T_{max} bezeichnet und abgespeichert.

Fig. 2 zeigt im Schnitt die beiden Fehlerschranken T_{min} , T_{max} sowie ein aus dem Referenz-Digitalbild 1a abgeleitetes verfälschtes Digitalbild 2. Das verfälschte Digitalbild 2 wird erstellt, indem dem Referenz-Digitalbild 1a lokale Verschiebungen, lokale Farbfehler und/oder lokale Linienfehler aufgeprägt werden. Fig. 2 zeigt, dass die aufgeprägten Fehler dazu führen, dass das verfälschte Digitalbild teilweise die oberen und unteren Fehlerschranken T_{min} , T_{max} übersteigt. Die Überschreitungen, um welche das verfälschte

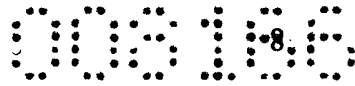
Digitalbild 2 die obere Fehlerschranke $T_{\max}$ übersteigt, und die Unterschreitungen, um welche das verfälschte Digitalbild 2 die untere Schranke unterschreitet, sind in Fig. 3 dargestellt. Eine Über- bzw. Unterschreitung hat den Wert null, wenn sich die lokale Intensität des verfälschten Digitalbilds 2 unterhalb der oberen Fehlerschranke und oberhalb der unteren Fehlerschranke befindet. Übersteigt jedoch die lokale Intensität des verfälschten Digitalbilds 2 die obere Fehlerschranke, beträgt der Wert dieser Überschreitung den Betrag der Differenz zwischen der lokalen Intensität des verfälschten Digitalbilds 2 und der oberen Fehlerschranke. Analog zur Überschreitung der oberen Fehlerschranke $T_{\max}$ verhält sich auch eine Unterschreitung der unteren Fehlerschranke $T_{\min}$. Zusammengefasst werden die Überschreitung bzw. die Unterschreitung als Abweichung E bezeichnet. Die aus den einzelnen Abweichungen E für die Elemente des Feature-Vektors eines Digitalbilds zusammengesetzte Kurve, welche sich für jedes Pixel aus der Maximumbildung über alle Abweichungen E für alle Elemente des Feature-Vektors ergibt, ist in Fig. 3a dargestellt und wird als Fehlerfläche FF bezeichnet.

Zur Ersparnis von Ressourcen ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die einzelnen Fehlerschranken $T_{\min}$ und $T_{\max}$ nicht mit voller Auflösung abgespeichert werden, sondern dass die einzelnen Fehlerschranken $T_{\min}$ und $T_{\max}$ bzw. einzelne Teilbereiche 11 dieser Fehlerschranken mit einer vorgegebenen verringerten numerischen Auflösung, die im folgenden auch als Quantisierung Q bezeichnet wird, abgespeichert werden.

Die Fig. 4 und 5 zeigen eine im Vergleich zur Ausgangsquantisierung der Fig. 2 und der Fig. 3 vergrößerte Darstellung der oberen und unteren Schranke $T_{\max}$, $T_{\min}$ sowie die daraus resultierende Abweichung E . Eine weitere Vergrößerung der Schranken führt zu einer Abweichung E und Schranken wie in der Fig. 6 bzw. der Fig. 7 dargestellt. Während die Abweichung E der Fig. 3 und die Abweichung E_{q1} der Fig. 5 noch annähernd dieselbe Gestalt aufweisen, hat die Abweichung E_{q2} der Fig. 7 eine davon deutlich abweichende Gestalt. Die Unterschiede in der Gestalt der Fehlerflächen wird üblicherweise mittels der Standardabweichung $s = || FF_{\text{full}} - FF_q ||$ ermittelt. Prinzipiell kann anstelle der Standardabweichung s jedes beliebige Abstandsmaß zur Bestimmung des Abstands zwischen zwei Fehlerflächen FF_{full} , FF_q dienen.

Die Quantisierung Q kann grundsätzlich beliebig für die einzelnen Elemente des Feature-Vektors bzw. für deren Teilbereiche 11 gewählt werden. Auch kann vorgesehen werden, dass innerhalb eines Bildkanals die Quantisierung Q für die obere Schranke $T_{\max}$ unterschiedlich von der für die untere Schranke $T_{\min}$ gewählten Quantisierung Q ist.

Ziel der folgenden Optimierung ist es, die Gestalt der Fehlerflächen FF_q bei Quantisierung gegenüber der Fehlerfläche FF_{full} bei voller Auflösung der Schranken nicht wesentlich bzw. möglichst wenig zu verändern.



Um eine optimale Quantisierung der einzelnen Bildkanäle bzw. deren oberer und unterer Schranken T_{min} , T_{max} zu erreichen, wird eine vorgegebene zu erreichende Datenrate pro Pixel festgelegt und die einzelnen Quantisierungen werden als Optimierungsparameter einem Optimierungsverfahren übergeben. Als Zielgröße des Optimierungsverfahrens wird die bereits erwähnte Standardabweichung s verwendet, die ein Maß für die Abweichung der Gestalt der beiden verglichenen Fehlerfunktionen F_{full} , F_{q} darstellt, und deren Wert möglichst gering gehalten werden soll. Als Optimierungsverfahren kann beispielsweise eine lokale Suche nach dem hillclimbing Verfahren (Russell, Stuart J.; Norvig, Peter, Artificial Intelligence: A Modern Approach. Second Edition. Prentice-Hall, 2003) verwendet werden.

Als Nebenbedingung kann entweder festgelegt werden, wie groß der pro Pixel zur Verfügung stehende Speicherplatz zur Abspeicherung aller Fehlerschranken T_{min} , T_{max} ist. Alternativ kann auch der für die Fehlerflächen des gesamten Bilds benötigte Speicherplatz als Nebenbedingung des Optimierungsverfahrens festgelegt werden.

Hier endet das vor der eigentlichen Überprüfung der Digitalbilder 3 durchzuführende Vorverfahren. Im Folgenden wird die Qualitätsprüfung für ein einzelnes Digitalbild dargestellt. Für jedes einzelne zu überprüfende Digitalbild wird im Zuge der Qualitätsprüfung pixelweise und für die einzelnen Elemente des Feature-Vektors untersucht, ob sich der jeweilige Intensitätswert innerhalb der vorgegebenen Fehlerschranken T_{min} , T_{max} befindet. Ein Pixel wird dann als fehlerfrei erachtet, wenn seine Werte in sämtlichen Einträgen seines Feature-Vektors innerhalb der Schranken liegen. Ist z.B. ein bestimmter Prozentsatz, beispielsweise 98%, der Pixel als fehlerfrei erachtet, oder treten Fehler z.B. nicht räumlich gehäuft auf, wird das gesamte Digitalbild 3 als fehlerfrei erachtet und das Objekt, von dem das Digitalbild 3 stammt, als fehlerfrei erachtet.

Eine bevorzugte Variante der Erfindung sieht ein Verfahren vor, bei dem unterschiedliche Teilbereiche 11 mit unterschiedlichen Quantisierungen Q versehen werden. Eine Unterteilung des Digitalbilds 3 bzw. der Referenz-Digitalbilder 1 ist in Fig. 11 dargestellt. Dabei kann für jeden der Teilbereiche 11 eine unterschiedliche Quantisierung vorgenommen werden. Ein derartiges Optimierungsverfahren ist jedoch aufgrund des großen Raums der Optimierungsparameter nicht unproblematisch zu führen. Aus diesem Grund werden die einzelnen Teilbereiche 11 zu Klassen S , K_x , K_y , U zusammengefasst und für die Teilbereiche 11 einzelner Klassen wird dieselbe Quantifizierung Q vorgenommen. Durch diese Einschränkung wird eine Reduktion des Parameterraums vorgegeben, der die Führung des Optimierungsverfahrens deutlich vereinfacht. Vorteilhafterweise sind die einzelnen Teilbereiche 11 quadratisch und umfassen insbesondere ein Feld von 16×16 bzw. 32×32 Pixel.

Eine Möglichkeit zur Klassifikation der einzelnen Teilbereiche 11 in Klassen bietet das im Folgenden dargestellte Verfahren, das eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung darstellt. Dabei wird in jedem Teilbereich 11 der Sobel-Operator S_x , S_y in X-Richtung und Y-Richtung auf ein Intensitätsbild, welche für jedes Pixel nach der Formel $I=0.3R+0.59G+0.11B$ berechnet wird, angewandt und die resultierenden Werte werden ermittelt. Liegen mehrere Farbkanäle vor, kann eine Gewichtung der Kanäle nach Anwendung der Sobel-Operatoren erfolgen. Formeln für die Sobel-Operatoren sind durch

$$S_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad S_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

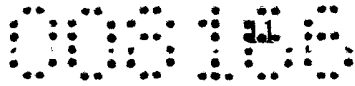
gegeben. Die für einen Teilbereich 11 mittels Anwendung der Sobel-Operatoren S_x , S_y ermittelten Features $G_x = |S_x * I|$ und $G_y = |S_y * I|$, wobei $*$ die diskrete Faltung und I ein Intensitätsbild ist, werden mit Schwellenwerten Z_x , Z_y verglichen und für die resultierenden Fälle wird eine Klassenzuordnung vorgenommen. Dies geschieht insbesondere dadurch, dass falls $G_x > Z_x$ und $G_y > Z_y$ der jeweilige Teilbereich 11 einer ersten Klasse S zugeordnet wird, falls $G_x > Z_x$ und $G_y < Z_y$ der jeweilige Teilbereich 11 einer zweiten Klasse K_x zugeordnet wird, falls $G_x < Z_x$ und $G_y > Z_y$ der jeweilige Teilbereich 11 einer dritten Klasse K_y zugeordnet wird, und falls $G_x < Z_x$ und $G_y < Z_y$ der jeweilige Teilbereich 11 einer vierten Klasse U zugeordnet wird. Eine graphische Darstellung dieser Klasseneinteilung kann der Fig. 10 entnommen werden. Das in Fig. 10 dargestellte Klassifikationsschema sieht dabei insbesondere vor, dass der Teilbereich 11 auch dann dieser Klasse zugeordnet wird, wenn nur eines der beiden mit den Sobel-Operatoren gebildeten Features G_x , G_y einen Schwellenwert Z_x , Z_y übersteigt, jedoch unterhalb eines weiteren Schwellenwerts Z'_x bzw. Z'_y bleibt. Fig. 12 zeigt eine Einteilung eines Digitalbildes in die vier Klassen U , K_x , K_y und S . Alternativ kann bei mehrfarbigen bzw. mehrkanaligen Digitalbildern auch ein Farbigkeits-Operator

$$H = - \sum_{i=0}^{R \max} \sum_{j=0}^{G \max} \sum_{k=0}^{B \max} h_{ijk} \log_2 h_{ijk}$$

mit $\sum_{i=0, \dots, 255} \sum_{j=0, \dots, 255} \sum_{k=0, \dots, 255} h_{ijk} = 1$, wobei h_{ijk} die relative Häufigkeit eines durch das Tripel $(R, G, B) = (i, j, k)$ ausgedrückten Farbwertes innerhalb des Bildes angibt. Dieser Operator wird in den einzelnen Teilbereichen 11 ausgewertet und mit einem Schwellenwert verglichen. Dadurch wird eine Unterteilung der Teilbereiche 11 in farbige und nicht farbige Teilbereiche erzielt. Diese Unterscheidung wird dann als zusätzliches Merkmal neben den durch Anwendung der Sobel-Operatoren vorgegebenen Kriterien oder aber auch als einziges Klassifikationskriterium herangezogen.

003195

In den beiden Fig. 7 und 8 ist eine klassifikationsabhängige Quantisierung der Fehlerschranken für einen einzigen Kanal dargestellt. Die beiden Teilbereiche 11 sind dabei jeweils unterschiedlichen Klassen zugeordnet, die für die Fehlerschranken T_{min} , T_{max} jeweils unterschiedliche Quantisierungen Q vorschreiben. Trotz des weitaus geringeren Speicherplatzbedarfs für die Fehlerschranken T_{min} , T_{max} im Vergleich zur Fig. 2 bzw. 4 ist die Abweichung in Fig. 9 sehr ähnlich den der Fig. 3 bzw. 5, was in weiterer Folge zu ebenfalls sehr ähnlichen Fehlerflächen führt.



Patentansprüche:

1. Verfahren zur Qualitätsprüfung eines zu prüfenden Digitalbilds (3) anhand einer Anzahl von als fehlerfrei erachteten Referenz-Digitalbildern (1) aus denen ein Referenz-Digitalbild (1a) ausgewählt wird, wobei das zu prüfende Digitalbild (3) und die Referenz-Digitalbilder (1) dieselbe Größe aufweisen, dadurch gekennzeichnet, dass
 - a) für die Referenz-Digitalbilder (1) pixelweise Fehlerschranken für zumindest einen Bildkanal, z.B. für die Bildhelligkeit, Farbe, etc. sowie deren Ableitungen nach den Bildrichtungen (x, y), vorgegeben werden,
 - b) ein verfälschtes Digitalbild (2) erstellt wird, das vorgegebene Abweichungen zum Referenz-Digitalbild (1a) aufweist,
 - c) die maximale Abweichung (E_{full}), insbesondere die Überschreitung oder Unterschreitung, der Fehlerschranken vom verfälschten Digitalbild (2) für alle Bildkanäle und/oder Elemente eines Feature-Vektors ($P_1, \dots, P_N$) pixelweise ermittelt und als erste Fehlerfläche (FF_{full}) bezeichnet wird,
 - d) daran anschließend ein Optimierungsverfahren durchgeführt wird,
 - wobei als Parameter des Optimierungsverfahrens die Quantisierung (Q) nach den einzelnen Bildkanälen und/oder Elemente eines Feature-Vektors ($P_1, \dots, P_N$) variabel vorgegeben wird,
 - wobei die maximale Abweichung (E_{abr}) und/oder Überschreitung der mit der im Optimierungsverfahren als Optimierungsparameter gewählten vorgegebenen Quantisierung (Q) quantisierten Fehlerschranken durch die verfälschten Referenz-Digitalbilder (2) ermittelt und als quantisierte Fehlerschranken ($Tmin_{abr}, Tmax_{abr}$) bezeichnet werden,
 - wobei dem Optimierungsverfahren als Zielfunktion (F) die Standardabweichung der Differenz zwischen der ersten Fehlerfläche (FF_{full}) und der mit der jeweiligen Quantisierung (Q) ermittelten quantisierten Fehlerfläche (FF_{abr}) zugrunde gelegt und minimiert wird, und
 - e) überprüft wird, ob die einzelnen Pixel bzw. wie viele der einzelnen Pixel des zu prüfenden Digitalbilds (3) innerhalb der pixelweise vorgegebenen quantisierten Fehlerschranken liegen und der Anteil der innerhalb der Fehlerschranken liegenden Pixel als Qualitätsmaß bewertet wird.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
 - a) die Referenz-Digitalbilder (1) in eine Anzahl von Teilbereichen (11) unterteilt werden,
 - b) jeder Teilbereich (11) der Referenz-Digitalbilder (1) mittels eines Klassifikationsverfahrens klassifiziert wird und dieser Menge eine Klassenkennung zugeordnet wird, und

c) für das Optimierungsverfahren die Quantisierung (Q) der einzelnen Schranken der Bildkanäle und/oder Elemente eines Feature-Vektors ($P_1, \dots, P_N$) für sämtliche Klassen von Teilbereichen (11) unterschiedlich festgelegt wird, wobei die Schranken der Bildkanäle und/oder Elemente eines Feature-Vektors ($P_1, \dots, P_N$) der Teilbereiche (11) derselben Klasse mit derselben Quantisierung (Q) festgelegt werden.

3. Verfahren gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Unterteilung in rechteckige oder quadratische nicht überlappende und in ihrer Gesamtheit den gesamten Bildbereich ausfüllende Teilbereiche (11) erfolgt, wobei die Größe dieser Teilbereiche (11) vorzugsweise 8x8 Pixel oder 16x16 Pixel beträgt.

4. Verfahren gemäß Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass zur Klassifikation der einzelnen Mengen (12) von Teilbereichen (11) der Sobel-Operator (S_x, S_y) sowohl in X-Richtung als auch in Y-Richtung in den einzelnen Teilbereichen (11) des Digitalbilds herangezogen wird und aus den ermittelten Werten des ausgewerteten Sobel-Operatoren der Mittelwert (G_x, G_y) des Betrages gebildet und zur Klassifikation herangezogen wird.

5. Verfahren gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils ein Schwellenwert (Z_x, Z_y) für die aus der Anwendung der Sobel-Operatoren (S_x, S_y) resultierenden Werte (G_x, G_y) festgelegt wird, wobei

a) falls $G_x > Z_x$ und $G_y > Z_y$ der jeweilige Teilbereich (11) einer ersten Klasse (S) zugeordnet wird,

b) falls $G_x > Z_x$ und $G_y < Z_y$ der jeweilige Teilbereich (11) einer zweiten Klasse (Kx) zugeordnet wird,

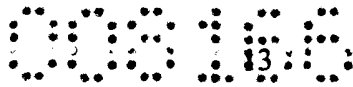
c) falls $G_x < Z_x$ und $G_y > Z_y$ der jeweilige Teilbereich (11) einer dritten Klasse (Ky) zugeordnet wird, und

d) falls $G_x < Z_x$ und $G_y < Z_y$ der jeweilige Teilbereich (11) einer vierten Klasse (U) zugeordnet wird,

- wobei gegebenenfalls der Teilbereich (11) auch dann dieser Klasse zugeordnet wird, wenn nur der Wert (G_x, G_y) aus der Anwendung eines der beiden Sobel-Operatoren (S_x, S_y) einen Schwellenwert (Z_x, Z_y) übersteigt, jedoch unterhalb eines weiteren Schwellenwerts (Z'_x) bzw. (Z'_y) bleibt.

6. Verfahren gemäß Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass für mehrfarbige Bilder ein Farbigkeits-Operator gemäß der Formel

$$H = - \sum_{i=0}^{R \max} \sum_{j=0}^{G \max} \sum_{k=0}^{B \max} h_{ijk} \log_2 h_{ijk} \quad \text{mit} \quad \sum_{i=0, \dots, 255} \sum_{j=0, \dots, 255} \sum_{k=0, \dots, 255} h_{ijk} = 1,$$



ausgewertet wird, wobei h_{ijk} die relative Häufigkeit eines durch das Tripel $(R, G, B) = (i, j, k)$ ausgedrückten Farbwertes innerhalb des Bildes und R_{max} , G_{max} und B_{max} den maximalen Farbwert für die jeweilige Farbe bezeichnen, und das Resultat des Farbigkeits-Operators mit einem Schwellenwert verglichen wird, wobei dem jeweiligen Teilbereich (11) je nach Ergebnis des Schwellenwertvergleichs ein Farbigkeits-Attribut (C) zugeordnet wird und dieses Farbigkeits-Attribut (C) als Unterscheidungskriterium zur Unterteilung in Klassen herangezogen wird.

7. Verfahren gemäß Anspruch einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der zur Darstellung der jeweiligen Schranken zur Verfügung stehenden Bits pro Pixel auf einen vorgegebenen Wert festgelegt wird, wobei diese Vorgabe als Nebenbedingung dem Optimierungsverfahren zugrunde gelegt wird.

8. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zum Erzeugen des verfälschten Digitalbilds (2) dem Referenz-Digitalbild (1a) lokale Verschiebungen, lokale Farbfehler und lokale Linienfehler aufgeprägt werden.

9. Datenträger auf dem ein Programm zur Durchführung eines Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8 abgespeichert ist.

10. Computerprogramm mit Programmcode-Mitteln eingerichtet zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wenn das Programm auf einem Computer ausgeführt wird,

11. Computerprogramm nach Anspruch 10, gespeichert auf einem Datenträger.

12. Datenträger mit elektronisch auslesbaren Steuersignalen, die so mit einem programmierbaren Computersystem zusammenwirken können, dass ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 ausgeführt wird.

13. Computerprogrammprodukt mit Programmcode zur Ausführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wenn das Programm auf einem Computer ausgeführt wird.

Wien, am 14. August 2009

008166

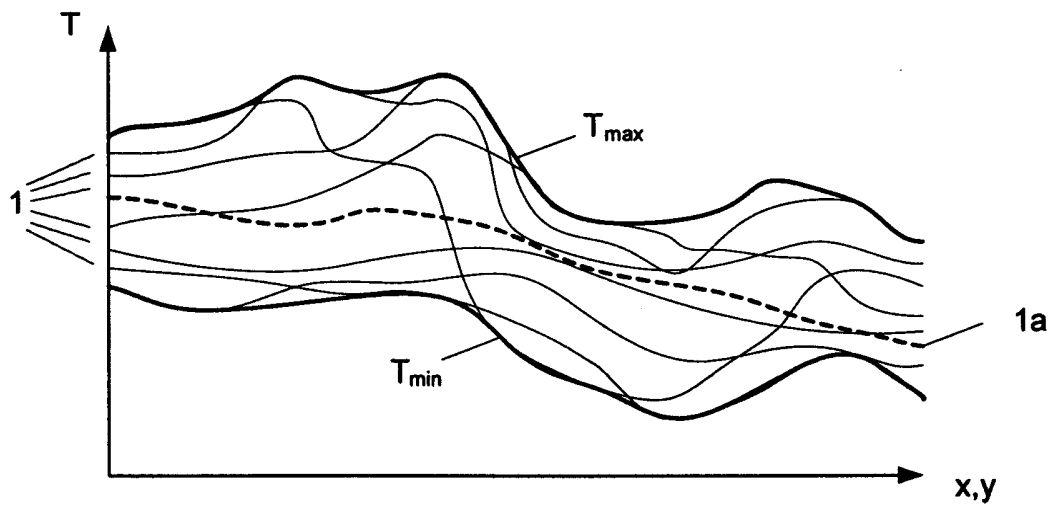


Fig. 1

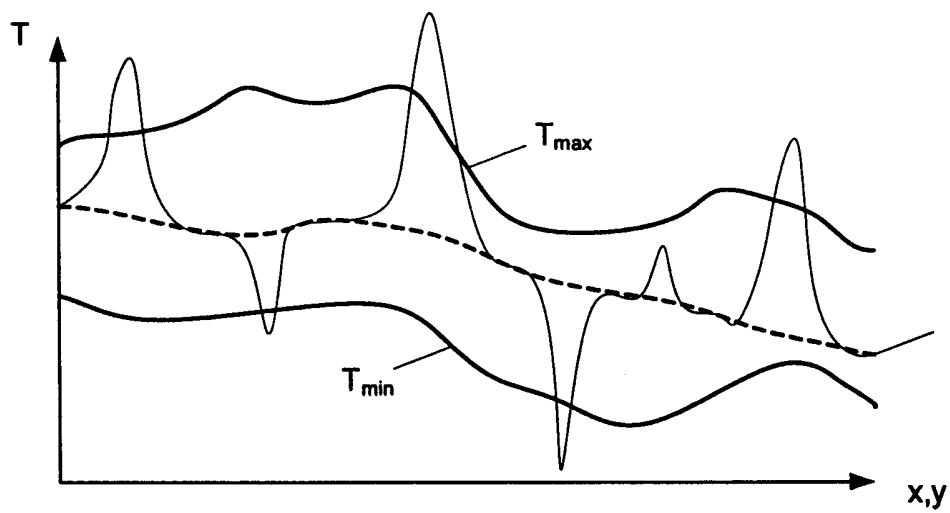


Fig. 2

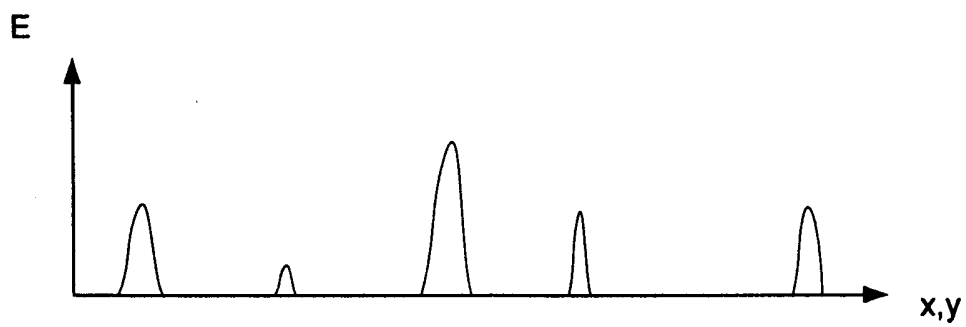


Fig. 3

008165

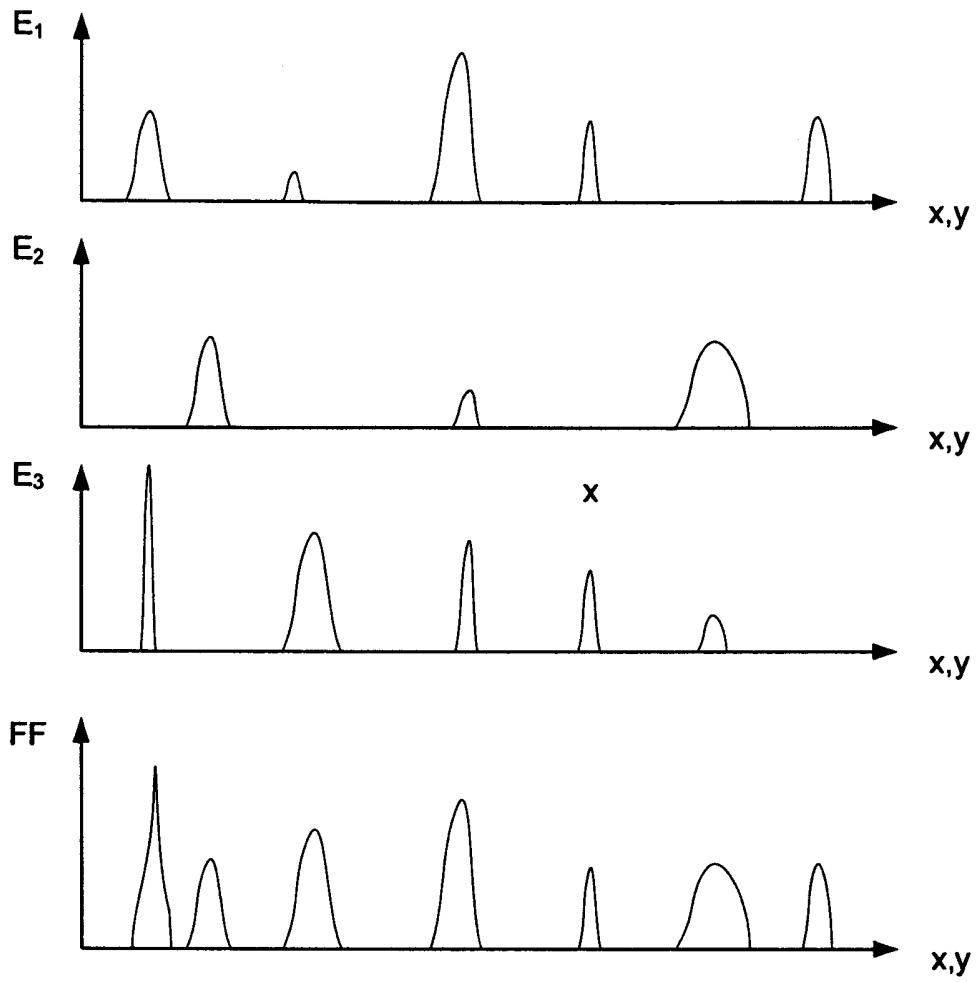


Fig. 3a

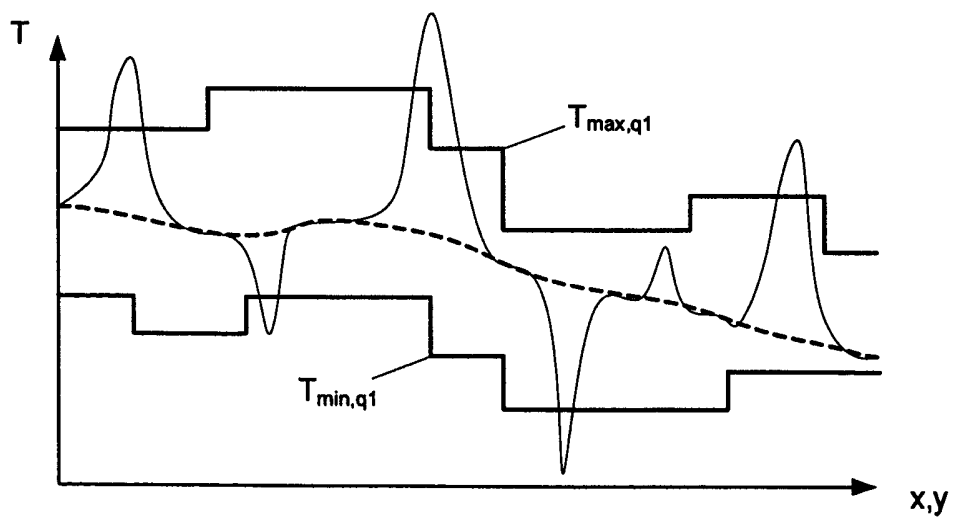


Fig. 4

008188

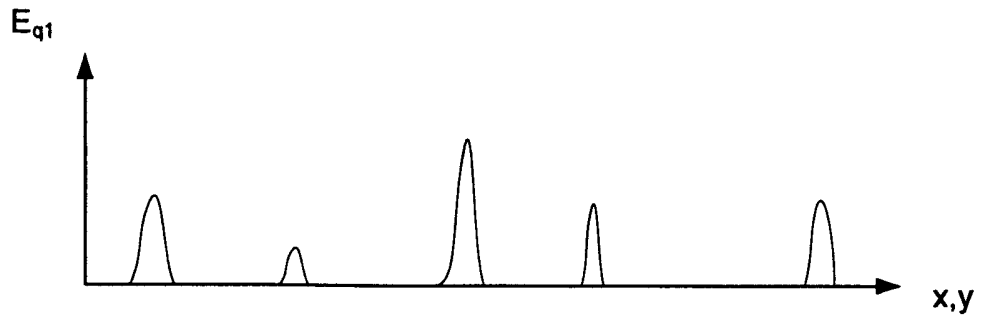


Fig. 5

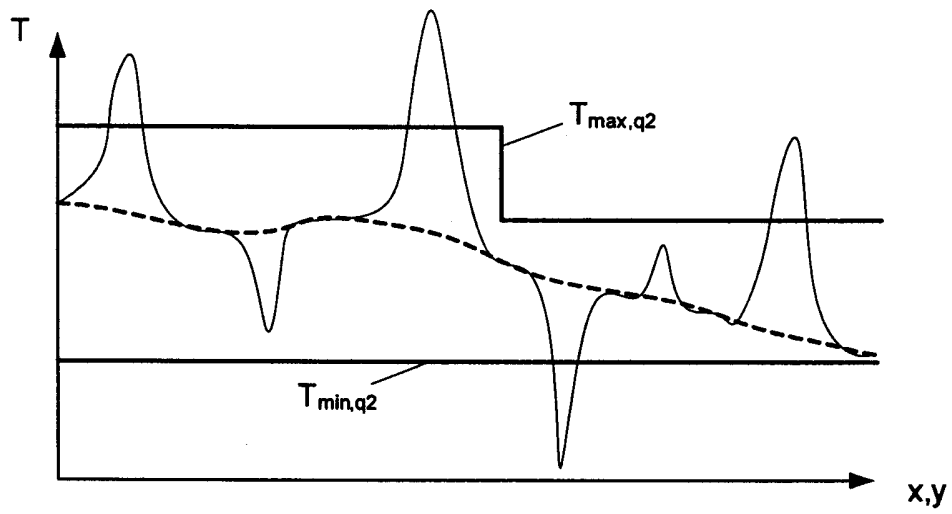


Fig. 6

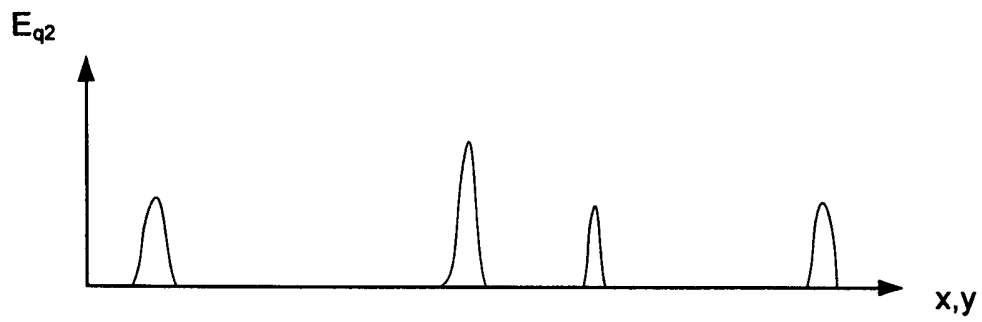


Fig. 7

009188

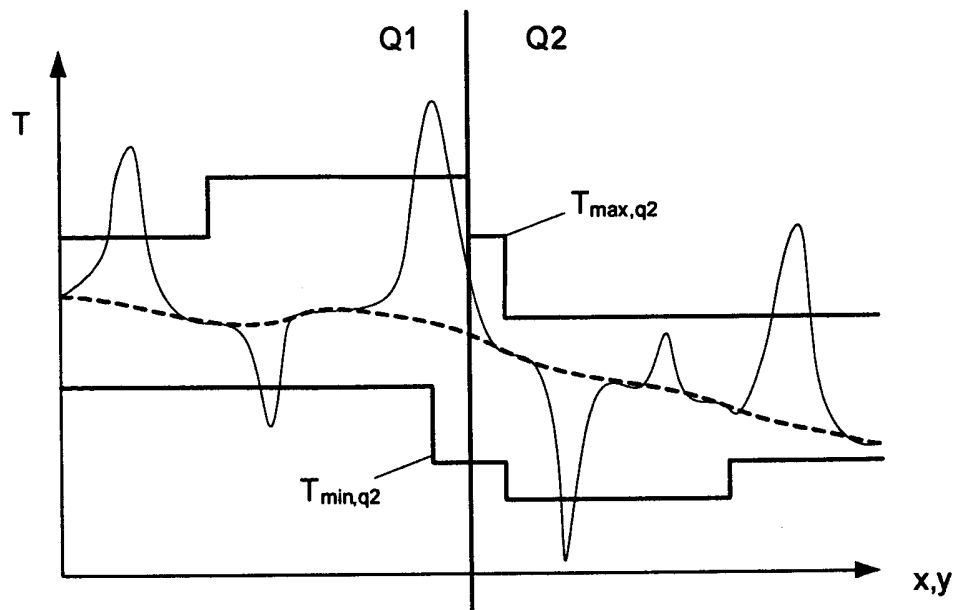


Fig. 8

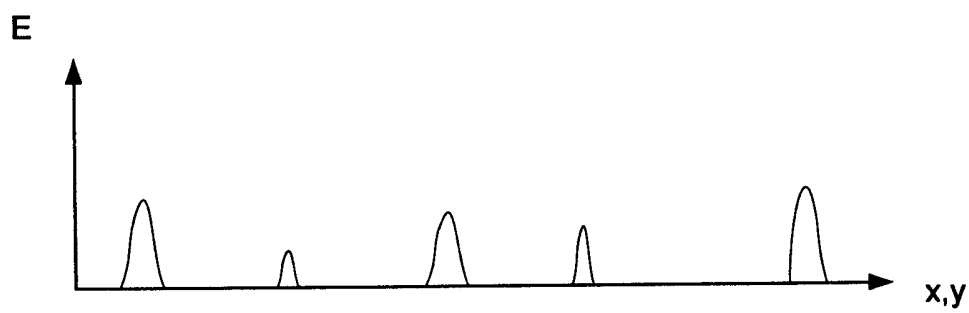


Fig. 9

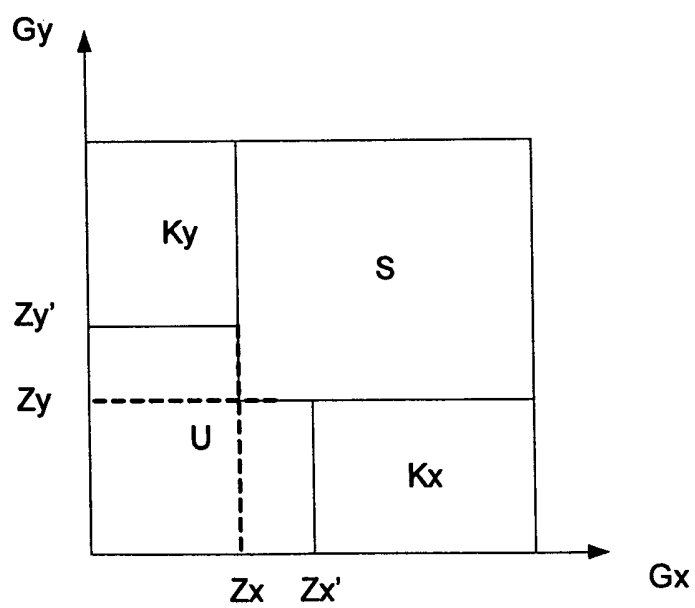


Fig. 10

000100

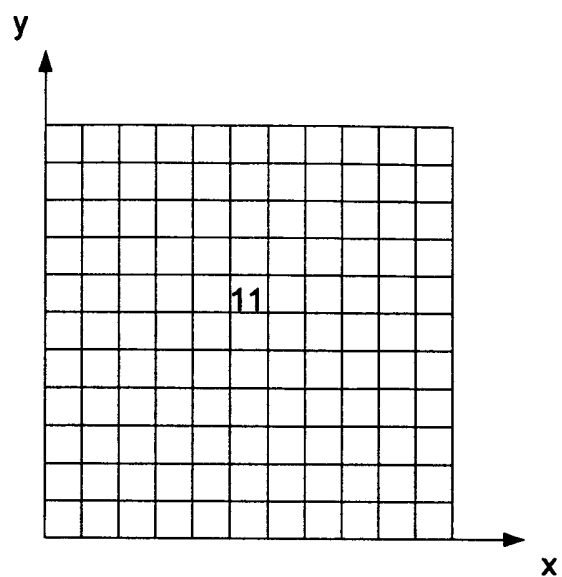


Fig. 11

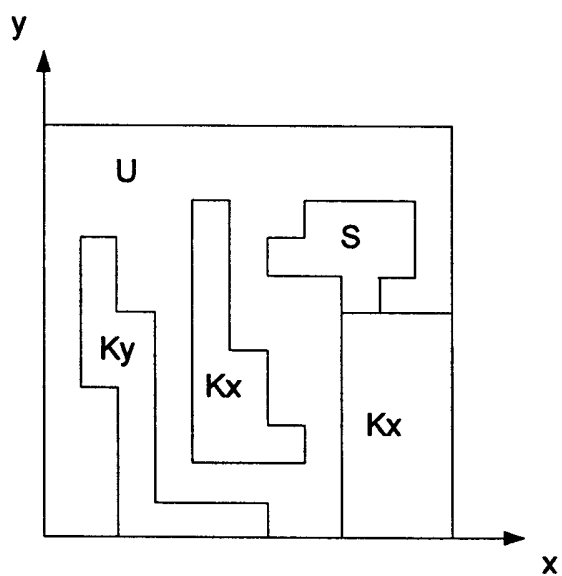


Fig. 12