



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 006 853 A1** 2004.08.26

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 006 853.4**

(22) Anmeldetag: **12.02.2004**

(43) Offenlegungstag: **26.08.2004**

(51) Int Cl.7: **G06T 5/50**

(30) Unionspriorität:
03 01797 14.02.2003 FR

(71) Anmelder:
**GE Medical Systems Global Technology
 Company, LLC, Waukesha, Wis., US**

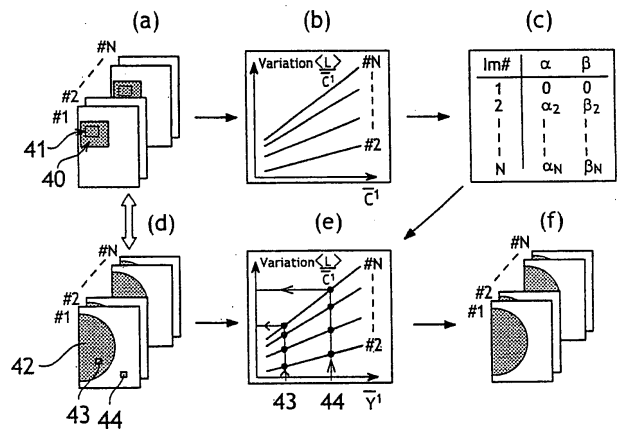
(74) Vertreter:
**Patentanwälte Reichel und Reichel, 60322
 Frankfurt**

(72) Erfinder:
**Jeunehomme, Fanny, Versailles, FR; Muller,
 Serge, Gyancourt, FR; Iordache, Razvan, Paris,
 FR**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Gerät zum Kalibrieren und Korrigieren von Graustufen auf Bildern**

(57) Zusammenfassung: Verfahren und Gerät zum Kalibrieren eines Geräts, das eine Folge von Röntgenbildern erfaßt, und zum Korrigieren der Bilder eines Untersuchungsobjekts, wobei für jedes Bild einer Folge, die von dem Gerät erfaßt wird, und für eine vorgegebene Erfassungsfrequenz der Folge das Gerät kalibriert wird, indem der Wert der Variation eines Durchschnitts der Graustufen in zumindest einem Interessenbereich des gegenwärtigen Bildes von zumindest einer Kalibriereinrichtung bestimmt wird, wobei die Variation relativ zu der durchschnittlichen Graustufe des ersten Bilds der Folge in jedem Interessenbereich bestimmt wird. Die Bestimmung der Variation wird für eine Reihe von Bildfolgen, die unter Verwendung von Kalibriereinrichtungen erfaßt wurden, wiederholt, was zu ersten Bildern von durchschnittlichen Graustufen führt, die sich von einer Folge zur anderen unterscheiden. Jedes Bild einer Bildfolge des Untersuchungsobjekts, das Beobachtungsbereiche mit unterschiedlichen Graustufen hat, wird korrigiert, indem die Variation einer Graustufe relativ zu dem ersten Bild des Objekts von dem gegenwärtigen Bild abgezogen wird, wobei das Abziehen eine Funktion der Graustufe ist, die für jeden Beobachtungsbereich betrachtet wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und ein Gerät zum Kalibrieren und Korrigieren von Graustufen auf Bildern. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung das Erfassen einer Folge von Röntgenbildern und korrigierte Bilder eines Untersuchungsobjekts. Genauer betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren und ein Gerät zum Erfassen einer Folge von Röntgenbildern und zum Kalibrieren und Korrigieren von Bildern des Untersuchungsobjekts durch Abziehen der falschen Variation einer Graustufe für die Bilder der gleichen Folge von jedem Bild der Folge. Die vorliegende Erfindung kann insbesondere im medizinischen Bereich wie etwa der Mammographie und dem Erkennen von Krebstumoren eingesetzt werden.

Stand der Technik

[0002] Ein bekanntes Röntgengerät umfaßt eine Konsole, eine Strahlungseinrichtung, um für einen Röntgenstrahl in Richtung einer Erfassungseinrichtung zu sorgen. Die Erfassungseinrichtung empfängt die Strahlung, nachdem diese ein Untersuchungsobjekt durchquert hat, das sich in einem Beobachtungsraum befindet, der sich in dem Strahlverlauf zwischen der Strahlungseinrichtung und der Erfassungseinrichtung befindet. Das bekannte Gerät weist auch Einrichtungen zur Verarbeitung einer Folge von Bildern eines Untersuchungsobjekts auf, die von der Erfassungseinrichtung zugeschickt werden.

[0003] Die unterschiedliche Absorption der Strahlung durch unterschiedliche Teile des Untersuchungsobjekts ermöglicht es, Information über die Zusammensetzung des Objekts zu erhalten. Das Bild, das von der Erfassungseinrichtung erzeugt wird, weist unterschiedliche Graustufen auf, aus denen Information abgeleitet werden kann. Wenn das Untersuchungsobjekt beispielsweise ein Teil eines menschlichen Körpers ist, werden die Knochen auf dem Bild, das von der Erfassungseinrichtung erzeugt wurde, klar erkennbar sein und sich von den Muskeln unterscheiden.

[0004] Im allgemeinen gibt es während der Erfassung einer Folge von Röntgenbildern immer eine Variation der Graustufen aufeinanderfolgender Bilder. Die Erfassungseinrichtung mißt in einer Bildfolge die zunehmende Variation der Graustufe. Dieses Phänomen ist Folge eines Fortbestehens oder einer Remanenz von Röntgeninformation von einem Bild zu dem nächsten, was dazu führt, daß sich die Graustufen von Bild zu Bild ändern. Die Variation der Graustufe in der Bildfolge hängt von der Dicke und Zusammensetzung des Untersuchungsobjekts ab. Ein Untersuchungsobjekt mit einer ersten Dicke hat deshalb eine andere Zeitkurve als ein Untersuchungsobjekt mit einer zweiten anderen Dicke.

[0005] Die Variation der Graustufen ist hauptsächlich Folge des Ansammelns von Ladungen auf den Fotodioden der Erfassungseinrichtung. Die Variation kann eine Anzahl von Ursachen haben. Die Variation kann insbesondere von einer Zunahme der Temperatur unterschiedlicher Bestandteile des Geräts abhängen.

[0006] Auf jeden Fall stört die Variation der Graustufen von Bild zu Bild die Messungen, die von dem Gerät erfaßt werden. Im Fall einer großen Remanenz, das heißt einer sehr beträchtlichen Variation, kann sich die Qualität und Interpretation des erfaßten Bildes beträchtlich verschlechtern. Es können ein „Geisterbild“ oder mehrerer Geisterbilder auftreten; das ist die Überlagerung von Bildern, die vorher erfaßt wurden, über ein neues Bild eines Untersuchungsobjekts. Wenn die Remanenz schwächer ist, verursacht sie nicht das Erscheinen von Geisterbildern, die Messungen sind jedoch durch die falsche Variation der Graustufe von einem Bild zum andern ähnlich verfälscht. Die Variation kann von der gleiche Größenordnung sein wie die Dynamik der Graustufen des Signals, das erfaßt werden soll.

[0007] Bestimmte Verfahren ermöglichen es, diese Remanenz für besondere Anwendungen, die besondere Einrichtungen verwenden, zu vermeiden. Für bestimmte Anwendungen ist es möglich, eine Gesetzmäßigkeit zu bestimmen, nach der die Remanenz als Funktion der Zeit abnimmt und die Remanenz der Bildfolge abzuzeichnen. Folglich wird zumindest eine schwarze Messung zwischen zwei Aufnahmen gemacht, die den Graustufen entspricht, welche von der Strahlungseinrichtung in Abwesenheit von Strahlung erzeugt werden. Die schwarze Messung ermöglicht die Bestimmung des Remanenzwerts für einen Augenblick. Mit Hilfe des bekannten Remanenzwerts zu einem bestimmten ersten Augenblick kann die Gesetzmäßigkeit der Remanenzabnahme als Funktion der Zeit abgeleitet werden. Aus der Gesetzmäßigkeit der Remanenzabnahme zwischen zwei Erfassungen kann der Remanenzwert zu einem zweiten Augenblick abgeleitet werden, zu dem das folgende Bild erfaßt wird, und somit können Bilder, die in Folge erfaßt werden, korrigiert werden.

[0008] Dieses Verfahren zum Korrigieren von Bildfolgen setzt die Verwendung von Einrichtungen für schwarze Messungen voraus. Solche Einrichtungen sind nicht immer in Röntgeneinrichtungen aus dem Stand der Technik vorhanden. Folglich ist es in den meisten Fällen praktisch unmöglich die Variation der Graustufe in einer Folge von aufeinanderfolgenden Bildern zu korrigieren.

Aufgabenstellung

[0009] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren und ein verbes-

sertes Gerät zum Kalibrieren und Korrigieren von Graustufen auf Bildern zu schaffen.

[0010] Erfindungsgemäß soll ein Verfahren zum Korrigieren der Remanenz für eine Folge von Röntgenbildern geschaffen werden. Das Verfahren und der Gerät erfordern nicht die Verwendung von Einrichtungen für schwarze Messungen.

[0011] Erfindungsgemäß soll ein Verfahren und ein Gerät zum Kalibrieren einer Einrichtung zum Erfassen eine Folge von Röntgenbildern geschaffen werden. Das Kalibrieren wird so durchgeführt, daß die Auswirkungen der Variation der Graustufe einer Folge von Röntgenbildern eines Untersuchungsobjekts korrigiert werden können.

[0012] Erfindungsgemäß soll ein Verfahren und ein Gerät zum Kalibrieren und Korrigieren von Röntgenbildern geschaffen werden, das auf alle wiederholbaren Variationsphänomene anwendbar ist, das heißt Variationsphänomene, die sich von einer Messung einer Erfassungsfolge zu der nächsten wiederholen, wenn identische Erfassungsphänomene von einer Messung einer Erfassungsfolge zur nächsten auftreten.

[0013] Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zum Kalibrieren eines Geräts geschaffen, das eine Folge von Röntgenbildern erfassen kann und Bilder eines Untersuchungsobjekts korrigieren kann, wobei:

für jedes Bild einer Folge, das von dem Gerät für eine vorgegebene Erfassungsfrequenz der Folge erfaßt wird, das Gerät kalibriert, indem der Wert der Variation eines Durchschnitts der Graustufen in zumindest einem Interessensbereich des gegenwärtigen Bilds von zumindest einer Kalibriereinrichtung bestimmt wird, wobei die Variation relativ zu der Durchschnittsgraustufe des ersten Bildes der Folge in dem entsprechenden Interessensbereich bestimmt wird;

die Bestimmung der Variation für eine Reihe von Bildfolgen, die unter Verwendung der mindestens einen Kalibriereinrichtungen erfaßt werden, wiederholt wird, was zu ersten Bildern mit durchschnittlichen Graustufen führt, die von einer Folge zur andern unterschiedlich sind;

jedes Bild einer Bildfolge eines Untersuchungsobjekts korrigiert wird, indem die Variation der Graustufe relativ zu dem ersten Bild des Untersuchungsobjekts vom gegenwärtigen Bild abgezogen wird, wobei das Abziehen eine Funktion der Graustufe ist, die von jedem Untersuchungsbereich betrachtet wird, und wobei jedes Bild Untersuchungsbereiche mit unterschiedlichen Graustufen aufweist.

[0014] Diese Erfindung betrifft ebenfalls ein Gerät, das eine Folge von Röntgenbildern erfassen kann und dabei ein erfindungsgemäßes Verfahren verwendet.

Ausführungsbeispiel

[0015] Im folgenden wird die Erfindung mit Bezugnahme auf die Zeichnungen näher beschrieben. Es zeigen:

[0016] **Fig. 1** eine Ansicht eines Geräts zum Erfassen einer Folge von Röntgenbildern aus dem Stand der Technik;

[0017] **Fig. 2** eine Ansicht einer bekannten Abhängigkeit der Remanenz von der Zeit für eine Folge von Röntgenbildern;

[0018] **Fig. 3** ein Korrekturverfahren für die Remanenz, das eine schwarze Messung verwendet, aus dem Stand der Technik;

[0019] **Fig. 4** ein Verfahren zum Kalibrieren und Korrigieren von Bildfolgen gemäß einer Ausführungsform der Erfindung, wobei das Kalibrieren vor dem Erfassen der Bildfolgen des Untersuchungsobjekts durchgeführt wird;

[0020] **Fig. 5** eine räumlich anpaßbare Ausführungsform des Verfahrens nach **Fig. 4**;

[0021] **Fig. 6** ein Verfahren nach einer Ausführungsform der Erfindung, wobei das Kalibrieren gleichzeitig wie die Erfassung der Bildfolge des Untersuchungsobjekts durchgeführt wird;

[0022] **Fig. 7** ein räumlich anpaßbare Ausführungsform des Verfahrens gemäß **Fig. 6**;

[0023] **Fig. 8** einen Längsschnitt einer Kalibriereinrichtung, der in einer Ausführungsform der Erfindung verwendet wird;

[0024] **Fig. 9** die unterschiedlichen Schritte einer Ausführungsform der Erfindung, in der Kalibrierdaten von zumindest zwei aufeinanderfolgenden Folgen kombiniert werden; und

[0025] **Fig. 10** die unterschiedlichen Schritte einer Ausführungsform der Erfindung, in der die Kalibrierdaten von zumindest zwei Folgen, die unterschiedliche Kalibriereinrichtungen haben, kombiniert werden.

[0026] Ein Beispiel eines Röntgengeräts aus dem Stand der Technik ist in **Fig. 1** dargestellt. Ein Gerät **1** umfaßt eine Konsole **5** (die eine im wesentlichen vertikale Ausdehnung hat) und einen Strahler, der einen Röntgenstrahl **4** in Richtung einer Platte **7** aussendet, die einen Detektor **2** aufweist. Der Detektor **2** kann eine Fotodiodenmatrix aufweisen. Der Detektor **2** empfängt die Strahlung, beispielsweise Röntgenstrahlen, nachdem diese ein Untersuchungsobjekt durchquert haben, das sich in dem Beobachtungsraum **6** im Strahlverlauf zwischen dem Strahler **3** und dem Detektor **2** des Geräts **1** befindet. Die Ausdehnungen des Strahlers **3** und des Detektors **2** können beispielsweise horizontal und rechtwinklig zu der Konsole **5** verlaufen, jedoch ist jede beliebige Beobachtungsrichtung möglich, insbesondere aufgrund der Tatsache, daß die Anordnung, die von dem Strahler **3** und dem Detektor **2** gebildet wird, um eine im wesentlichen horizontale Achse gedreht werden kann.

Das Gerät **1** kann auch eine Einrichtung **8** zur Verarbeitung einer Bildfolge eines Objekts, die von dem Detektor **2** weitergegeben wird, aufweisen.

[0027] Wie oben angemerkt, ermöglicht es die unterschiedliche Absorption der Strahlung durch unterschiedliche Teile des Untersuchungsobjekts, Information über die Zusammensetzung des Objekt zu erhalten. In der Tat weist ein Bild, das von dem Detektor **2** erzeugt wird, unterschiedliche Graustufen auf, aus denen Information abgeleitet werden kann. Wenn das Untersuchungsobjekt beispielsweise ein menschlicher Körper ist, werden die Knochen auf dem vom Detektor erfaßten Bild klar erkennbar sein und sich von dem Teil klar unterscheiden, das durch Muskeln gebildet wird.

[0028] Wie oben angemerkt, gibt es zu einer Zeit, zu der eine Folge von Röntgenbildern erfaßt wird, immer eine Variation der Graustufen aufeinanderfolgender Bilder der Folge. Somit zeigt **Fig. 2**, daß für eine Bildfolge, die beispielsweise zu den Zeiten t_1 , t_2 , t_3 erfaßt wurde, der Detektor eine Zunahme der Variation L der Graustufe mißt. Dieses Phänomen ist Folge eines Forbestehens oder einer Remanenz der Röntgeninformation von einem Bild zum anderen, was dazu führt, daß sich die Graustufe zwischen den Bildern ändert. In dem Graph in **Fig. 2** ist die Variation L der Graustufe des Bilds zur Zeit t_1 relativ zu einem ersten Bild, das zur Zeit 0 erfaßt wurde, dargestellt. **Fig. 2** zeigt ähnlich, daß die Variation L der Graustufe der Bildfolge von der Dicke und Zusammensetzung des untersuchten Objekts abhängt. Sie entspricht somit für ein erstes Objekts, das eine erste Dicke hat, einer Kurve ξ_1 , während sie für ein zweites Objekt, das eine zweite Dicke, die sich von der ersten Dicke unterscheidet, einer zweiten Kurve ξ_2 entspricht.

[0029] Wie oben angemerkt, beruht die Variation L der Graustufe hauptsächlich auf der Ansammeln von Ladungen auf den Fotodioden des Detektors. Die Variation L kann eine Anzahl von Ursachen haben. Sie kann insbesondere auf einer Zunahme der Temperatur der unterschiedlichen Bestandteile der Einrichtung zurückgehen.

[0030] Wie oben angemerkt, stört die Variation der Graustufen von einem Bild zum nächsten auf jeden Fall die Messungen, die von der Einrichtung erfaßt werden. Für den Falle einer großen Remanenz, das heißt für eine sehr beträchtliche Variation, kann sich die Qualität und die Interpretation der erfaßten Bilder in der Tat erheblich verschlechtern. In der Tat können ein Geisterbild oder mehrere Geisterbilder auftreten; das ist die Überlagerung von Bildern, die vorher erfaßt wurden, über ein neues Bild eines Objekts. Wenn die Remanenz schwächer ist und nicht das Auftreten von Geisterbildern verursacht, können die Messungen durch die falsche Variation der Graustufe von einem Bild zum anderen ähnlich verzerrt sein. Die Variationen können von der gleichen Größenordnung sein wie die Dynamik der Graustufen des Signals, das erfaßt werden soll.

[0031] Wie oben angemerkt, ist es für bestimmte Anwendungen in der Tat möglich, die Gesetzmäßigkeit zu bestimmen, nach der die Remanenz mit der Zeit abnimmt, und die Remanenz von den Bildern der Folge abzuziehen. **Fig. 3** zeigt, daß sich zwischen zwei Bilderfassungen zu den Zeiten t_1 und t_2 die Remanenz gemäß einer exponentiellen Verteilung verringert, die bestimmt werden kann. Folglich wird zumindest eine schwarze Messung zwischen den zwei Augenblicken der Erfassung ausgeführt, die den Graustufen entspricht, die ohne Röntgenstrahlung auftreten. Die schwarze Messung wird beispielsweise zur Zeit t_m durchgeführt und ermöglicht es, den Remanenzwert L_m für diesen Augenblick zu bestimmen. Mit Hilfe des Remanenzwerts zur Zeit t_1 und beispielsweise t_m kann die Gesetzmäßigkeit der Remanenzabnahme abgeleitet werden. Aus der Gesetzmäßigkeit der Referenzabnahme zwischen zwei Erfassungen kann der Wert der Remanenz zur Zeit t_2 des folgenden erfaßten Bilds abgeleitet werden und somit die Bilder, die in einer Folge erfaßt werden, korrigiert werden.

[0032] Eine Ausführungsform der Erfindung ist ein Kalibrierverfahren eines Geräts, das eine Folge von Röntgenbildern erfassen und die Bilder eines Untersuchungsobjekts korrigieren kann, was das Korrigieren der unerwünschten Auswirkungen der Variationen der Graustufen für eine Folge von Röntgenbildern ermöglicht.

[0033] Die Ausführungsformen des Verfahrens können gemäß zweier Lösungswege ausgeführt werden. Für den ersten Lösungsweg wird der Kalibrierschritt vor dem Erfassen der Bildfolge des Untersuchungsobjekts durchgeführt. Der zweite Lösungsweg ermöglicht die Durchführung des Kalibrierens gleichzeitig mit der Erfassung der Bilder des Untersuchungsobjekts. In allen Figuren werden ähnliche Elemente oder Schritte mit identischen Nummern bezeichnet.

[0034] Eine Ausführungsform eines Verfahrens zur Umsetzung des ersten Lösungswegs ist schematisch in **Fig. 4** dargestellt. Das Verfahren, das in **Fig. 4** dargestellt ist, umfaßt zwei Teile. Ein erster Teil ist der Kalibrierteil, der drei Schritte (3a), (3b) und (3c) in **Fig. 4** aufweist. Der zweite Teil ist die Korrektur der Bilder des Untersuchungsobjekts. Der zweite Teil umfaßt drei Schritte (d), (e) und (f) in **Fig. 4**.

[0035] Der Kalibrierteil wird im folgenden beschrieben. Zur Zeit des Schritts (a) wird unter Verwendung des Röntgengeräts eine Folge von Bildern #1, #2, ... #N erfaßt. Die Erfassung der Folge wird durch Beobachten einer Kalibriereinrichtung **40** durchgeführt. Die Kalibriereinrichtung **40** befindet sich in dem Beobachtungsbeereich über dem Detektor des Geräts und bedeckt den größten Teil der Detektorfläche.

[0036] Diese Folge wird für eine vorgegebene Erfassungsfrequenz erfaßt. Die Erfassungsfrequenz kann beispielsweise die Erfassung von einem Bild alle 30 Sekunden oder die Erfassung von einem Bild alle 60 Sekunden betragen. Die Bilder können auch zu ungleichmäßigen Zeitintervallen erfaßt werden. Die Erfassungsfre-

quenz der Kalibrierfolge ist vorzugsweise die gleiche wie die Erfassungsfrequenz, die verwendet wird, um die Sequenz der Bilder des Untersuchungsobjekts zu erfassen.

[0037] **Fig. 4(a)** stellt somit schematisch eine erste Folge von Bildern von zumindest einer ersten Kalibriereinrichtung **40** dar, die eine vorgegebene Dicke hat. Jede Kalibriereinrichtung **40** umfaßt zumindest eine Platte, deren Dicke zwischen 1 cm und 8 cm liegt. Jede Platte hat Absorptionsmerkmale für die Strahlung, die von der Einrichtung ausgesandt wird, die im wesentlichen gleich der des Objekts sind, das als nächstes beobachtet werden soll. Somit können die bekannten Platten vom Typ BR 12, die in der Mammographie verwendet werden, verwendet werden, da sie die gleichen Abschwächungsmerkmale wie Drüsengewebe wie die Brust haben. Offensichtlich können für andere Anwendungen andere Werkstoffe, wie beispielsweise Lucite oder Plexiglas verwendet werden.

[0038] Zur Zeit der Erfassung wird für jedes Bild eine durchschnittlichen Graustufe für einen ausgewählten homogenen Interessenbereich **41** wie in **Fig. 4(a)** gezeigt bestimmt. Die Dimensionen des Interessenbereichs **41** sind typischerweise 100 Pixel × 100 Pixel. Um die Genauigkeit der Messungen der durchschnittlichen Graustufe im Bereich **41** zu verbessern, wird die Erfassung der Bilder der Kalibriereinrichtung mehrere Male wiederholt. Somit wird jede Folge typischerweise vier- oder fünfmal wiederholt. Der Durchschnittswert der Ergebnisse wird dann bestimmt.

[0039] Eine Reihe von Erfassungsfolgen wird dann unter Verwendung der Kalibriereinrichtungen **40** durchgeführt, die unterschiedliche Dicken haben. Somit werden die durchschnittlichen Graustufen, die für jede Folge der Reihen unterschiedlich sind, bezüglich des Interessenbereichs **41** erhalten.

[0040] Wie oben angemerkt hängt der durchschnittliche Grauwert von der Zeit ab; das heißt, er ändert sich für aufeinanderfolgende Bilder der gleichen Folge. Somit werden die durchschnittlichen Graustufen im Interessenbereich **41** von jedem Bild für alle Folgen der Reihen gebildet. Dann wird für jedes n-te Bild $C^{(n)}$ einer Folge, die von dem Gerät erfaßt wird, und für den Interessenbereich **41** unter Verwendung der Verarbeitungseinrichtung in jedem Gerät der Wert der Variation der durchschnittlichen Graustufe zwischen dem gegenwärtigen Bild und dem ersten Bild bestimmt. $L^{(n)}$ bezeichnet diesen Unterschied. Er ist gleich:

$$L^{(n)} = \overline{C^{(n)}} - \overline{C^{(1)}} \quad (1)$$

[0041] Dann wird mit Schritt (b) in **Fig. 4** weitergemacht. In Schritt (b) wird für jedes n-te Bild der relative Unterschied

$$\frac{L^{(n)}}{C^{(1)}}$$

bestimmt. Dann wird der Graph

$$\frac{L^{(n)}}{C^{(1)}}$$

als Funktion von $\overline{C^{(1)}}$ dargestellt. Somit wird bestätigt, daß diese Funktion als gerade Linie angenähert werden kann. Der geschätzte Unterschied $\langle L^{(n)} \rangle$ ist deshalb gleich:

$$\langle L^{(n)} \rangle = \overline{C^{(1)}} \times [\alpha^{(n)} \cdot \overline{C^{(1)}} + \beta^{(n)}] \quad (2)$$

wobei $\alpha^{(n)}$ und $\beta^{(n)}$ die linearen Regressionskoeffizienten der Kurven sind, die während des Schritts (b) dargestellt werden und während des Schritts (c) berechnet werden.

[0042] Schritt (c) zeigt, daß unter Verwendung der Verarbeitungseinrichtung des Geräts die Regressionskoeffizienten $\alpha^{(1)}$ und $\beta^{(1)}$ die dem Steigungskoeffizienten und dem Achsenabschnitt jeder Linie des Bildes i entsprechen, bestimmt werden. Diese Koeffizienten werden in der Speichereinrichtung des Geräts gespeichert, das zu der Verarbeitungseinrichtung **8** oder zu einer Einrichtung gehört, die sich außerhalb des Geräts befindet. Mit Schritt (c) endet das Kalibrieren.

[0043] Jede Linie hängt einerseits von der Priorität des n-ten Bildes der Folge, die durch das hochgestellte Zeichen (n) angegeben ist, und andererseits von der Erfassungsfrequenz der Folge ab. Wie in **Fig. 4(b)** für eine identische Erfassungsfrequenz bestätigt werden kann, unterscheiden sich die Kurven des Bildes #2 und des Bildes #3 mit anderen Worten. Dies bedeutet auch, daß für eine unterschiedliche Erfassungsfrequenz die Kurven der Bilder #2 unterschiedlich sind.

[0044] Der Satz der Kurven, die allen Bildern der Kalibrierfolge entsprechen, wird dargestellt. Der Korrekturteil des Bildes wird wie folgt beschrieben. **Fig. 4(d)** stellt schematisch dar, daß eine Folge von Bildern eines Untersuchungsobjekts **42** in der Folge erfaßt wird, die N Bilder umfaßt. Ohne Korrektur wird eine unerwünschte Variation der Graustufe zwischen aufeinanderfolgenden Bildern der Folge beobachtet. Deshalb werden die Kalibrierdaten verwendet werden, um diese unerwünschten Variationen zu korrigieren.

[0045] Um eine Korrektur der Pixel der Koordinaten (i,j) eines unkorrigierten n-ten Bildes $Y^{(n)}$ durchzuführen wird die durchschnittliche Graustufe $\overline{Y_{R(i,j)}^{(1)}}$ in einem Beobachtungsbereich $R(i,j)$ gemessen, der sich um den Punkt (i,j) des ersten Bildes herum wie beispielsweise der Bereich **43** in **Fig. 4(d)** befindet. Jeder Beobachtungsbereich $R(i,j)$ hat typischerweise eine Größe der Größenordnung für 25×25 Pixeln, Die Größe von jedem Beobachtungsbereich entspricht im wesentlichen der kleinsten Größe eines Objekts, das beobachtet werden kann, wie beispielsweise eines Tumors auf dem Gebiet der Mammographie.

[0046] Das Verfahren zum Korrigieren wird dann auf das Bild $Y^{(n)}$ angewandt, indem die Variation einer Graustufe relativ zu dem ersten Bild des Objekts vom gegenwärtigen Bild abgezogen wird. **Fig. 4(e)** zeigt, daß unter Verwendung der Bestimmung der durchschnittlichen Graustufe $\overline{Y_{R(i,j)}^{(1)}}$ während des Schritts (d) und unter Verwendung der Kalibrierdaten der Wert der Variation $\langle L^{(n)} \rangle$ erreicht werden kann, der eine Funktion von $\overline{Y_{R(i,j)}^{(1)}}$ ist. Somit ist es ausreichend diesen Wert vom Wert der gegenwärtigen Graustufe abzuziehen.

[0047] Eine Messung der durchschnittlichen Graustufe in mehreren Beobachtungsbereichen, beispielsweise ähnlich dem Beobachtungsbereich **44** in **Fig. 4(d)** wird somit durchgeführt. Die durchschnittliche Graustufe des Beobachtungsbereichs **44** kann sich von der durchschnittlichen Graustufe des Bereichs **43** unterscheiden.

[0048] Mathematisch wird ein korrigiertes n-tes Bild $Z_{i,j}^{(n)}$ unter Verwendung der folgenden Formel erhalten:

$$Z_{i,j}^{(n)} = \left[Y_{i,j}^{(n)} - \left\langle L^n \left(\overline{Y_{R(i,j)}^{(1)}} \right) \right\rangle \right] = \left[Y_{i,j}^{(n)} - \overline{Y_{R(i,j)}^{(1)}} \times \left(\alpha^{(n)} \overline{Y_{R(i,j)}^{(1)}} + \beta^{(n)} \right) \right] \quad (3)$$

[0049] Durch Verwendung einer derartigen Korrektur des Bildsatzes der Folge, wird eine Folge erhalten, für welche alle Variationen der Graustufe unterdrückt oder zumindest verringert sind.

[0050] Für die vorher beschriebenen Gleichungen wurde die Messung der mittleren Graustufe um das Pixel (i,j) verwendet. Mehrere Alternativen sind möglich, wenn eine Funktion der Graustufe in Betracht gezogen wird.

[0051] Der Medianwert der Graustufe in jedem Beobachtungsbereich kann auch bestimmt werden. Somit wird die mittlere Graustufe nicht länger betrachtet. Der Medianwert einer Folge ist der Wert, der sich in der Mitte der Folge befindet, die in ansteigender oder absteigender Reihenfolge angeordnet ist.

[0052] Die Verwendung des Medians vermeidet die Einwirkung der gemessenen abweichenden Graustufen auf den Wert der Graustufen, die in dem Korrekturschritt in Betracht gezogen werden. Folglich haben die Extremwerte der Folge keinen Einfluß auf die Berechnung des Medianwerts. Solche abweichenden Werte können in dem Bereich des Objekts **42**, das einen starken Dickegradienten hat, und für eine abrupte Variation der Dicke des Untersuchungsobjekts gemessen werden.

[0053] Der Mediangrauwert wird anstelle des durchschnittlichen Grauwerts für das Objekt betrachtet, welches solch einen Dickegradienten aufweist. Die Kalibrierschritte und die Gleichungen (1) und (2) bleiben die gleichen.

[0054] Gleichung (3) ist leicht verändert, da die Mediangraustufe anstatt der durchschnittlichen Graustufe verwendet wird.

[0055] Die Berechnung des Medianwerts, die in der Verarbeitungseinrichtung des Geräts durchgeführt wird vergrößert im allgemeinen die Verarbeitungszeit der Information etwas.

[0056] Gemäß der zweiten Alternative kann die durchschnittliche Graustufe durch den Wert von $Y_{i,j}^{(1)}$ der Graustufe des Pixels (i,j) ersetzt werden. Selbstverständlich wird der Wert eines Interessenbereich $R(i,j)$ (beispielsweise **43** und/oder **44**) nicht länger gemittelt und der Medianwert wird nicht berechnet.

[0057] Wie für die erste Alternative bleibt der Schritt des Verfahrens der gleiche und nur Gleichung (3) wird etwas verändert, da sie für den Wert $Y_{i,j}^{(1)}$ der Graustufe des Pixels (i,j) verwendet wird.

[0058] Die zweite Alternative erlaubt es wie die erste Alternative, einen guten Schätzwert der Variation der Graustufe bei Pixeln nahe eines Bereichs zu erhalten, indem die Dicke des Untersuchungsobjekts sich schnell ändert. Im Gegensatz zu der ersten Alternative erlaubt sie eine Verringerung der Verarbeitungszeit. Jedoch ist die Bestimmung des Werts der Variation der Graustufe weniger genau, da das Quantenrauschen verstärkt wird. Die Auswirkungen des Quantenrauschens werden durch Mitteln oder Berechnung des Medianwerts beträchtlich verringert.

[0059] In allen bereits genannten Ausführungsformen wird davon ausgegangen, daß die Variation der Graustufe über die gesamte Oberfläche des Detektors des Geräts homogen ist. Die Koeffizienten $\alpha^{(1)}$ und $\beta^{(1)}$ sind in der Tat nur in einem einzigen Interessenbereich **41** bestimmt.

[0060] Ein anpaßbarer Lösungsweg des ersten Lösungswegs wird wie folgt beschrieben. Der anpaßbare Lösungsweg berücksichtigt die Inhomogenität der Variationen der Graustufen über die Oberfläche des Detektors des Geräts. Es zeigt sich, daß die Detektoren nicht perfekt sind und es eine Disparität der Variationen der Graustufen abhängig von der Lage auf dem Detektor gibt.

[0061] Die Schritte des anpaßbaren Lösungswegs sind schematisch in **Fig. 5** dargestellt. Der anpaßbare Lösungsweg umfaßt das Berücksichtigen der Inhomogenität der Variationen, indem ein Kalibrieren für mehrere Interessenbereiche **41** durchgeführt wird. Die Interessenbereiche verteilen sich regelmäßig über die Oberfläche der Kalibriereinrichtung und bedecken den Großteil der Oberfläche des Detektors.

[0062] Während des Schritts (a) in **Fig. 5** wird eine Bildfolge einer Kalibriereinrichtung **40**, die auf der Ober-

fläche des Detektors angebracht ist, somit erfaßt. Wie vorher wird eine Erfassung eine Reihe von Folgen durchgeführt, um die Dicke der Kalibriereinrichtung **40** zu variieren. Dann wird für jedes Bild $C^{(n)}$ die Remanenz $L^{(n)}$ unter Verwendung der folgenden Gleichung berechnet:

$$L_{\Omega}^{(n)} = \left\{ L_{k,l}^{(n)} = \overline{C_{k,l}^{(n)}} - \overline{C_{k,l}^{(1)}} \right\}_{(k,l) \in \Omega}$$

[0063] (Diese ist ähnlich zu Gleichung (1).) Wobei jedes $R_c(k,l)$, $(k, l) \in \Omega$ einen Interessenbereich (**41**) darstellt, der sich um das Pixel herum befindet, das die Koordinaten (k, l) hat, und wobei Ω ein Satz von Pixeln ist, um welchen herum sich die Interessenbereiche **41** in **Fig. 5** befinden. Auf ähnliche Weise wird $\overline{C^{(1)}}$ berechnet, indem es als eine Funktion von

$$\frac{L_{\Omega}^{(n)}}{C^{(1)}}$$

dargestellt wird.

[0064] Somit wird während des Schritts (b) nicht ein Graph eines Satzes von geraden Linien, die den unterschiedlichen Bildern entsprechen, sondern ein Satz von Graphen erhalten, die jeweils einem Interessenbereich **41** entsprechen. Somit gibt es so viele Graphen wie Interessenbereiche auf der Oberfläche der Kalibriereinrichtung **40**, das heißt einen Satz von Graphen $411, 412 \dots 41N$, die dem Satz der Messungen in den N Interessenbereichen **41** entsprechen.

[0065] Schritt (c) nähert die Kurven an, die für die geraden Linien erhalten wurden, die für jeden Graph definiert sind, weshalb die Koeffizienten $\alpha_{\Omega}^{(n)}$ und $\beta_{\Omega}^{(n)}$ von nun an von dem Interessenbereich abhängen, für den sie berechnet wurden.

[0066] Im Schritt (d) wird eine Folge von Bildern eines Untersuchungsobjekts **42** erfaßt. Die Beobachtungsbereiche **43** und **44**, die korrigiert werden sollen, werden bestimmt. Somit ist die Lage der Interessenbereiche relativ zu dem anderen Interessenbereich **41** markiert.

[0067] Im Schritt (e) werden die Werte $\alpha_{\Omega}^{(n)}$ und $\beta_{\Omega}^{(n)}$ die für den entsprechenden Beobachtungsbereich **41** bestimmt wurden, verwendet, um die Variation der Graustufe von jedem Beobachtungsbereich zu bestimmen. Dann wird die Korrektur unter Verwendung einer Gleichung, die der Gleichung (3) ähnelt, durchgeführt. Die korrigierte Graustufe $Z_{i,j}^{(n)}$ wird:

$$Z_{i,j}^{(n)} = \left[Y_{i,j}^{(n)} - \overline{Y_{R(i,j)}^{(1)}} \cdot \left(\alpha_{i,j}^{(n)} \cdot \overline{Y_{R(i,j)}^{(1)}} + \beta_{i,j}^{(n)} \right) \right]$$

[0068] (Was Gleichung (3) ähnelt). Wobei $\alpha_{i,j}^{(n)}$ die Graustufe vor der Korrektur ist, und $\beta_{i,j}^{(n)}$ und $Y_{i,j}^{(n)}$ die Koeffizienten sind, die für jeden Interessenbereich bestimmt wurden und für den Beobachtungsbereich verwendet wurden, der sich um das Pixel (i,j) herum befindet. Auf diese Weise wird ein korrigiertes Bild $Z_{i,j}^{(n)}$ in Schritt (f) erhalten.

[0069] Mehrere Alternativen sind für den anpaßbaren Lösungsweg möglich. Eine erste mögliche Alternative besteht im Interpolieren der Koeffizienten $\alpha_{i,j}^{(n)}$ und $\beta_{i,j}^{(n)}$ der Beobachtungsbereiche, die sich außerhalb des Interessenbereichs befinden. Somit könnte man Koeffizienten $\alpha_{i,j}^{(n)}$ und $\beta_{i,j}^{(n)}$ für jeden beliebigen Beobachtungsbereich haben. Andere Alternativen sind auch möglich und verwenden den Medianwert der Graustufe oder die Werte der Graustufen eines Pixels, statt die durchschnittliche Graustufe in einer Beobachtungszone zu berücksichtigen.

[0070] Wie oben beschrieben berücksichtigt eine Ausführungsform des Verfahrens für den ersten Lösungsweg ein Kalibrieren, bevor die Bildsequenz des Beobachtungsobjekts erfaßt wird. Eine Ausführungsform des Verfahrens für einen zweiten Lösungsweg führt das Kalibrieren gleichzeitig mit der Erfassung der Bildfolge des Objekts durch.

[0071] In dem zweiten Lösungsweg eines Verfahrens gemäß einer Ausführungsform der Erfindung, der nun beschrieben werden wird, findet der Kalibrierschritt gleichzeitig wie die Erfassung der Bildfolge des Beobachtungsobjekt statt. Die Schritte des zweiten Lösungswegs sind schematisch in **Fig. 6** dargestellt.

[0072] In **Fig. 6(a)** befindet sich die Kalibriereinrichtung **40** in einem Erfassungsbereich des Geräts und dies wird während der Erfassung der Bildfolgen des Untersuchungsobjekts **42** durchgeführt. Dadurch wird die Notwendigkeit, eine Erfassungsreihe nur für das Kalibrieren durchzuführen, vermieden. Jedoch wurde festgestellt, daß es wünschenswert ist, in dem ersten Lösungsweg eine Reihe von Erfassungen durchzuführen, die unterschiedliche Dicken der Kalibriereinrichtung **40** verwenden. Diese Dickenänderung ist für die Darstellung der Kurven des Schritts (b) wünschenswert.

[0073] Denn für den zweiten Lösungsweg umfaßt die Kalibriereinrichtung **40** zumindest zwei Interessenbereiche, die durchschnittliche Graustufen haben, die für jede Zone für jeweils ein Bild unterschiedlich sind. Dies wurde in **Fig. 8** dargestellt. In **Fig. 8** umfaßt die Kalibriereinrichtung einen ersten Interessenbereich **41**, der Strahlungsabsorptionseigenschaften aufweist, die sich von einem zweiten Bereich **45** unterscheiden. Der Unterschied der Absorption kann auf einer unterschiedlichen Dicke der Einrichtung **40** für die Stufe der zwei Be-

reiche **41** und **45** und/oder unterschiedlichen Werkstoffen der zwei Bereiche beruhen. Die Einrichtung chen Werkstoffen der zwei Bereiche beruhen. Die Einrichtung **40** kann mehr als zwei Bereiche umfassen. Je größer die Anzahl der Bereiche ist, die unterschiedliche Eigenschaften haben, desto größer wird die Anzahl der bedeutsamen Punkte sein, die es für die Darstellung der Kalibrierkurven im Schritt (b) geben wird. Je präziser die Darstellung der Kurven in (b) ist, desto präziser ist ihre Näherung in (c).

[0074] Während einer identischen Erfassung einer Folge von Bildern der Kalibriereinrichtung **40** wird es mehrere Referenzpunkte geben, die die Darstellung gemäß **Fig. 6(b)** ähnlich zu der gemäß **Fig. 4(b)** des ersten Lösungswegs ermöglichen. Je präziser die Darstellung der Kurven in (b) ist, desto präziser ist ihre Näherung in (c) für jedes Bild.

[0075] Während einer identischen Erfassung einer Folge von Bildern der Kalibriereinrichtung **40** wird es somit mehrere Referenzpunkte geben, die die Darstellung gemäß **Fig. 6(b)** ähnlich zu der gemäß **Fig. 4(b)** des ersten Lösungswegs ermöglichen. Für jedes Bild $Y^{(n)}$ wird die Remanenz gemäß der Gleichung $L^{(n)} = Y^{(n)} - Y^{(1)}$ berechnet (ähnlich zu Formel (1), die bereits angegeben wurde).

[0076] Im Schritt (b) werden die Kurven dieser relativen Werte mit Bezug auf die durchschnittliche Graustufe für das erste Bild als eine Funktion der Graustufe des ersten Bilds dargestellt.

[0077] In Schritt (c) werden die unterschiedlichen Kurven der Variation der Graustufe als eine Funktion der Graustufe des ersten Bilds durch gerade Linien angenähert und die Koeffizienten der entsprechenden Funktion werden berechnet.

[0078] Im Schritt (e) wird das Kalibrieren der Schritte (a), (b), (c) verwendet. Das Kalibrieren ermöglicht die Berechnung der Variation eines jedes Bilds des Objekts **42** der Folge.

[0079] Somit wird in (f) eine korrigierte Reihe von Bildern erhalten.

[0080] Gemäß einem Verständnis dieses Lösungswegs kann das folgende erkannt werden. Zuerst wird eine präzisere Korrektur der Variationen der Graustufen erhalten. Die Remanenz wird direkt unter Verwendung der Bilder der Folge des Untersuchungsobjekts bestimmt. Es ist dann sehr wahrscheinlich, daß es keine Unterschiede des Verhaltens des Geräts zwischen den Kalibrierfolgen und der Erfassung der Bilder des Untersuchungsobjekts gibt. Zweitens ist es im allgemeinen nicht nötig, eine vollständige Reihe vom Messungen durchzuführen, um die Kalibrierkurven zu erhalten. Das Kalibrieren wird direkt gleichzeitig mit der Erfassung der Bilder des Untersuchungsobjekts durchgeführt. Deshalb gibt es eine beträchtliche Zeitersparnis für den Bediener des Geräts.

[0081] Es ist nicht einfach, einen anpaßbaren Lösungsweg auf den zweiten Lösungsweg anzuwenden: während das Untersuchungsobjekt positioniert ist, kann das Kalibrieren des gesamten Erfassungsfelds nicht durchgeführt werden. Deshalb wird gemäß einer ersten Alternative des zweiten Lösungswegs ein räumliches Modell verwendet, um jede Disparität der Variation der Graustufe als Funktion der Lage auf dem Detektor zu berücksichtigen. Die Schritte solch einer Variante sind schematisch in **Fig. 7** dargestellt.

[0082] Die Schritte (a), (b), (c) und (e) bleiben die gleichen wie die in **Fig. 6**. Jedoch ist zwischen dem Schritt (e) und (f) ein Schritt (e') eingefügt, der die Verwendung eines räumlichen Modells der Disparitäten der Variationen ermöglicht.

[0083] Um einen Pixel (i,j) des Bilds $Y^{(n)}$ zu korrigieren, wird somit die durchschnittliche Graustufe $\overline{Y_{R(i,j)}^{(1)}}$ in einem Beobachtungsbereich **44** gemessen, der sich beispielsweise um den Punkt (i,j) herum befindet. Nach dem Kalibrieren wird die Graustufe $Z_{i,j}^{(n)}$ des Pixels (i, j):

$$Z_{i,j}^{(n)} = \left[Y_{i,j}^{(n)} - \lambda_{i,j} \times \left\langle L^{(n)} \left(\overline{Y_{R(i,j)}^{(1)}} \right) \right\rangle \right] = \left[Y_{i,j}^{(n)} - \lambda_{i,j} \times \left(\alpha^{(n)} \overline{Y_{R(i,j)}^{(1)}} + \beta^{(n)} \right) \right]$$

[0084] (Was Formel (3) ähnelt.) Wobei $Y_{i,j}^{(n)}$ die Graustufe vor dem Kalibrieren ist, und $\alpha^{(n)}$ und $\beta^{(n)}$ die linearen Regressionskoeffizienten der Näherung der Variation der Graustufe und $\lambda_{i,j}$ ein gemessener oder modellierter Verstärkungsfaktor des Pixels (i,j) ist.

[0085] Um einen gemessenen Verstärkungsfaktor $\lambda_{i,j}$ zu erhalten, können beispielsweise mehrere Interessensbereiche wie für den anpaßbaren Lösungsweg, der für den ersten Lösungsweg beschrieben wurde, kalibriert werden. Die unterschiedlichen Werte $\lambda_{i,j}$ werden somit in die Verarbeitungseinrichtung des Geräts eingegeben und während des Korrekturschritts verwendet.

[0086] Um den Verstärkungsfaktor $\lambda_{i,j}$ zu modellieren, kann der Kehrwert des Verstärkungsfaktors des Geräts verwendet werden. Der Verstärkungsfaktor $K_{i,j}$ des Geräts kompensiert die Inhomogenität der Beleuchtung des Detektors durch den Strahler und die Inhomogenität der Reaktion der Fotodioden des Detektors.

[0087] Auf diese Weise wird ein Bild mit korrigierter Verstärkung vom Detektor mit der folgenden Form erfaßt: $K_{i,j} (I_m + \text{Remanenz})$, wobei I_m das Bild des Objekts mit unkorrigierter Verstärkung und Homogenität ist. Der Teil $(K_{i,j} I_m)$ ist ein homogenes Bild. Die inhomogene Remanenz, die vom Detektor erfaßt wird, ist somit: $(K_{i,j} \text{Remanenz})$. Die Inhomogenität der erfaßten Remanenz beruht auf dem Verstärkungsfaktor $K_{i,j}$. Um eine homogene Remanenz zu finden, wird der Faktor $\lambda_{i,j}$ auf den Ausdruck $(K_{i,j} \text{Remanenz})$ angewandt, so daß:

$$\lambda_{i,j} = \frac{1}{K_{i,j}}$$

. Dies ist die homogene Remanenz, die nach der Multiplikation erhalten wird, die von dem gegenwärtigen Bild abgezogen werden kann.

[0088] Gemäß einer zweiten möglichen Alternative des zweiten Lösungswegs wird die Tatsache kompensiert, daß wenige der Werte für die Darstellung der Kalibrierkurve erfaßt werden können. Da die Kalibrierdaten gleichzeitig wie die Bildbeobachtungsdaten erfaßt werden, gibt es nur einen Variationswert pro Bild für eine vorgegebene Graustufe.

[0089] Um die Anzahl der Meßpunkte zu vergrößern, um somit die Genauigkeit der Berechnung der Regressionskoeffizienten $\alpha^{(i)}$ und $\beta^{(i)}$ der Näherung der verbessern, ist es möglich, die Information von mehreren aufeinanderfolgenden Erfassungsfolgen unterschiedlicher Untersuchungsobjekte zu kombinieren. **Fig. 9** stellt schematisch die unterschiedlichen Schritte dieser Alternative dar. **Fig. 9** zeigt, daß zumindest zwei Objektbilder **42'** und **42''** in diesen Schritten (bezeichnet als (a_1) und (a_2)) erfaßt werden. Diese zwei Folgen 91 und 92 werden beide unter den gleichen Erfassungsbedingungen, aber nacheinander, erfaßt. Beispielsweise wird die Folge 91 vor der Folge 92 erfaßt. Die Folge 91 hat insbesondere die gleiche Erfassungsfrequenz wie die Folge 92. Im Schritt (b) werden die Messungen, die über die Kalibriereinrichtung für jede der zwei Folgen 91 und 92 erfaßt wurden, kombiniert, um die Anzahl der Punkte zu vergrößern bezüglich derer die Regressionskoeffizienten im Schritt (c) berechnet werden. In **Fig. 9** umfaßt die Einrichtung **40** drei Interessenbereiche **41**, **45** und **46**. **Fig. 9(b)** stellt unterschiedliche Punkte dar, die aus jeder Folge für jedes Bild der Bereiche **41**, **45** und **46** resultieren. Auf diese Weise wird die Anzahl der Punkte verdoppelt, wenn die zwei Folgen kombiniert werden. Die Genauigkeit der Näherungen wird somit erhöht. Die zwei Folgen 91 und 92 werden dann in den Schritten (e_1) bzw. (e_2) korrigiert. Die Korrektur verwendet die Regressionskoeffizienten, die im Schritt (c) berechnet wurden. Somit werden für (f_1) und (f_2) korrigierte Bilder erhalten.

[0090] Die alternative aus **Fig. 9** kann auf so viele Folgen wie erwünscht verallgemeinert werden. Für jedes Bild gibt es ein Netz aus Punkten für jede Graustufe. Außerdem kann die Alternative aus **Fig. 9** iterativ sein; das heißt für jede neu erfaßte Folge können neue Regressionskoeffizienten erneut berechnet werden.

[0091] Eine weitere Alternative des zweiten Lösungswegs kompensiert die Tatsache, daß wenige Funktionspunkte für die Darstellung der Kalibrierkurven vorhanden sind. Aufgrund des Vorhandenseins des Untersuchungsobjekts in dem Erfassungsfeld des Detektors können tatsächlich keine Kalibriereinrichtungen mit größeren Abmessungen in dem Feld angebracht werden. Folglich haben die Einrichtungen keine große Anzahl unterschiedlicher Bereiche der Abschwächungsmerkmale. Die vorliegende Variante verwendet unterschiedliche Kalibriereinrichtungen von einer Folge zur nächsten, um die Anzahl der Funktionspunkte zu erhöhen. Die Schritte solch einer Alternative sind schematisch in **Fig. 10** dargestellt. In **Fig. 10** werden zumindest zwei Folgen von Bildern des Objekts **42'** und **42''** in den Schritten (a_1) und (a_2) erfaßt. Die zwei Folgen 91 und 92 werden beide unter den gleichen Erfassungsbedingungen nacheinander erfaßt. Insbesondere hat die Folge 91 die gleiche Erfassungsfrequenz wie die Folge 92. Die Kalibriereinrichtungen **40'** und **40''**, die in den zwei Folgen verwendet werden, sind im Gegensatz hierzu für beide Folgen unterschiedlich. Beispielsweise hat die Einrichtung **40'** zwei Interessenbereiche **41** und **45**, während die Einrichtung **40''** zumindest einen, vorzugsweise zwei Interessenbereiche **47** und **48** hat. Die Bereiche **47** und **48** haben Strahlenabschwächungsmerkmale, die sich von denen der Bereiche **41** und **45** unterscheiden. In Schritt (b) werden die Messungen, die unter Verwendung der Kalibriereinrichtungen **40'** und **40''** erfaßt werden, für jede der zwei Folgen 91 und 92 kombiniert, um die Anzahl der Funktionspunkte zu erhöhen, die bei der Berechnung der Regressionskoeffizienten des Schritts (c) verwendet werden. Die Meßpunkte der Bereiche **47** und **48** während der Erfassung der Folge 92 ergänzen die Punkte der Bereiche **41** und **45**, die während der Erfassung der Folge 91 erfaßt werden. Beispielsweise sind die zwei Einrichtungen **40'** und **40''** alternative auf dem Detektor während aufeinanderfolgender Erfassungen zweier unterschiedlicher Objekte **42'** und **42''** angebracht.

[0092] Für die alternativen aus den **Fig. 9** und **10** kann selbstverständlich ein räumliches Modell verwendet werden. Andere Varianten des zweiten Lösungswegs sind auch möglich und sie verwenden Medianwerte der Graustufen oder die Werte der Graustufen eines Pixels anstatt die durchschnittliche Graustufe in einem Beobachtungsbereich zu berücksichtigen.

[0093] Die Einführung eines Verstärkungsfaktors $\lambda_{i,j}$ während des Korrekturschritts kann ähnlich wie im ersten Schritt angewandt werden.

[0094] Dabei kann der relative Schätzwert $\frac{\langle I^{(n)} \rangle}{c^{(n)}}$ des nten Bildes der Funktion des durchschnittlichen Grauwerts des ersten

[0095] Bildes $\bar{c}^{(n)}$ durch eine gerade Linie angenähert werden.

[0096] Selbstverständlich ist für die obigen Ausführungsformen die sichtbare graphische Darstellung von **Fig. 4(b)** durch andere Funktionen möglich, deren Eigenschaften bestimmt werden oder bekannt sind. Die ausgewählte Näherungsfunktion hängt von dem wiederholbaren Phänomen ab, das beobachtet wird, wie auch von der Genauigkeit, die während des Kalibrierens erreicht werden soll. Die Näherungsfunktion kann deshalb bei-

spielsweise eine Polynomfunktion sein, welche die Potenz von $\overline{c^{(1)}}$ oder eine Exponentialfunktion umfaßt.

[0097] Die Ausführungsformen der Erfindung werden deshalb durch die folgenden Merkmale für sich allein genommen oder in jeder technisch möglichen Kombination ergänzt:

eine graphische Darstellung wird angenähert, die entsprechend für ihre Ordinate und Abzisse hat: das Verhältnis, in dessen Zähler die Variation der durchschnittlichen Graustufe des gegenwärtigen Bildes der Folge der Kalibriereinrichtung relativ zu der durchschnittlichen Graustufe des ersten Bildes und im Nenner die durchschnittliche Graustufe des ersten Bildes hat; und

die unterschiedlichen durchschnittlichen Grauwerte von jedem ersten Bild;

eine Funktion, für welche die Eigenschaften bekannt sind;

die Funktion ist eine gerade Linie;

die Graustufe, die in jeder Zone von jedem Bild des Untersuchungsobjekts korrigiert wird, ist die durchschnittliche Graustufe;

die Graustufe, die in jeder Zone von jedem Bild des Untersuchungsobjekts korrigiert wird ist der Medianwert der Graustufe;

die Graustufe von zumindest einem ausgewählten Pixel für jedes Bild des Untersuchungsobjekts wird korrigiert; das Kalibrieren findet vor der Erfassung der Folge der Bilder des Untersuchungsobjekts statt;

jeder durchschnittliche Wert der Graustufe der Reihe der Folgen des Kalibrierens wird durch Beobachtung von zumindest einer Kalibrierplatte einer bestimmten Dicke, die jede Kalibriereinrichtung darstellt, vorgegeben, wobei sich ihre Dicke von einer Reihe zur anderen ändert;

die durchschnittliche Graustufe wird durch mehrere Interessenbereiche während des Kalibrierens bestimmt;

das Abziehen während des Korrekturschritts hängt einerseits von der Lage des Beobachtungsbereichs relativ zu jedem Interessenbereich ab;

der Wert, der von jedem Bild der Folge von Bildern des Objekts abgezogen wird, ist einerseits eine Funktion der Lage des Beobachtungsbereichs und andererseits eine Funktion der bestimmten räumlichen Verstärkung;

das Kalibrieren findet während der Erfassung der Folge von Bildern des Untersuchungsobjekts statt;

jede Kalibriereinrichtung befindet sich in einem Erfassungsfeld des Geräts, welches auch das Untersuchungsobjekt umfaßt;

jede Kalibriereinrichtung umfaßt zumindest zwei Interessenbereiche, die eine durchschnittliche Graustufe haben, die sich von einem Bereich zu einem anderen für jedes Bild unterscheiden;

der von jedem Bild abgezogene Wert der Folge von Bildern des Untersuchungsobjekts ist einerseits eine Funktion der Lage des Untersuchungsbereichs und andererseits eine Funktion der räumlichen Verstärkung des Geräts;

die Kalibriermessungen von zumindest zwei Erfassungen aufeinanderfolgender Folgen werden kombiniert, und

die Kalibriermessungen von zumindest zwei Erfassungen von aufeinanderfolgenden Folgen, die unterschiedliche Kalibriereinrichtungen verwenden, werden kombiniert.

[0098] Ein Fachmann könnte verschiedene Abänderungen der Art/Struktur und/oder Funktion und/oder des Ergebnisses und/oder der Schritte, die in diesen Ausführungsformen offenbart sind, vorschlagen oder durchführen, ohne den Umfang der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Kalibrieren eines Geräts, das dazu dient, eine Folge von Röntgenbildern zu erfassen und die Bilder eines Untersuchungsobjekts korrigieren, wobei:

für jedes Bild einer Folge, die von dem Gerät erfaßt wurde, und für eine vorgegebene Erfassungsfrequenz der Folge das Gerät kalibriert wird, indem der Wert der Variation eines Durchschnitts der Graustufen in zumindest einem Interessenbereich des gegenwärtigen Bildes von zumindest einer Kalibriereinrichtung bestimmt wird, wobei die Variation relativ zu der durchschnittlichen Graustufe des ersten Bildes der Folge in jedem Interessenbereich bestimmt wird;

die Bestimmung der Variation für eine Reihe von Bildern der Sequenzen wiederholt wird, die unter Verwendung der Kalibriereinrichtungen bestimmt werden, was zu ersten Bildern der durchschnittlichen Graustufen führt, die sich von Sequenz zu Sequenz unterscheiden; und

jedes Bild einer Bildfolge des Untersuchungsobjekts korrigiert wird, indem von dem gegenwärtigen Bild die Variation einer Graustufe relativ zu dem ersten Bild des Objekts abgezogen wird, wobei das Bild Beobachtungsbereiche umfaßt, die unterschiedliche Graustufen aufweisen, wobei das Abziehen eine Funktion der Graustufe ist, die jeden Beobachtungsbereich berücksichtigt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei eine graphische Darstellung durch eine Funktion angenähert wird, für welche die Eigenschaften bekannt sind und die entsprechend für ihre Ordinate und Abzisse hat: das Verhältnis, in dessen Zähler die Variation der durchschnittlichen Graustufe des gegenwärtigen Bildes der Folge

der Kalibriereinrichtung relativ zu der durchschnittlichen Graustufe des ersten Bildes und im Nenner die durchschnittliche Graustufe es ersten Bildet hat; und die unterschiedlichen Graustufen des ersten Bildes,

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Funktion eine gerade Linie ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Graustufe, die in jedem Bereich eines jeden Bildes des Untersuchungsobjekts korrigiert wird, die durchschnittliche Graustufe ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Graustufe, die in jedem Bereich eines jeden Bildes des Untersuchungsobjekts korrigiert ist, der Medianwert der Graustufe ist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Graustufe von zumindest einem Pixel, der für jedes Bild des Untersuchungsobjekts ausgewählt wurde, korrigiert wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Kalibrieren vor der Erfassung der Bildfolge des Untersuchungsobjekts durchgeführt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei jede durchschnittliche Graustufe der Reihen von Folgen der Kalibrierung durch Beobachtung von zumindest einer Kalibrierplatte einer bestimmten Dicke erhalten wird, die jede Kalibriereinrichtung umfaßt, wobei sich die Dicke von einer Reihe zur anderen ändert.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 oder 8, wobei die durchschnittliche Graustufe unter Verwendung mehrerer Interessenbereiche während des Kalibrierens bestimmt wird,
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das Abziehen des Korrekturschritts einerseits von der Graustufe in jedem Beobachtungsbereich und andererseits von der Lage des Beobachtungsbereichs relativ zu jedem Interessenbereich abhängt.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 oder 8, wobei der Wert, der von jedem Bild der Bildfolge des Objekts abgezogen wird, einerseits eine Funktion der Lage des Beobachtungsbereichs und andererseits eine bestimmte räumliche Verstärkungsfunktion ist,
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Kalibrieren während des Erfassens der Bildfolge des Beobachtungsobjekts durchgeführt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei sich jede Kalibriereinrichtung in einem Erfassungsfeld des Geräts befindet, in dem sich auch das Untersuchungsobjekts befindet.
14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei jede Kalibriereinrichtung zumindest zwei Interessenbereiche umfaßt, die eine durchschnittliche Graustufe haben, die sich von einem Bereich zum anderen für jedes Bild unterscheidet.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, wobei der Wert, der von jedem Bild der Bildfolge des Objekts abgezogen wird, einerseits eine Funktion des Beobachtungsbereichs und andererseits eine Funktion der räumlichen Verstärkung des Geräts ist.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, wobei die Kalibriermessungen von zumindest zwei Erfassungen aufeinanderfolgender Folgen kombiniert werden.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 16, wobei die Kalibriermessungen von zumindest zwei Erfassungen aufeinanderfolgender Folgen, die unterschiedliche Kalibriereinrichtungen haben, kombiniert haben.
18. Gerät (1) zum Erfassen eine Folge von Röntgenbildern eines Untersuchungsobjekts (42) mit: einer Einrichtung (8), um für jedes Bild einer Folge, die von dem Gerät erfaßt wurde, und für eine vorgegebene Erfassungsfrequenz das Gerät zu kalibrieren, das Einrichtungen zur Bestimmung des Werts der Variation eines Durchschnitts der Graustufen in zumindest einem ausgewählten Interessenbereich des gegenwärtigen Bilds von zumindest einer Kalibriereinrichtung (40) und zur Bestimmung der Variation relativ zu der durchschnittlichen Graustufe des ersten Bilds der Folge in jedem Interessenbereich aufweist; einer Einrichtung (8), um die Bestimmung der Variation einer Reihe von Bildfolgen, die unter Verwendung der

Kalibriereinrichtungen erfaßt wurden, zu wiederholen, was zu ersten Bildern der durchschnittlichen Graustufen führt, die sich von einer Folge zur anderen unterscheiden; einer Einrichtung (8), um jedes Bild einer Bildfolge des Untersuchungsobjekts (42) zu korrigieren, das Beobachtungsbereiche aufweist, die unterschiedliche Graustufen haben, und die Variation einer Graustufe relativ zu dem ersten Bild des Objekts vom gegenwärtigen Bild abzuziehen, wobei das Abziehen eine Funktion der Graustufe ist, die für jeden Interessenbereich betrachtet wird.

19. Gerät (1) nach Anspruch 18 mit:
einer Einrichtung (8) zur Annäherung einer graphischen Darstellung, die entsprechend als Ordinate und Abszisse aufweist: ein Verhältnis, das im Zähler die Variation des durchschnittlichen Grauwerts des gegenwärtigen Bildes der Folge der Kalibriereinrichtung relativ zu der durchschnittlichen Graustufe des ersten Bildes und im Nenner die durchschnittliche Graustufe des ersten Bildes hat; und die unterschiedlichen durchschnittlichen Graustufen eines jeden ersten Bildes hat; und einer Einrichtung (8) zur Verwendung einer Funktion, deren Eigenschaften von einem Nutzer des Geräts (1) bestimmt werden können.

20. Computerprogramm mit einer Codeeinrichtung, die auf einem Computer oder einer Verarbeitungseinrichtung alle Schritte des Anspruchs 1 ausführt.

21. Computerprogramm auf einem Speichermedium, das auf einem Computer oder einer Verarbeitungseinrichtung alle Schritte des Anspruchs 1 ausführt.

22. Computergerät oder Verarbeitungseinrichtung zur Ausführung aller Schritte des Anspruchs 1.

23. Verfahren zum Betreiben einer Einrichtung zur Datenverarbeitung mit: für jedes Bild einer Folge, die von einem Gerät erfaßt wird, und für eine vorgegebene Erfassungsfrequenz der Folge wird das Gerät kalibriert, indem der Wert der Variation eines Durchschnitts der Graustufen in zumindest einem Interessenbereich des gegenwärtigen Bildes von zumindest einer Kalibriereinrichtung bestimmt wird, wobei die Variation relativ zu der durchschnittlichen Graustufe des ersten Bildes der Folge in jedem Interessenbereich bestimmt wird; die Bestimmung der Variation für eine Reihe von Bildfolgen wiederholt wird, die unter Verwendung von Kalibriereinrichtungen erfaßt wurden, was zu ersten Bildern mit durchschnittlichen Graustufen führt, die sich von einer Folge zur nächsten unterscheiden; und jedes Bild einer Bildfolge des Untersuchungsobjekts korrigiert wird, das Beobachtungsbereiche umfaßt, die unterschiedliche Graustufen aufweisen, indem die Variation einer Graustufe relativ zu dem ersten Bild des Untersuchungsobjekts von dem gegenwärtigen Bild abgezogen wird, wobei das Abziehen eine Funktion der Graustufe ist, die für jeden Beobachtungsbereich betrachtet wird.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

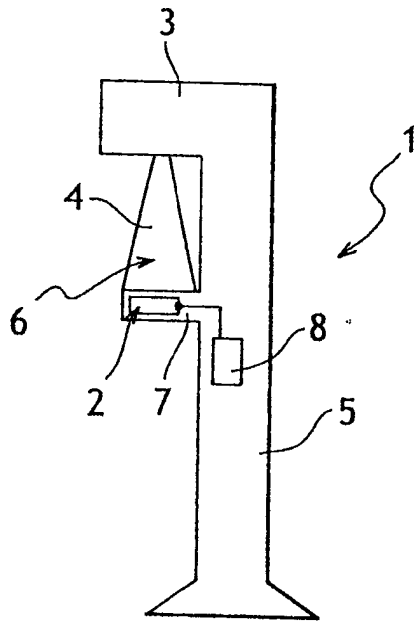


FIG.1

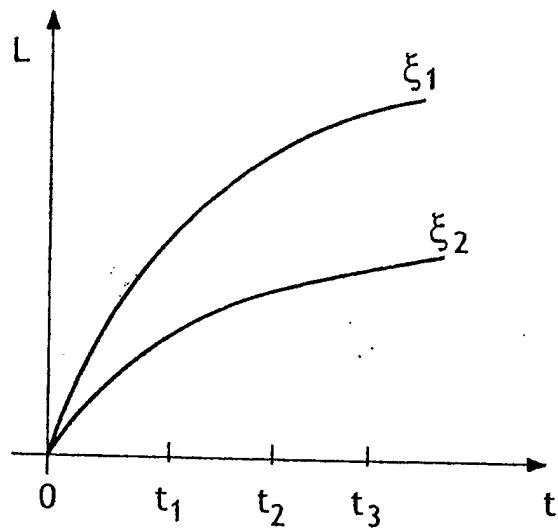


FIG.2

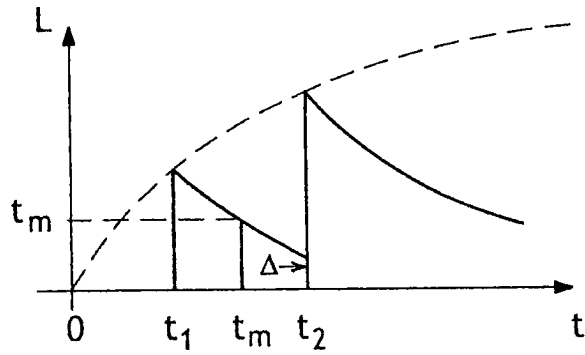


FIG.3

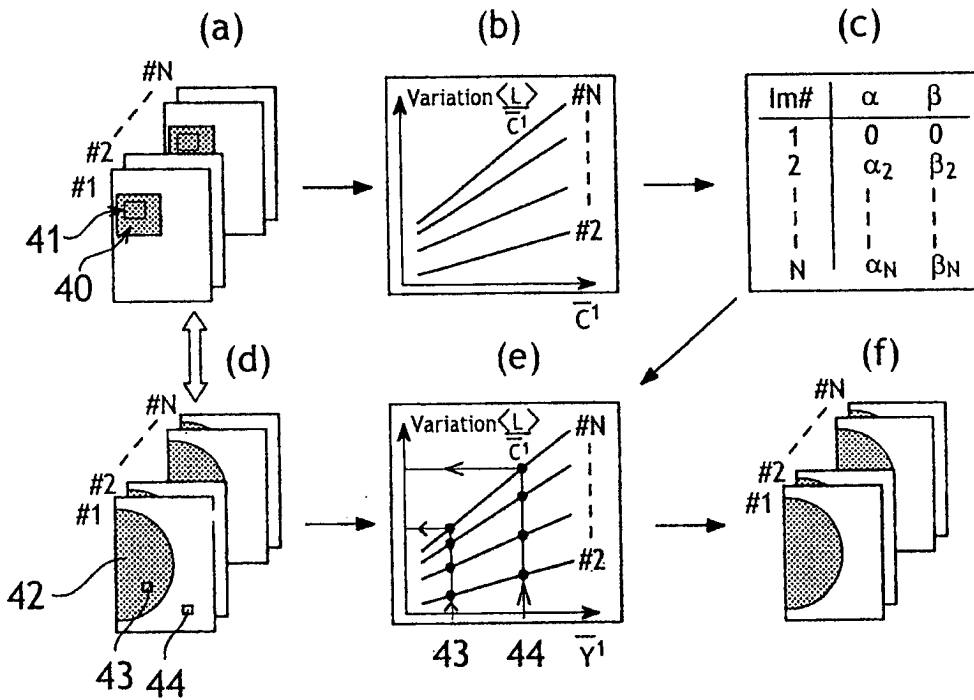


FIG.4

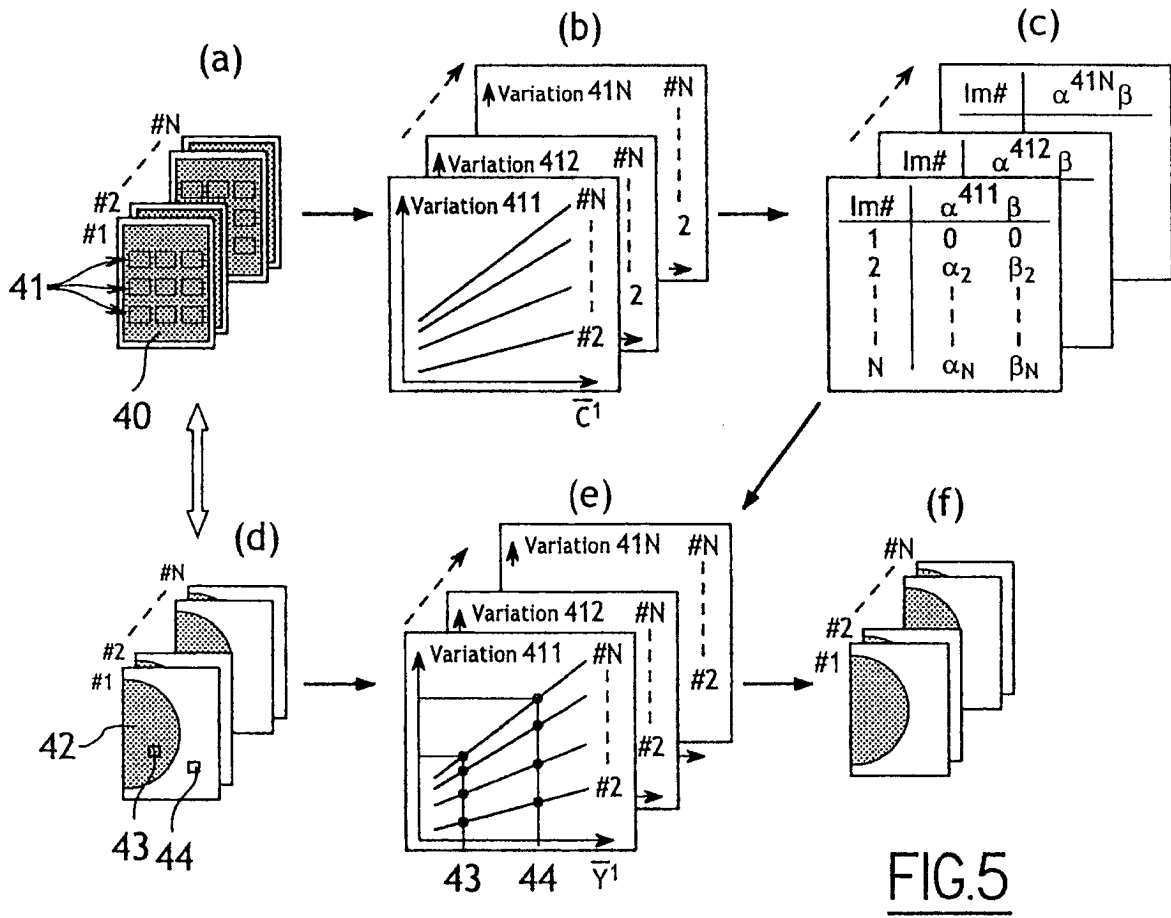


FIG. 5

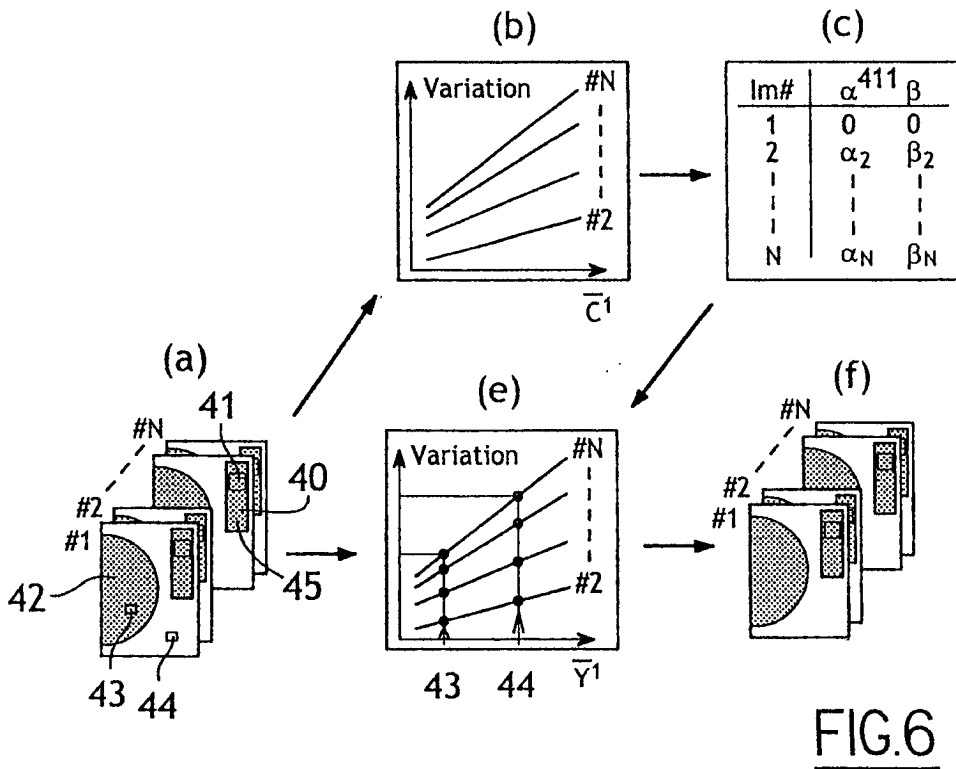


FIG. 6

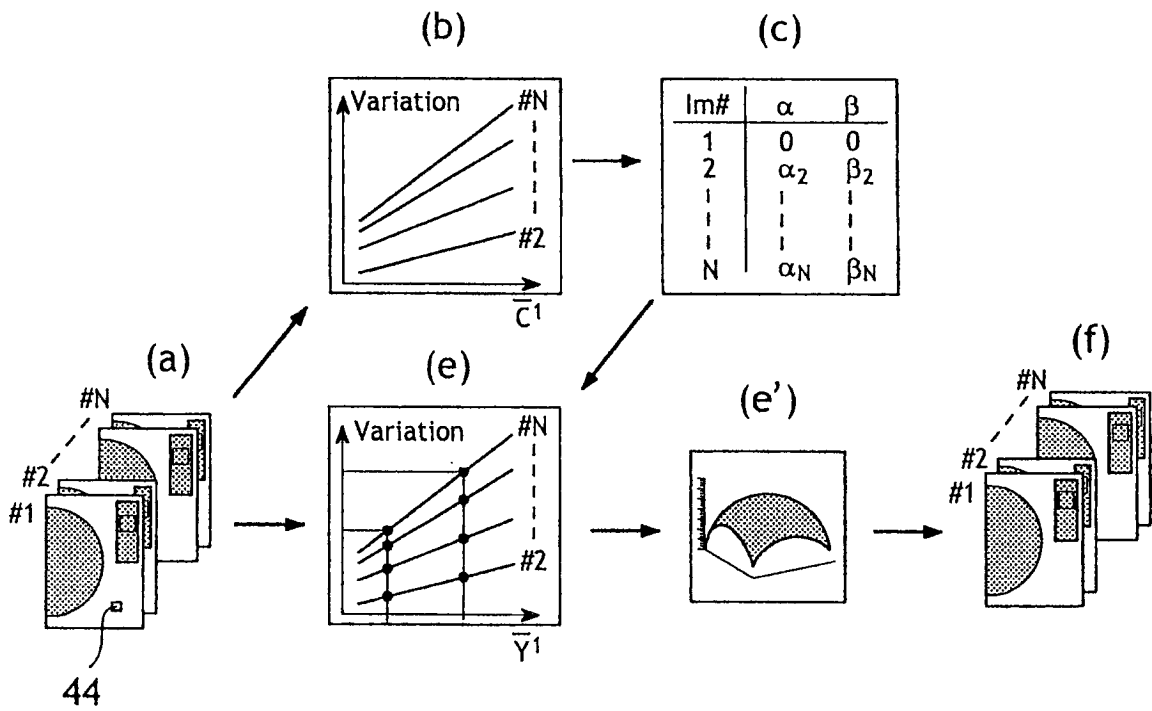


FIG.7

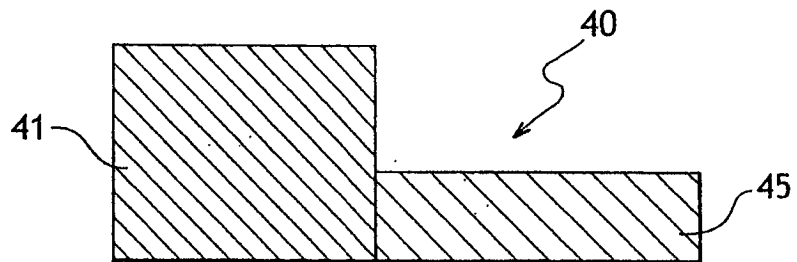


FIG.8

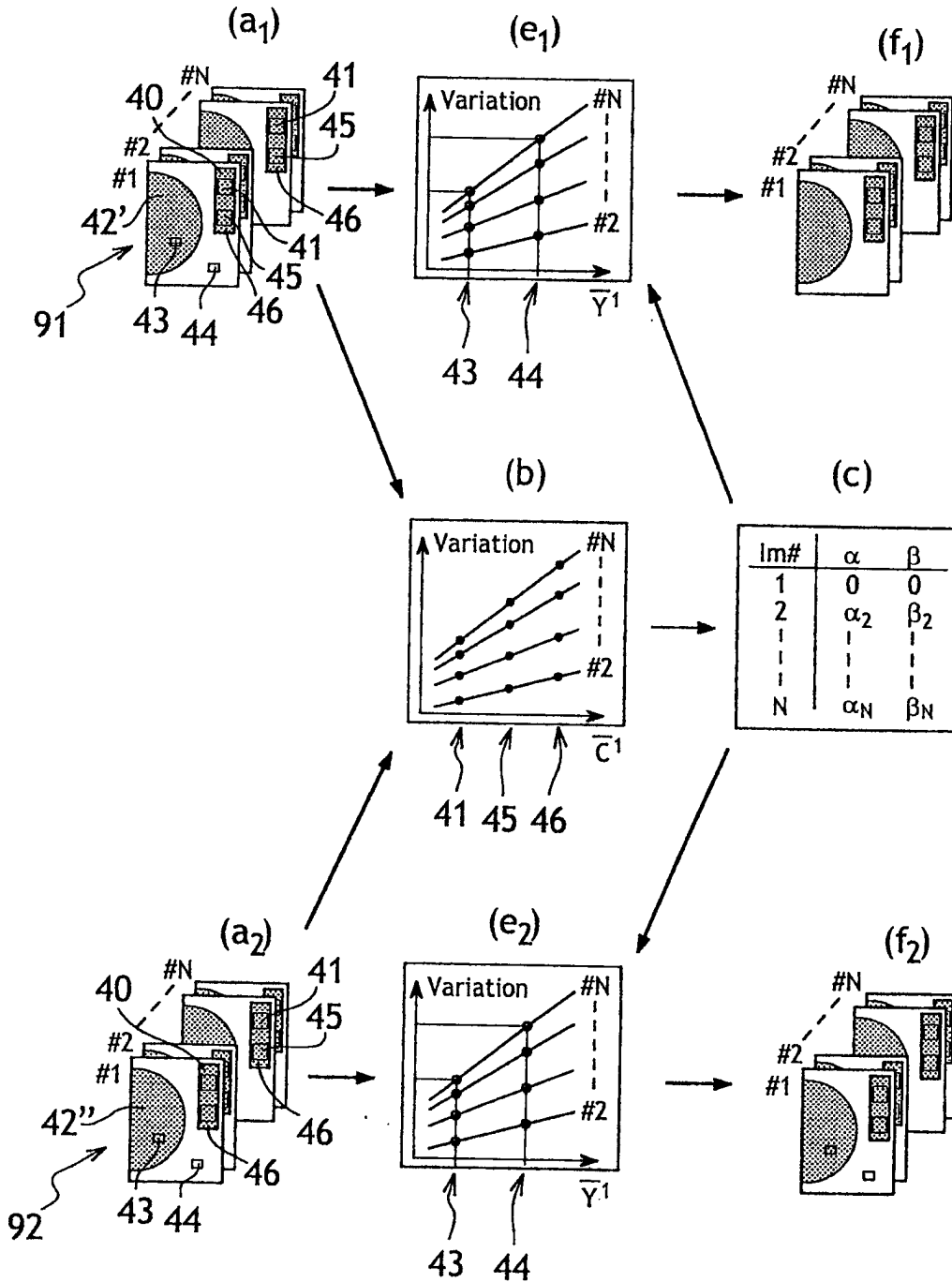


FIG. 9

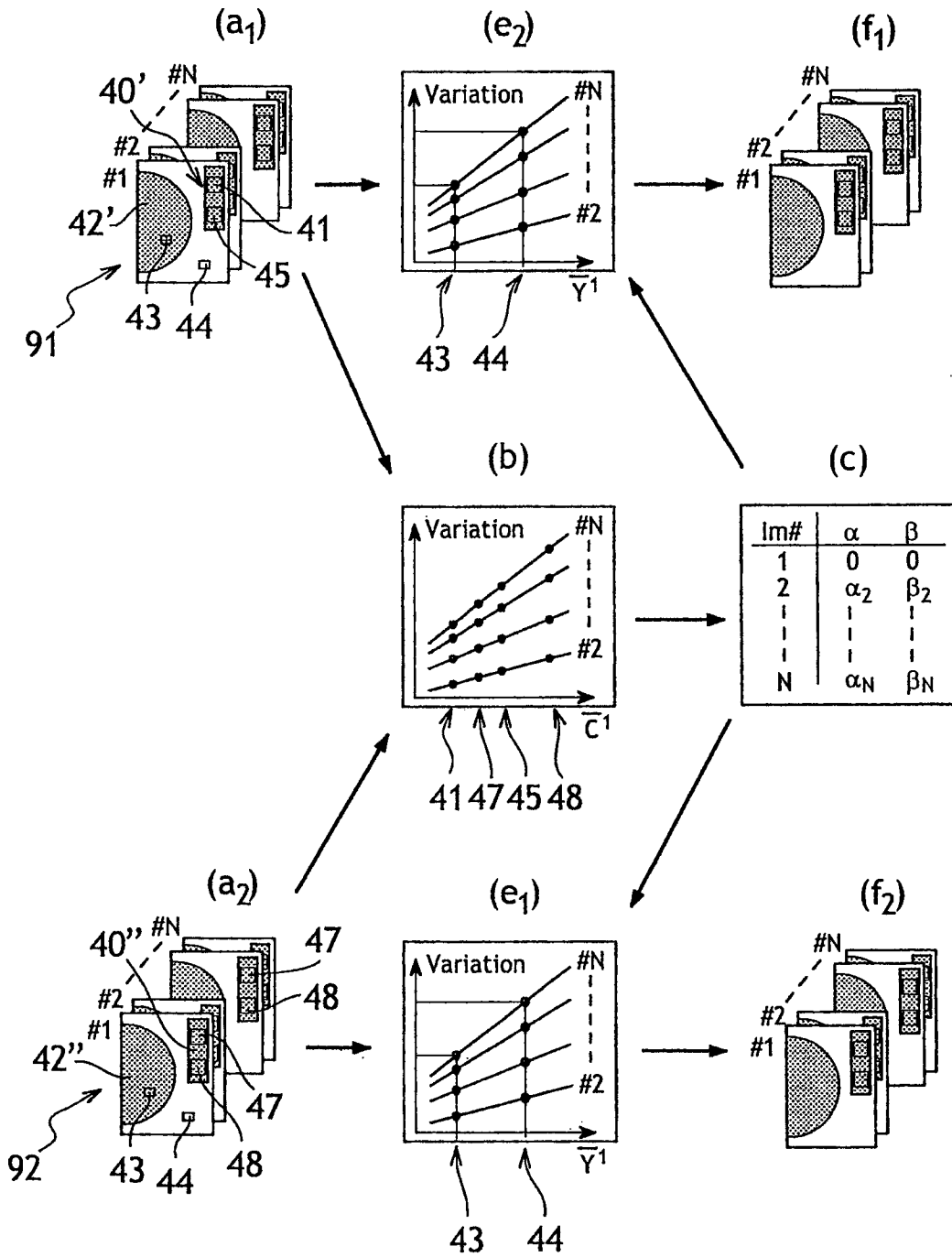


FIG.10