



(10) **DE 11 2017 001 477 T5** 2018.12.06

(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2017/162507**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜG)

(51) Int Cl.: **G06T 5/00 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2017 001 477.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/EP2017/056190**

(86) PCT-Anmeldetag: **16.03.2017**

(87) PCT-Veröffentlichungstag: **28.09.2017**

(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **06.12.2018**

(30) Unionspriorität:
16161833.5 **23.03.2016** **EP**

(74) Vertreter:
**Meissner Bolte Patentanwälte Rechtsanwälte
Partnerschaft mbB, 80538 München, DE**

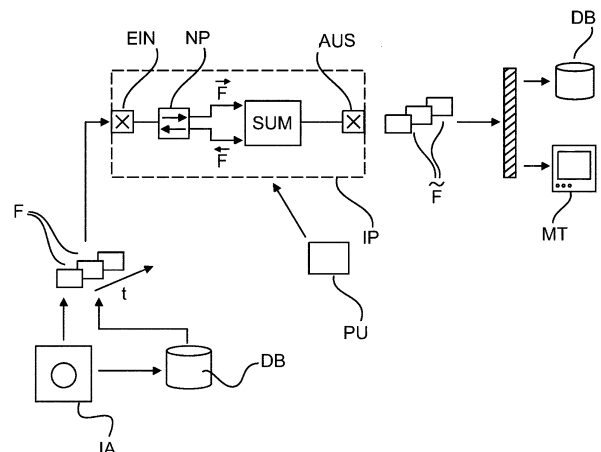
(71) Anmelder:
Koninklijke Philips N.V., Eindhoven, NL

(72) Erfinder:
Keijzers, Bruno, Eindhoven, NL

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **VERBESSERTE BILDQUALITÄT DURCH ZWEISTUFIGE TEMPORALE
RAUSCHUNTERDRÜCKUNG**

(57) Zusammenfassung: Ein Bildprozessor (IP) und ein damit verbundenes Verfahren. Der Prozessor (IP) umfasst eine Eingabeschnittstelle (EIN) für den Empfang einer Eingabesequenz (F) von Einzelbildern, die durch eine Bildgebungs-
vorrichtung (IA) erfasst wurden. Ein temporaler Rauschfilter (NP) des Prozessors (IP) ist so konfiguriert, dass er die Eingabesequenz bidirektional in mindestens zwei rauschbearbeitete Sequenzen (F^{LR} , F^{RL}) verarbeitet. Eine Vorrichtung zum Zusammenführen (SUM) des Prozessors (IP) ist konfiguriert, um die mindestens zwei rauschbearbeiteten Sequenzen in eine Ausgabesequenz (Formel (A)) zusammenzuführen.



Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen Bildprozessor, ein Bildverarbeitungsverfahren, ein Bildverarbeitungssystem, ein Computerprogrammelement und ein computerlesbares Medium.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] In der medizinischen Bildgebung ist Bildqualität zum Beispiel wichtig, um diagnostische oder interventionelle Verfahren sicherzustellen. Ein wichtiger Indikator für die Bildqualität ist der Rauschpegel in den erfassten Bildern. Eine Möglichkeit, den Rauschpegel zu reduzieren, ist es, rekursive Rauschunterdrückungsfilter zu verwenden. Es wurde jedoch festgestellt, dass das Bildrauschen in einer Sequenz von Bildern, welche durch solche Filter verarbeitet wurden, ungleichmäßig über die Sequenz verteilt ist.

KURZFASSUNG DER ERFINDUNG

[0003] Es kann daher notwendig sein, die Bildqualität für Bildverarbeitungsverfahren und die dazugehörigen Systeme zu verbessern.

[0004] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung wird durch den Gegenstand der unabhängigen Ansprüche gelöst, in denen weitere Ausführungsformen in den abhängigen Ansprüchen enthalten sind. Es sei darauf hingewiesen, dass die im Folgenden beschriebenen Aspekte der Erfindung gleichermaßen für die Bildverarbeitungsmethode, das Bildverarbeitungssystem, das Computerprogrammelement und das computerlesbare Medium gelten.

[0005] Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung ist ein Bildprozessor bereitgestellt, der umfasst:

eine Eingabeschnittstelle zum Empfangen einer Eingabesequenz von Einzelbildern, die durch eine Bilderzeugungsvorrichtung erfasst wurden;

mindestens einem temporalen Rauschfilter, der konfiguriert ist, die Eingabesequenz bidirektional in mindestens zwei rauschbearbeitete Sequenzen zu verarbeiten; und

eine Vorrichtung zum Zusammenführen, die konfiguriert ist, um mindestens zwei rauschbearbeitete Sequenzen zu einer Ausgabesequenz zusammenzuführen.

[0006] Gemäß einem Aspekt ist die bidirektionale temporale Rauschbearbeitung rekursiv.

[0007] Die Eingabeeinzelbilder werden bidirektional oder in „zwei Stufen“ verarbeitet, indem durch die Eingabesequenz in eine Richtung (z. B. vom ersten Einzelbild zum letzten Einzelbild der Eingabesequenz) gegangen wird, um die erste rauschbearbeitete Sequenz zu erhalten, und dann wird die Rauschbearbeitung in die entgegengesetzte Richtung durch die (oder eine Kopie der) Eingabesequenz durchgeführt, um die zweite rauschbearbeitete Sequenz zu erhalten. Das Zusammenführen der zwei Sequenzen, die durch die bidirektionale Verarbeitung erhalten werden, ermöglicht es die Rauschinformation zu erschließen, die in einer der rauschbearbeiteten Sequenzen vorhanden ist, um ein Fehlen davon in der anderen bildverarbeiteten Sequenz zu kompensieren. Der Mangel an Rauschinformation kann mit dem rekursiven Charakter des Rauschfilters verbunden sein. Eine allgemeine Rauschunterdrückung kann in der zusammengeführten Sequenz auf diese Weise erreicht werden. Insbesondere und in einer Ausführungsform ermöglicht der vorgeschlagene Bildprozessor das Erzielen eines Rauschpegels (Leistungspegels), der im Wesentlichen über zumindest einen Anfangs- oder Endabschnitt der Ausgabesequenz hinweg konstant ist.

[0008] Gemäß einem Aspekt ist die Vorrichtung zum Zusammenführen so konfiguriert, dass mindestens ein Einzelbild von einem ersten Abschnitt eines der mindestens zwei rauschbearbeiteten Sequenzen durch ein entsprechendes Einzelbild aus einer anderen der mindestens zwei rauschbearbeiteten Sequenzen ersetzt wird. Der Ersetzungsvorgang soll breit ausgelegt werden, um nicht nur die Modifikation einer der ersten oder zweiten rauschbearbeiteten Sequenzen zu umfassen, sondern auch das Kopieren von mindestens einer der zwei rauschbearbeiteten Sequenzen in eine dritte Sequenz, in der keine Modifikation eines der beiden ersten oder zweiten rauschbearbeiteten Einzelbilder erfolgt.

[0009] Nach einem Aspekt ist die Vorrichtung zum Zusammenführen dafür konfiguriert, den Mittelwert aus den beiden rauschbearbeiteten Sequenzen zu bilden. Insbesondere wird ein gewichtetes Mittelwertberechnungs-

schema verwendet. In einer Ausführungsform ist die Mittelwertbildung dafür konfiguriert, die Bewegung eines abgebildeten Objekts während der Erfassung der Eingabesequenz zu berücksichtigen.

[0010] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung ist ein Bildverarbeitungsverfahren bereitgestellt, das umfasst:

Dem Empfangen einer Eingabesequenz von Einzelbildern, die von einer Bildgebungsvorrichtung erfasst wurden;

der Anwendung einer bidirektionalen temporalen Rauschbearbeitung der Eingabesequenz, um mindestens zwei rauschbearbeitete Sequenzen zu erzeugen; und

Zusammenführen der mindestens zwei rauschbearbeiteten Sequenzen in eine Ausgabesequenz.

[0011] Gemäß einer Ausführungsform ist die bidirektionale temporale Rauschbearbeitung rekursiv.

[0012] Gemäß einer Ausführungsform schließt das Zusammenführen das Ersetzen von mindestens einem Einzelbild von einem anfänglichen Abschnitt eines der mindestens zwei rauschbearbeiteten Sequenzen durch ein entsprechendes Einzelbild aus einer anderen der mindestens zwei rauschbearbeiteten Sequenzen ein.

[0013] Gemäß einer Ausführungsform schließt das Zusammenführen die Mittelwertbildung von Einzelbildern aus den beiden rauschbearbeiteten Sequenzen ein.

[0014] Gemäß einer Ausführungsform ist der Rausch-Leistungs-Pegel im Wesentlichen durchgehend aber zumindest über einen Anfangs- oder Endabschnitt der Ausgabesequenz hinweg konstant.

[0015] Die Einzelbilder können beliebige von i) Röntgenbildern, ii) Ultraschallbildern und iii) Magnetresonanzbildern sein. In einer Ausführungsform verschlüsseln die erfassten Einzelbilder der Eingabesequenz ein sich bewegendes Objekt.

[0016] Gemäß einem weiteren Aspekt wird ein Bildverarbeitungssystem bereitgestellt, das umfasst:

einen Bildprozessor wie in einer der oben genannten Ausführungsformen;

der Bildgebungsvorrichtung, die die Eingabesequenz von Einzelbildern liefert.

[0017] Gemäß einem weiteren Aspekt wird ein Computerprogrammelement bereitgestellt, das, wenn es von einer Verarbeitungseinheit ausgeführt wird, angepasst ist, um das Verfahren nach einem der oben erwähnten Aspekte auszuführen.

[0018] Gemäß einem weiteren Aspekt ist ein computerlesbares Medium mit darauf gespeichertem Programmelement, wie oben erwähnt, bereitgestellt.

Figurenliste

[0019] Beispielhafte Ausführungsformen der Erfindung werden nun unter Bezugnahme auf die folgenden Zeichnungen beschrieben, in denen:

Fig. 1 ein schematisches Blockdiagramm einer Bildgebungsanordnung einschließlich eines Bildprozessors zeigt;

Fig. 2 ein Blockdiagramm des Bildprozessors in **Fig. 1** zeigt;

Fig. 3 die Verteilung des Rauschpegels für Bildsequenzen zeigt;

Fig. 4 beispielhaft die Bilder, die hier erhalten worden sind, zeigt;

Fig. 5 ein Ablaufdiagramm des Bildverarbeitungsverfahrens zeigt; und

Fig. 6 die unterschiedlichen Ausführungsformen der Zusammenführung von Bildsequenzen zeigt.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0020] Mit Bezug auf **Fig. 1** ist ein Bildverarbeitungssystem IPS dargestellt. Das Bildverarbeitungssystem IPS besteht aus einer bildgebenden Modalität oder Bildgebungsvorrichtung (bezeichnet als „Bildwandler **IA**“), das

einen Datenstrom (das heißt, eine Sequenz) von Bildern liefert. Die Bilder in der Sequenz werden hier als „Einzelbild“ bezeichnet.

[0021] Die Bildsequenz **F** wird durch einen Bildprozessor **IP** verarbeitet, um Rauschen in den Einzelbildern der Eingabesequenz **F** zu reduzieren. In einer Ausführungsform ist der Bildwandler **AI** ein Röntgenbildgerät, das in einem fluoroskopischen Bildgebungsverfahren verwendet wird, um bildgebungsgeführte Unterstützung für einen Eingriff zu bieten. Beispielhafte Anwendungen solcher Röntgenbildgeräte **IA** sind kardiale Bildgebung, für die ein Katheter in den Körper des Patienten eingeführt wird.

[0022] Das Objekt oder der interessante Bereich, der abgebildet werden soll, wie zum Beispiel das Herz, kann sich bewegen oder deformieren, während die Bildsequenz **F** durch den Bildwandler **IA** erfasst wird, wobei die Bildsequenz **F** somit die Bewegung des Objekts verschlüsselt.

[0023] Eine Reihe von verschiedenen Modalitäten sind hierbei vorgesehen. Zum Beispiel kann der Bildwandler **IA** anstelle eines interventionellen C-Bogen-Röntgenbildgeräts, welches hierin vorzugsweise betrachtet wird, ein CT-Bildwandler sein. In einer anderen Ausführungsform ist der Bildwandler **IA** ein Ultraschallgerät oder Magnetresonanztomograph.

[0024] Je nach verwendeter Bildgebungsmodalität erkennt ein Detektorgerät des Bildwandlers **IA** Bildsignale, die durch Analog-Digitalschaltkreise in Zahlen umgewandelt werden, hier Bild- oder Pixel- oder Voxelwerte genannt. Je nachdem, ob die erfassten Bilder 2D oder 3D sind (beide davon hierin vorgesehen), sind diese Werte in 2D- oder 3D-Matrizen entsprechend angeordnet. Obwohl wir uns im Folgenden vor allem auf 2D-Bilder beziehen, dies soll in der folgenden Beschreibung 3D-Bilder nicht ausschließen, welche hier ebenfalls ausdrücklich vorgesehen sind. Auch soweit es den CT-Kontext betrifft, kann das im Folgenden beschriebene System und Verfahren in der Projektionsdomäne oder der Bildgebungsdomäne angewendet werden.

[0025] Ein individuelles Einzelbild, das zum Zeitpunkt t erfasst wurde, wird im Folgenden als I_t bezeichnet und $I_t(x,y)$ kennzeichnet die Pixel in diesem Einzelbild an der Stelle x,y mit den Bildkoordinaten x,y , welche Spalten und Zeilen in der 2D-Matrix angeben. Ein Fachmann wird verstehen, dass diese Schreibweisen und Terminologien jederzeit auf 3D-Bilderzeugung erweitert werden können.

[0026] Die Einzelbilder I_t in der Eingabesequenz **F** werden vorzugsweise in einer Aufnahme bei einer festen oder variablen Bildrate fps erfasst. In der fluoroskopischen Einstellung und mit einer Bildrate von etwa 5 zu 15 (z. B. 7,5) Einzelbildern pro Sekunde, besteht die Eingabesequenz **F** in der Regel aus Einzelbildern in der Zehner- oder Hunderter-Größenordnung. Obwohl jedes Einzelbild auf einem Anzeigegerät, z. B. einem Monitor **MT**, als Standbild angezeigt werden kann, wird hierin vorzugsweise die Visualisierung in einer Video- oder Cinesequenz bedacht. Dies wird erreicht, indem ein Videosteuergerät (nicht gezeigt) verwendet wird, das das Anzeigen der Einzelbilder I_t auf dem Anzeigegerät **MT** in einer Abfolge bewirkt, die schnell genug ist, um dem Betrachter den Eindruck eines bewegten Bildes zu vermitteln. Auf diese Art und Weise kann die Dynamik des bewegten Objekts untersucht werden. Im Prinzip kann die erfasste Sequenz auf dem Monitor **MT** „live“ angezeigt werden, d. h. die Anzeige erfolgt in Echtzeit, während die Einzelbilder I_t erfasst werden. Was vor allem hierin vorgesehen ist, ist jedoch die Anzeige der Bilder im Rückblicksmodus. In diesem Modus werden die Einzelbilder I_t nicht direkt während der Erfassung angezeigt (auch wenn dies immer noch durchgeführt werden kann), sondern vorzugsweise erst in einem Puffer oder einem anderen Speichermedium wie einer Datenbank, wie zum Beispiel einem RIS oder PACS (Bildarchivierung) eines Krankenhausinformationssystems (KIS) oder einem anderen, erfasst, das schematisch im Blockdiagramm in **Fig. 1** als **DB** angezeigt ist.

[0027] Insbesondere werden die aufgenommenen I_t nicht für die Anzeige gerendert, während sie erfasst werden, sondern werden nur angezeigt, nachdem eine vollständige Abfolge von Einzelbildern erfasst wurde. Mit anderen Worten, eine komplette Eingabesequenz wird zuerst aufgenommen, gespeichert und dann durch einen Bildprozessor **IP** verarbeitet, wie im Folgenden näher erläutert werden wird. Während Eingriffen, wie in der oben erwähnten kardialen Anwendung, wird der Rückblicksmodus in der Regel direkt nach der Aufnahme aufgerufen, so dass in diesem Fall die aufgenommenen Bilder möglichst schnell zugänglich, lokal in einem lokalen Zwischenspeicher gespeichert sind und dann im Rückblicksmodus auf dem Monitor **MT**, der sich bei dem Bildwandler **IA** befindet, in eine Videosequenz umgewandelt werden. Die permanente Speicherung in dem PACS oder auf einem anderen zentralen Server erfolgt, wenn überhaupt, zu einem späteren Zeitpunkt, z. B. beim Abschluss des Verfahrens.

[0028] Der Bildprozessor **IP** umfasst, als allgemeine Komponenten, eine Eingabeschnittstelle **EIN**, wo die Einzelbilder einer Eingabesequenz **F** empfangen werden. Ein Rauschunterdrückungsprozessor **NP** (oder

„Rauschfilter“, beide werden hierin austauschbar verwendet) verarbeitet dann die Eingabesequenz **F** und erzeugt als Zwischenergebnisse zwei Zwischenbildsequenzen FL und FR, die gleich lang wie die der Eingabeeinzelbilder **F** sind. Die Bezeichnungen für die zwei Zwischensequenzen „ F^{LR} “, „ F^{RL} “, wobei „L“ „links“ und „R“ „rechts“ anzeigt, werden in Kürze ersichtlich. Diese beiden rauschbearbeiteten Zwischenbildsequenzen F^{LR} und F^{RL} werden dann durch eine Vorrichtung zum Zusammenführen SUM zu einer Ausgabesequenz \tilde{F} zusammengeführt, die an der Ausgabeschnittstelle AUS ausgegeben wird.

[0029] Die so verarbeitete oder verbesserte rauschunterdrückte Ausgabesequenz **F** hat weniger Rauschen als die Eingabesequenz **F** und/oder zeigt weniger Bildartefakte, die durch die Bewegung des Objekts von Interesse entstanden sind. Das rauschunterdrückte und/oder bewegungsartefaktreduzierte Ausgabebild **F** kann in demselben oder einem anderen Speicher DB gespeichert werden und kann zur Anzeige als Standbild oder vorzugsweise als Videosequenz gerendert werden oder anderweitig weiter bildverarbeitet werden. Die Eingabesequenz **F**, die an der Eingabeschnittstelle EIN empfangen wird, muss nicht unbedingt in einem Block empfangen werden, sondern kann der Eingabeschnittstelle des Bildprozessors auch Bild für Bild zugeführt werden.

[0030] Der Bildprozessor **IP** kann vollständig auf einem Arbeitsplatz oder einem anderen allgemeinen Datenverarbeitungsgerät PU, das mit dem Bildwandler **IA** verbunden ist, betrieben werden. Als Alternative dazu ist die Implementierung in einer verteilten Rechnerarchitektur ebenfalls vorgesehen, in der der Prozessor **IP** einer Vielzahl von Bildwandlern **IA** dient. Als eine weitere Variante kann der Bildwandler **IP** als ein mobiles Bildüberprüfungssoftwaremodul („mobile App“) implementiert werden, das von einem oder auf einem tragbaren Gerät wie einem Laptop, einem Tablet- („Smart“-)Telefon usw. herunterladbar und/oder ausführbar ist. Das Handgerät kann zur Verbindung mit dem Bildspeicherserver DB betrieben werden, lädt die Bildsequenz, die überprüft werden soll, herunter und die verarbeitete Ausgabesequenz \tilde{F} ist auf dem nativen Bildschirm des Handgeräts ansehbar. Einige oder alle Komponenten des Prozessors **IP** können als Hardware gestaltet sein, wie z. B. in einem entsprechend programmierten FPGA (Field-Programmable Gate Array) oder als fest verdrahteter IC-Chip.

[0031] Unter Bezugnahme auf den Rauschreduktionsprozessor NP ist dieser insbesondere als ein Prozessor zur temporalen Rauschreduktion vorgesehen. „Temporal“ in diesem Zusammenhang bedeutet, dass die Pixel in den Einzelbildern über die Reihenfolge der Einzelbilder verarbeitet werden (in Zeit, also „temporal“) und nicht unbedingt räumlich innerhalb jedes Einzelbildes verarbeitet werden, obwohl Ausführungsarten vorgesehen sind, in denen temporale Filterung zusammen mit räumlicher Filterung erfolgt. Wie im Blockdiagramm in der **Fig. 2** gezeigt und speziell ausdrücklich hierin als eine bevorzugte Ausführungsform vorgesehen, ist der Rauschreduktionsprozessor NP rekursiv. Vor allem und gemäß einer Ausführungsform basiert der Rauschprozessor auf gewichteter Einzelbild-Mittelwertbildung gemäß:

$$\tilde{I}_{t+\Delta t}(x, y) = W1 \cdot \tilde{I}_t(x, y) + W2 \cdot I_{t+\Delta t}(x, y) \quad (1)$$

[0032] Vorzugsweise, aber nicht notwendigerweise, werden die Gewichtungen normalisiert ($W1+W2=1$). Die rauschbearbeiteten oder „verbesserten Einzelbilder“ werden durch das Symbol \tilde{I} gekennzeichnet und Roh-Bilder sind mit I gekennzeichnet. „Rekursives Filtern“, wie es hierin hauptsächlich betrachtet wird, impliziert, dass ein bereits verbessertes Einzelbild zur Zeit t wiederverwendet wird (d. h. aus dem Speicher FM abgerufen wird), um das nächste verbesserte Einzelbild bei Index $t + \Delta t$ zu berechnen.

[0033] In einer bestimmten Ausführungsform wird der folgende Rauschunterdrückungsalgorithmus verwendet:

$$\tilde{I}_{t+\Delta t}(x, y) = \mathbf{ATR} \cdot \tilde{I}_t(x, y) + (1 - \mathbf{ATR}) \cdot I_{t+\Delta t}(x, y) \quad (1a)$$

[0034] Mit fortgesetzter Bezugnahme auf **Fig. 2** ist der temporale Rauschprozessor nach (1a) nicht nur rekursiv, sondern auch „adaptiv“, da er eine Bewegungskompensationskomponente enthält, die durch die Gewichtungen **ATR** implementiert wird. Die Gewichtungen **ATR** (auch K-Faktoren genannt) sind eine Funktion, die durch Pixelunterschiede des Bildes definiert ist und deren genaue Charakteristik und das Profil der Funktion von Anwendung zu Anwendung unterschiedlich sein können. Insbesondere hängt die Funktion von dem Maß der Bewegung des Objekts während der Erfassung ab. Insbesondere die (normierte) Gewichtung **ATR** ist eine Funktion der Differenz des Pixelwertes (z. B. Grauwert oder Farbwert usw.) bei Pixel-Koordinate (x, y) zwischen \tilde{I}_t und $I_{t+\Delta t}$. Je größer die Differenz ist, desto größer ist das Maß der Bewegung, das angenommen wird, dass es bei Δt aufgetreten ist, und desto kleiner ist der K-Faktor (z. B. 0, 1). Auf diese Weise kann lokal Ausgleich für die Bewegung geschaffen werden. Mit anderen Worten ist das neue verbesserte Einzelbild $\tilde{I}_{t+\Delta t}(x, y)$ fast gleich

dem neuen eingegebenen Einzelbild $I_t + \Delta_t(x,y)$, und die Menge der durchzuführenden Mittelwertbildung wird nach Gleichung (1a) reduziert. Umgekehrt gilt, je kleiner die Pixeldifferenz ist (was als Hinweis darauf gewertet wird, dass keine oder nur ein geringes Maß der Bewegung aufgetreten ist), desto größer ist der K-Faktor (z. B. 0,9), und das zuvor verbesserte Einzelbild $I_t(x,y)$ wird im Endergebnis $I_t + \Delta_t(x,y)$ stark gewichtet. In diesem Fall wird erhebliche Rauschunterdrückung erreicht. Um zu klassifizieren, wie klein oder wie groß eine Pixeldifferenz ist, erfolgt eine Schätzung des Rauschpegels in dem Bild. Das kann durch den Einsatz von statistischen Maßnahmen erreicht werden. Zum Beispiel werden punktweise statistische Varianz oder Standardabweichung oder höhere Momente in einer angemessenen kleinen Umgebung um das jeweilige Pixel berechnet, und die tatsächliche Differenz wird dann gegen das statistische Maß verglichen. Die tatsächliche Pixeldifferenz kann dann gegen die einfache oder zweifache Standardabweichung in „klein“ oder „groß“ eingestuft werden. Die Klassifizierung wird vorzugsweise konfiguriert, um zwischen (Quanten-)Rauschen und Intensitätsveränderungen im Bild durch Änderung von Inhalten des Bildes zu unterscheiden.

[0035] Unter erneuter Bezugnahme auf die Gleichungen (1), (1a) versteht es sich, dass stattdessen andere gewichtete Mittelwertbildungsschemata verwendet werden können, die nicht notwendigerweise mit der Bewegungskompensation in Beziehung stehen. Die Gewichtung kann auch festgesetzt sein oder kann von etwas anderem als der Pixeldifferenz abhängen.

[0036] In (1), (1a) verwenden wir nicht-negative ganze Zahlen $t = 1, 2, \dots, T$, um den Index jedes Einzelbildes in der Sequenz zu bezeichnen, obwohl dies nur zur konzeptionellen Einfachheit ist, da andere geeignete Indizes in einer technischen Implementierung verwendet werden können, wie zum Beispiel Zeitstempel, die anzeigen, wann das jeweilige Einzelbild durch den Bildwandler erfasst wurde. Andere geeignete Indexierung schließt Seriennummern usw. ein. Jedes andere Indexierungsschema kann verwendet werden, das eindeutig die zeitliche Beziehung zwischen den Einzelbildern und der zeitlichen Reihenfolge, in der die Einzelbilder erfasst wurden, zeigt. Unsere Notation hierin ist daher ohne Verlust der Allgemeinheit, da jedes geeignete Indexierungsschema auf einen Abschnitt der nicht-negativen ganzen Zahlen $1, \dots, T$ abgebildet werden kann, wobei „1“ der Index des ersten Einzelbildes und T der Index des letzten Einzelbildes ist, und daher ist T die Gesamtlänge des Abbildungslaufs (das heißt, T ist die Anzahl von Einzelbildern in der Eingabesequenz F).

[0037] Wie hierin vorgesehen, verarbeitet der temporale Rauschfilter NP die Eingabesequenz F in einer bidirektionalen Art und Weise. Mit anderen Worten, in einem Schritt, schreitet der temporale Rauschfilter NP rekursiv durch die Eingabesequenz vom ersten Einzelbild in Richtung des letzten Einzelbildes. Dies führt zu der Links-nach-rechts-Zwischensequenz F^{LR} . Zusätzlich zu diesem Schritt in der Verarbeitung verarbeitet der Rauschunterdrückungsprozessor NP auch die Eingabesequenz in die entgegengesetzte Richtung, das heißt, er geht auch durch die Sequenz F vom letzten Einzelbild in Richtung des ersten Einzelbildes, um so die Rechts-nach-links-Zwischensequenz F^{RL} zu produzieren. Die Reihenfolge, in der die beiden Einzelbilder F^{LR} und F^{RL} produziert werden, ist unerheblich. Jedes der Zwischenergebnisse F^{LR} , F^{RL} stellt alleinig eine entsprechende einstufige-Rauschfilterung dar, aber zusammen genommen bilden sie die zweistufige-Ausgabe des vorgeschlagenen Rauschprozessors oder -filters NP.

[0038] Die bidirektionale Verarbeitung oder zweistufige Verarbeitung (bei der die Eingabesequenz in einem Durchgang und dann wieder in der entgegengesetzten Richtung verarbeitet wird) ermöglicht die Lösung eines Problems mit rekursiver Filterung, an dem aktuelle Filterverfahren mit nur einer Stufe leiden, und dies wird nun mehr im Detail erläutert: Bei der Untersuchung der funktionalen Architektur des rekursiven Rauschprozessors NP nach Gleichung (1), (1a) (und/oder **Fig. 2**) ist zu sehen, dass die Ausgabe $I_t + \Delta_t(x,y)$ des Rauschprozessors NP für die Position $t + \Delta t$ in der Eingabesequenz F , eine Funktion von i) des aktuellen Einzelbildes $I_t + \Delta_t(x,y)$ in F und ii) eines Einzelbildes $I_t(x,y)$, das bereits für eine frühere Position t verarbeitet wurde, ist. Von dem rekursiven Rauschprozessor NP kann daher gesagt werden, dass er ein rekursives „Rückwärtsbetriebsfenster“ w_{bw} von „Länge 1“, (hierin bezeichnet als $w_{bw} = 1$) besitzt. Das heißt, um ein aktuelles Einzelbild an der angegebenen Position $t + \Delta$ zu filtern, muss der Filter NP ein vorher verarbeitetes Einzelbild, das von einem früheren Einzelbild t der Sequenz berechnet wurde, abrufen. Anders gesagt, die rekursive Verarbeitung mit Betriebsfenster der Länge Eins ($w_{bw} = 1$) erfordert als Eingabe mindestens ein früher verarbeitetes Bild, um die späteren Einzelbilder der Eingabesequenz zu verarbeiten. Dies kann ohne Weiteres auf rekursives Filtern mit Rückwärts-Betriebsfenster der Länge größer als 1, wie zwei, drei, usw. verallgemeinert werden, alle hierin als alternative Ausführungsformen vorgesehen. Als Folge dieses Zurückreichens in die Sequenz bei der Verarbeitung der Einzelbilder, können die ersten Einzelbilder $1, 2 \dots w_{bw}$ nicht verarbeitet werden, da nicht genügend Informationen zur Verfügung stehen, das heißt, es gibt nicht genug frühere Einzelbilder. Das früheste Einzelbild, das durch einen solchen rekursiven Filter bearbeitet werden kann, ist bei Index $t = w_{bw} + 1$.

[0039] Zur Veranschaulichung dieses Effektes dieses zurückreichenden Merkmals des rekursiven Filters wird nun Bezug auf eine schematische Darstellung der Rausch-Leistungspegel-Kurven in **Fig. 3** genommen. Der Rauschpegel NL (entlang der vertikalen Achse dargestellt) wird gegen die Position des Einzelbildes t (horizontal) graphisch dargestellt. Der Rauschpegel wird in einer geeigneten Maßeinheit in einem Hintergrundteil des Bildes oder einem anderen Bereich des Bildes, ohne eigentliche Bildinformationen (z. B. ohne graue oder farbige Werte) gemessen, wie zum Beispiel statistische Varianz oder Standardabweichung.

[0040] Die ununterbrochene Linie zeigt den Rauschpegel bei der rekursiven Bearbeitung in eine Richtung (von links nach rechts) durch die Eingabesequenz F und die gepunktete Linie zeigt den Rauschpegel bei der rekursiven Bearbeitung in die andere Richtung, von rechts nach links. Mit anderen Worten, die ununterbrochene Linie ist die Rauschpegelverteilung über die Links-nach-rechts-Zwischensequenz F^{LR} und dementsprechend ist die gepunktete Linie die Rauschpegelverteilung über die Rechts-nach-links-Zwischensequenz F^{RL} . Die jeweils ersten Abschnitte (einschließlich insbesondere des ersten Einzelbildes des Eingabeeinzelbildes F) weisen aufgrund der Nicht-Null-Länge des Vorwärtsbetriebsfensters, wie oben erläutert, ein höheres Rauschen als die folgenden Einzelbilder auf. Insbesondere kann das erste Einzelbild nicht rauschbearbeitet werden. Der Rauschinhalt ist hier am höchsten. Der Rauschinhalt fällt dann nach und nach in den jeweiligen Rekursionsfortschritten in beide Richtungen, bis sich der Rauschpegel schließlich stabilisiert (in **Fig. 3** bei ungefähr 0,3; dieser Wert ist aber lediglich ein numerisches Beispiel). Mit anderen Worten ist in einem einzigen Durchgang der Verarbeitung die Leistungspegel-Verteilung über die verarbeitete Sequenz ungleichmäßig. Insbesondere ist sie über den ersten Abschnitt für die verarbeitete Sequenz in Richtung der Verarbeitung monoton fallend. Dies gilt für beide Richtungen der Verarbeitung, d. h. für Links-nach-rechts- und die Rechts-nach-links-Rekursionen. Der Rauschpegel ist in einem anfänglichen Abschnitt der Sequenz bezogen auf die Richtung der Rekursion hoch. Dieser anfängliche Abschnitt enthält insbesondere die Positionen von Index $t=1$ (das erste Einzelbild) bis zum Index $t=w_{bw}$ ($1 < t < w_{bw}$) oder (für die Rechts-nach-links-Sequenz F^{RL}) Positionen $T, \dots, T-w_{bw}$. Kurz gesagt der Begriff „anfänglicher Abschnitt“ ist bezogen auf die rekursive Verarbeitungsrichtung. Der anfängliche Abschnitt ist daher mindestens so lang wie die Länge des Vorwärtsbetriebsfensters.

[0041] Der anfängliche Abschnitt kann weiterhin einen Übergangsabschnitt der ersten Einzelbilder mit einem Index höher als w_{bw} umfassen. Die Steigung des Rauschpegels verringert sich, bis sich der Rauschpegel stabilisiert und im Wesentlichen für den Rest der Rekursion konstant bleibt. Die genaue Anzahl der Einzelbilder, die notwendig ist, um die Stabilisierung zu erreichen, hängt von den Besonderheiten der Eingabebilder ab, aber zumindest bei Fluoroskopieaufnahmen kann eine Rauschstabilisierung nach ca. 3-10 Einzelbildern erreicht werden; doch nochmals, diese Zahlen sind nicht unbedingt die Begrenzung und sind insbesondere vom k -Faktor abhängig.

[0042] Der Mangel an Informationen im ersten Abschnitt, der dazu führt, dass diese ungleichmäßige Rauschpegelverteilung über die rauschpegelbearbeiteten Sequenzen F^{LR}, F^{RL} durch die Zusammenführung der beiden Zwischensequenzen in einer Ausführungsform kompensiert werden kann, um eine im Wesentlichen gleichmäßige oder konstante Rauschpegelverteilung über alle Sequenzpositionen in dem Ausgabeeinzelbild F zu erhalten. Dieses konstante Rauschprofil ist in **Fig. 3** als die gestrichelte Kurve dargestellt. Das letzte Einzelbild in der Rechts-nach-links-Rekursion entspricht dem ersten Einzelbild der Eingabesequenz, aber dem letzten Einzelbild, da es aus der anderen Richtung verarbeitet worden ist, und beinhaltet jetzt die rauschunterdrückende Information, die durch die Rekursion der zweiten Stufe von rechts-nach-links erhalten wurde. Und diese zusätzliche Information kann in der Zusammenführung für die endgültige Ausgabe verwendet werden. Das Gleiche gilt insbesondere auch für alle Einzelbilder im ersten Abschnitt.

[0043] **Fig. 4A** zeigt exemplarische Röntgenbildaufnahmen, die durch ein vorgeschlagenes Verfahren gegenüber einer bloßen einstufigen Rauschbearbeitung in der Sequenz in **Fig. 4B** erhalten werden können. Die verwendete Dosierung ist vergleichbar mit der bei Fluoroskopie, einer der bevorzugten Anwendungen des vorgeschlagenen Bildprozessors NP.

[0044] Die drei Einzelbilder a), b) und c) in **Fig. 4A** zeigen eine Rauschpegelverteilung, die im Wesentlichen über die Einzelbilder konstant ist. Im Unterschied dazu ist der Rauschpegel im ersten Einzelbild a) in der Sequenz 4B deutlich stärker als in den folgenden Einzelbildern b), c) und dies wird optisch deutlich durch die gröbere Bildtextur in dem Einzelbild a) der Sequenz 4B.

[0045] Das höhere Bildrauschen insbesondere im anfänglichen Abschnitt einer Einzelbildsequenz kann die Leistung der Bewegungskompensation miteinschließen. Im Vergleich zu der Sequenz in **Fig. 4B** gibt es weniger Bewegungsartefakte als in der bidirektional-bearbeiteten Sequenz in **Fig. 4A**. Das Testobjekt in den beispielhaft aufgezeichneten Bildern ist eine rotierende Scheibe, die sich in eine bildgebende Richtung entlang der

Achse, um die sich die Scheibe dreht, weiterdrehte, während die Eingabesequenz F aufgenommen wurde. Um Bildbewegungsartefakte zu provozieren, wurde eine Büroklammer an der sich drehenden Scheibe befestigt. Die weißen Pfeile nacheinander in **Fig. 4B** zeigen das Bewegungsartefakt, das durch Rotation der Büroklammer verursacht wurde, während diese Bewegungsartefakte in den entsprechenden Einzelbildern der Ausgabesequenz **Fig. 4A** dank der verbesserten Rauschverarbeitung nicht mehr vorhanden sind. Genauer gesagt, ist dies dank des reduzierten Rauschpegels auch in den Einzelbildern des anfänglichen Abschnitts erreichbar.

[0046] Es sollte darauf hingewiesen werden, dass alles, was oben im Zusammenhang mit der rekursiven Rauschbearbeitung gesagt wurde, auch vorhanden ist, wenn die rekursive Rauschbearbeitung mit einem Vorwärtsbetriebfenster w_{fw} erfolgt ist. Vor allem in diesem Fall wird ein gegebenes Einzelbild basierend auf Informationen von ein, zwei oder mehr folgenden Einzelbildern rauschbearbeitet. Im Gegensatz zum Rückwärtsfensterbetrieb ist in der vorwärtsfensterbasierten Rekursion es dann gegen Ende der Sequenz, wo man keine Information mehr hat. Auch in diesem Zusammenhang mit Vorwärtsfenster-Rauschbearbeitung kann die bidirektionale Bearbeitung in einem zweistufigen Ansatz und der anschließenden Zusammenführung der beiden so erhaltenen Zwischensequenzen ebenfalls zu einer verbesserten Reduzierung des Rauschpegels in der gesamten Ausgabesequenz führen. Insbesondere herrscht ein wesentlich konstanter Rauschpegel, sogar in dem letzten Abschnitt. Es sollte in den oben genannten Erklärungen weiter verstanden werden, dass es dual mit der Definition des ersten Abschnitts eine ähnliche Definition für „letzten Abschnitt“ für Einzelbilder gegen Ende des rekursiven Fortschreitens und Einzelbilder mit Indizes, die in den letzten w_{fw} -Einzelbildern liegen, gibt angesichts der Links-nach-rechts- oder Rechts-nach-links-Rekursionsrichtung. Also alles, was oben in Bezug auf die Rückwärtsfensterbetrieb gesagt wurde, gilt sinngemäß für auf Vorwärtsfensterbetrieb basierte Rauschrekursion.

[0047] Es wird nun auf **Fig. 5** Bezug genommen, in der ein Bildverarbeitungsverfahren beschrieben wird. Es sollte darauf hingewiesen werden, dass die folgende Beschreibung der Verfahrensschritte nicht unbedingt an die Architektur gebunden ist, wie in **Fig. 1, Fig. 2** gezeigt und erklärt wurde.

[0048] In Schritt S510 wird die Eingabesequenz F zumindest teilweise durch eine Bilderzeugungsvorrichtung erfasst. Die Bildsequenz kann direkt durch den Bildwandler geliefert werden oder kann im Bearbeitungsmodus aus einem Speicher, wie z. B. einer Datenbank oder Puffer oder anderem, abgerufen werden. Die individuellen Einzelbilder in der Eingabesequenz können auf einmal empfangen werden oder einzeln geliefert werden.

[0049] In Schritt S520 wird ein bidirektionaler temporaler Rauschbearbeitungsalgorithmus auf die Eingabesequenz F angewendet. Das ergibt zwei rauschbearbeitete Sequenzen F^{LR} und F^{RL} . Die Rauschbearbeitung ist rekursiv. Mit anderen Worten wird die rekursive Verarbeitung in einem ersten Durchgang auf die Eingabesequenz von einem Ende zum anderen angewendet, zum Beispiel von links-nach-rechts und dann in die entgegengesetzte Richtung von rechts-nach-links. Die Reihenfolge der Bearbeitung von F^{LR} und F^{RL} ist unerheblich. Am besten ist es der gleiche temporale und rekursive Rauschalgorithmus, der in der bidirektionalen Bearbeitung angewendet wird, obwohl Ausführungsformen, in denen verschiedene rekursive Algorithmen für jede Richtung benutzt werden, auch vorgesehen sind.

[0050] Die bidirektionale Rauschbearbeitung in Schritt S520 kann auf vielerlei Arten implementiert werden. Zum Beispiel kann die Eingabesequenz sequentiell bearbeitet werden, das heißt, die erste Stufe wird verarbeitet wie beschrieben, und am Ende der ersten Stufe wird die zweite Stufe in die entgegengesetzte Richtung dann bearbeitet. Aber die parallele Verarbeitung von zwei Prozessoren kann ebenfalls vorgesehen werden, in der die rekursive temporale Rauschbearbeitung in einer ersten Stufe in eine Richtung auf die Eingabesequenz F und die gleiche (oder eine andere) Rauschbearbeitung wird gleichzeitig von einem anderen Prozessor in die andere Richtung auf einer Kopie der Eingabesequenz angewendet. Andere Umsetzungsvarianten der bidirektionalen rekursiven Rauschbearbeitung sind auch vorgesehen, zum Beispiel ist die Rauschbearbeitung in eine der beiden Richtungen verschachtelt. Ein geeignetes temporales bidirektionales Rauschbearbeitungsschema ist wie oben in **Fig. 2** erläutert, aber andere nicht auf Mittelwertbildung basierte Filter sind ebenfalls vorgesehen, solange sie rekursiv sind.

[0051] In einer Ausführungsform wird die Eingabesequenz, um den zweiten Durchlauf auszuführen, in umgekehrter Reihenfolge kopiert (also das letzte Einzelbild entspricht dem ersten Einzelbild der Sequenz). Es ist dann diese umgekehrte Sequenz, F^{-1} , die dann in die gleichen Rauschfilterungspipeline gespeist wird, um so eine einfache Umsetzung der bidirektionalen Verarbeitung, wie hier vorgeschlagen ist, zu erreichen. Es versteht sich jedoch, dass eine tatsächliche Umkehrung der Eingabesequenz nicht unbedingt erforderlich ist, da Zeiger- oder Listenvariablen oder ähnliche Datenverarbeitungsstrukturen, die in der Eingabesequenz F defi-

niert sind, verwendet werden können, um die Einzelbilder in den zwei Reihenfolgen in die bidirektionale Richtung des Rauschfilteralgorithmus von Schritt S520 zu speisen.

[0052] In Schritt S530 werden die zwei Zwischensequenzen F^{LR} , F^{RL} , die in Schritt S520 in der bidirektionalen Verarbeitung erzeugt werden, dann zumindest teilweise zusammengeführt oder kombiniert, um so die rauschbearbeitete Ausgabesequenz \tilde{F} zu bilden.

[0053] In Schritt S540 ist dann die Ausgabesequenz F weiter bildverarbeitet, zum Beispiel gespeichert, als Standbilder dargestellt oder vorzugsweise in einer Video-/Cinensequenz am Anzeigegerät durch ein geeignetes Videoverarbeitungssteuergerät oder anderweitig verarbeitet, (Farb-) oder anderweitig gefiltert, komprimiert usw.

[0054] Für den Kombinations- oder Zusammenführungsschritt S530 sind eine Reihe von verschiedenen Ausführungsformen vorgesehen und diese werden jetzt mit besonderem Bezug auf **Fig. 6** beschrieben.

[0055] Insbesondere in den Graphen der **Fig. 6** Index t ist die Ausgabesequenz F (die der erwarteten Länge der Eingabesequenz und daher der der zwei Zwischensequenzen entspricht,) auf der horizontalen Achse dargestellt. Die vertikale Achse misst den relativen Beitrag der Einzelbilder aus den beiden Zwischensequenzen F^{LR} , F^{RL} in der Zusammenführung/Berechnung der jeweiligen Einzelbilder der Ausgabesequenz. Speziell in **Fig. 6** zeigt die gepunktete Kurve die Gewichtung der Einzelbilder aus der Links-nach-rechts F^{LR} -Sequenz im Arbeitsgang der Zusammenführung, während die gestrichelte Kurve den Gewichtungsbeitrag der Rechts-nach-links-Sequenz F^{RL} zeigt.

[0056] Speziell in der Ausführungsform der **Fig. 6A** werden die Einzelbilder im anfänglichen Abschnitt einer der Zwischensequenzen (z. B. F^{LR} , aber das ist nicht einschränkend, da die Rolle der Einzelbilder umgekehrt sein kann) durch entsprechende Einzelbilder der anderen Zwischensequenz ersetzt, in diesem Fall F^{RL} . Dieser Ansatz kann vorteilhaft sein, wenn ein Rauschfilterschema mit Rückwärtsfensterbetrieb verwendet wird. Analog dazu können ein oder mehrere Einzelbilder im letzten Abschnitt einer der Sequenzen durch ein oder mehrere entsprechende der anderen Sequenz ersetzt werden. Diese Vorgehensweise ist sinnvoll, wenn ein Vorwärtsfensterbetrieb für die rekursive Rauschbearbeitung verwendet wird.

[0057] Wie bereits erwähnt wurde, beinhaltet der anfängliche (oder letzte) Abschnitt die anfänglichen (oder letzten) K-Einzelbilder der Sequenzen F^{LR} , F^{RL} (und damit auch in der Ausgabesequenz F). Zum Beispiel kann der letzte Abschnitt nur aus dem ersten Einzelbild an der Stelle $t=1$ gebildet werden, und/oder der letzte Abschnitt kann durch das letzte Einzelbild bei $t=T$ gebildet werden, so dass der letzte und/oder der ersten Abschnitt jeweils ein einzelnes Einzelbild beinhalten. Insbesondere und in einer Ausführungsform werden nur das erste oder letzte Einzelbild ersetzt. Alternativ kann die Anzahl K der Einzelbilder, die ersetzt werden, größer als eins sein. Doch vor allem sind es die ersten K -Einzelbilder (bzw. das letzte K Einzelbild), die ersetzt werden. Noch spezifischer sind es die ersten K -Einzelbilder in der Links-nach-rechts-Sequenz F^{LR} , die von den entsprechenden Einzelbildern aus der Rechts-nach-links-Sequenz F^{RL} ersetzt werden. Diese Ausführungsform ist insbesondere nützlich, wenn der Rückwärtsfensterbetrieb, wie er in Schritt S320 verwendet wird, größer als 1 ist. Dann entspricht die Anzahl der ersetzten Einzelbilder vorzugsweise der Fensterlänge. Es kann auch von Vorteil sein, noch mehr Einzelbilder zu ersetzen, $w_{bw} + g$ ($g \geq 1$), wo g entweder vom Benutzer festgesetzt ist oder als Systemparameter eingestellt werden kann. Ein Ersetzen der Einzelbilder im letzten Abschnitt ist insbesondere nützlich, wenn die Rauschbearbeitung einen Vorwärtsfensterbetrieb verwendet und das Obige ist sinngemäß anwendbar auf diese Ausführungsform.

[0058] Die Ausführungsform der Zusammenführung, die in **Fig. 6A** dargestellt ist, kann mehr formal als Pseudo-Code-Schnipsel geschrieben werden oder als Fall $w_{bw} - 1$: -

wenn $k < p$

$$\tilde{F} = I[k](x, y) \text{ _zusammengeführt } = F^{RL}[k](x, y)$$

oder

$$\tilde{F} = I[k](x, y) \text{ _zusammengeführt } = F^{LR}[k](x, y)$$

worin:

n = Anzahl der Bilder in der Sequenz

k = Index in $(1 \dots n)$

p = Anzahl im Bereich $2 \dots n-2$ (z. B. ist ein besonderer Fall $p = n/2$, wo der Arbeitsgang in zwei Teile gleicher Länge aufgeteilt ist).

[0059] Es sollte klar sein, dass in der obigen Ausführungsform (und einigen der folgenden Ausführungsformen), in der das Zusammenführen durch (teilweise) Ersetzung erreicht wird, der Ersetzungsvorgang allgemein zu verstehen ist, da er beispielsweise durch Kopieren der jeweiligen Einzelbilder in ein drittes Einzelbild implementiert werden kann.

[0060] Im Gegensatz zu dem Ersetzen innerhalb einer der Zwischensequenzen, um so eine Modifikation der jeweiligen Sequenz während des Ersetzens zu bewirken, findet keine derartige Modifikation statt, wenn die Einzelbilder in die dritte Sequenz kopiert werden, die dann die Ausgabesequenz bildet. Dieser spätere Ansatz hat den Vorteil, dass beide Zwischenbilder behalten werden und während der Verarbeitung nicht verloren gehen. Wenn andererseits Speicherbeschränkungen zu beachten sind (z. B. wenn das Verfahren als eine „mobile App“ auf einem Handgerät implementiert ist), kann ein mehr speicherbewusster Ansatz gewählt werden, indem die tatsächliche Ersetzung an einer der Zwischensequenzen selbst durchgeführt wird.

[0061] Eine Alternative zur Zusammenführung durch Ersetzung ist in **Fig. 6B** dargestellt, in der eine progressive Mittelwertbildung aus den beiden Zwischensequenzen F^{LR} und F^{RL} verwendet wird. Speziell und nach der Ausführungsform in **Fig. 6B**, werden die ersten paar (oder nur das erste Einzelbild) durch das eine oder die mehreren entsprechenden Einzelbilder aus der zweiten Sequenz, wie in **Fig. 6A**, ersetzt, während die restlichen Einzelbilder jetzt durch Mittelwertbildung (insbesondere durch die gewichtete Mittelwertbildung) aus den beiden Sequenzen kombiniert werden, wobei sich die Gewichte als Funktion der Indexposition t ändern. Ungefähr in der Mitte oder im mittleren Teil der Ausgabesequenz werden Einzelbilder aus den beiden Sequenzen mit jeweils ungefähr dem gleichen Gewicht gemittelt. Bei der Mittelwertbildung der Einzelbilder in Richtung des letzten Abschnitts werden die Gewichte für Einzelbilder der anderen Sequenz nach und nach dominanter. Auf diese Weise wird ein gleitendes und gegensätzliches gewichtetes Mittelwertbildungsschema implementiert, wobei Einzelbilder von einer Sequenz eine progressive höhere Gewichtung in der Mittelwertbildung auf Kosten von Einzelbildern der anderen Sequenz erhalten, die weniger gewichtet werden, wenn man durch die Indizes der Ausgabesequenz fortschreitet. Die Ausführungsform in **Fig. 6B** kann mehr formal als Pseudo-Code geschrieben werden $F = I[k](x,y)_{\text{zusammengeführt}} = (k/n) * F^{LR}[k](x,y) + (1-(k/n)) * F^{RL}[k](x,y)$.

[0062] Eine weitere Ausführungsform für das Zusammenführen ist in **Fig. 6C** dargestellt. Hier werden die Einzelbilder in einer der Sequenzen durch entsprechende aus dem ersten Abschnitt und/oder dem letzten Abschnitt ersetzt, wie in der obigen Ausführungsform **Fig. 6A** erklärt wurde. Für Indizes im mittleren Abschnitt zwischen dem letzten und dem anfänglichen Abschnitt, werden die Einzelbilder durch Mittelwertbildung mit gleichem Gewicht der beiden Zwischensequenzen berechnet. Die Ausführungsform in **Fig. 6C** kann mehr formal in Pseudo-Code geschrieben werden als:

wenn $k < p$

$$\tilde{F} = I[k](x,y)_{\text{zusammengeführt}} = F^{LR}[k](x,y)$$

oder wenn $k > n - p$

$$\tilde{F} = I[k](x,y)_{\text{zusammengeführt}} = F^{RL}[k](x,y)$$

oder

$$\tilde{F} = I[k](x,y)_{\text{zusammengeführt}} = (F^{LR}[k](x,y) + F^{RL}[k](x,y)) / 2.$$

[0063] Als eine Erweiterung ist auch jede abschnittsweise Kombination aller obigen Ausführungsformen A, B und C von **Fig. 6** vorgesehen.

[0064] Die Rauschpegelkurve, die für das Zusammenführen durch Ersetzen gemäß **Fig. 6A** erhalten wurde, ist ähnlich der durchgezogenen Kurve, die zuvor in **Fig. 3** diskutiert wurde. Wenn eine Mittelwertbildung für Einzelbilder zwischen dem Anfangs- und dem Endabschnitt wie in **Fig. 6B, C** verwendet wird, wird der Rausch-

pegel noch niedriger sein, da die Rauschinformationsextraktion für Einzelbilder im mittleren Abschnitt (etwa in der Position in der Mitte) maximal ist und man ein geringes Abfallen auf ein niedrigeres Rauschpegelplateau um die Mittelposition herum erwarten kann. Anstatt durchgehend ein im Wesentlichen konstantes Rauschkurvenprofil wie in der durchgehenden Kurve in **Fig. 3** zu haben, hat der Rauschpegel nun ein Schalenprofil, bei dem konstante Abschnitte links und rechts von der Mitte auf ein niedrigeres Rauschpegelplateau abfallen. Siehe Skizze der strichpunktiierten Kurve in **Fig. 3** als qualitatives Beispiel für ein solches Schalenprofil, d.h. eine nicht konstante Funktion mit einem Minimum im mittleren Bereich um das Zentrum herum. Insbesondere gibt es einen niedrigeren Rauschpegel im mittleren Abschnitt zwischen dem Anfangs- und dem Endabschnitt der Ausgabesequenz.

[0065] In jeder der obigen Ausführungsformen der Zusammenführung in **Fig. 6** wird gesagt, dass ein Einzelbild von einer Zwischensequenz F^{LR} oder F^{RL} einem anderen in der anderen Zwischensequenz entspricht, wenn es für das gleiche Einzelbild des Eingabeeinzelbildes F berechnet wird. Insbesondere kann die Korrespondenz durch Einzelbilder angezeigt werden, die den gleichen Index in den zwei Zwischensequenzen F^{LR} und F^{RL} aufweisen. Aber Index-Gleichstellung ist keine Notwendigkeit, da während der bidirektionalen Bildverarbeitung die Einzelbilder neu angeordnet werden können oder neu im zweiten Durchgang sortiert werden können, zum Beispiel wie oben in Schritt S320 gezeigt. Wenn ein Umsortieren von Indizes an der bidirektionalen rekursiven Verarbeitung beteiligt ist, kann diese Indexänderung in einer Abbildungsstruktur aufgezeichnet werden, die es dann später ermöglicht, die Übereinstimmung zwischen den Einzelbildern in den zwei Sequenzen nachzuverfolgen und wiederherzustellen.

[0066] Das vorgeschlagene zweistufige Rauschreduktionsschema kann auf beliebige Bilder, 2D oder 3D oder höherdimensionale angewendet werden und kann in der Projektions- oder Bilddomäne im CT angewendet werden und kann für andere Bildgebung, wie Röntgenbilder, Ultraschall (US), Magnetresonanz (MR) oder andere sogar für optische Bilder, verwendet werden.

[0067] In einer Ausführungsform umfasst das bidirektionale Zwei-stufige-Schema eine Bewegungskompensationskomponente, um Artefakte zu reduzieren, die durch Bewegung des abgebildeten Objekts entstehen. Dies kann wie oben in **Fig. 2** erläutert erfolgen, wobei Gewichtungen der Mittelwertbildung, die für die Rauschunterdrückungsverarbeitung verwendet werden, vom Maß der Bewegung abhängig gemacht werden, die über die jeweiligen Bilder detektiert wird, wenn die Rauschbearbeitung durch die Eingabesequenz fortschreitet.

[0068] In einer weiteren beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Computerprogramm oder ein Computerprogrammelement bereitgestellt, das dadurch gekennzeichnet ist, dass es angepasst dafür ist, die Verfahrensschritte des Verfahrens gemäß einer der vorhergehenden Ausführungsformen auf einem geeigneten System auszuführen.

[0069] Das Computerprogrammelement könnte daher in einer Computereinheit gespeichert sein, die auch Teil einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sein könnte. Diese Recheneinheit kann angepasst sein, um eine Durchführung der Schritte des oben beschriebenen Verfahrens durchzuführen oder zu veranlassen. Darüber hinaus kann es angepasst werden, um die Komponenten der oben beschriebenen Vorrichtung zu betreiben. Die Recheneinheit kann angepasst sein, um automatisch zu arbeiten und/oder die Befehle eines Benutzers auszuführen. Ein Computerprogramm kann in einen Arbeitsspeicher eines Datenprozessors geladen werden. Der Datenprozessor kann somit ausgerüstet sein, um das Verfahren der Erfindung auszuführen.

[0070] Dieses Ausführungsbeispiel der Erfindung umfasst sowohl ein Computerprogramm, das von Anfang an die Erfindung verwendet, als auch ein Computerprogramm, das mittels eines Updates eines bestehenden Programmes ein Programm umwandelt, das die Erfindung verwendet.

[0071] Weiterhin könnte das Computerprogrammelement alle notwendigen Schritte zur Verfügung stellen, um den Prozess einer beispielhaften Ausführungsform des oben beschriebenen Verfahrens zu erfüllen.

[0072] Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein computerlesbares Medium, wie beispielsweise eine CD-ROM, bereitgestellt, wobei auf dem computerlesbaren Medium ein Computerprogrammelement gespeichert ist, welches durch den vorhergehenden Abschnitt beschrieben ist.

[0073] Ein Computerprogramm kann gespeichert und/oder auf einem geeigneten Medium (insbesondere aber nicht notwendigerweise einem nicht-transitorischen Medium) wie einem optischen Speichermedium oder einem Festkörpermedium, das zusammen mit oder als Teil anderer Hardware geliefert wird, aber auch in an-

deren Formen ausgegeben werden, wie etwa über das Internet oder andere drahtgebundene oder drahtlose Telekommunikationssysteme.

[0074] Das Computerprogramm kann jedoch auch über ein Netzwerk wie das World Wide Web präsentiert werden und kann von einem solchen Netzwerk in den Arbeitsspeicher eines Datenprozessors heruntergeladen werden. Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird ein Medium zum Bereitstellen eines Computerprogrammelements zum Herunterladen bereitgestellt, welches eingerichtet ist, ein Verfahren gemäß einer der zuvor beschriebenen Ausführungsformen der Erfindung durchzuführen.

[0075] Es ist zu beachten, dass Ausführungsformen der Erfindung unter Bezugnahme auf verschiedene Gegenstände beschrieben werden. Insbesondere werden einige Ausführungsformen unter Bezugnahme auf Ansprüche vom Verfahrenstyp beschrieben, während andere Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die Vorrichtungstyp-Ansprüche beschrieben werden. Ein Fachmann wird jedoch aus den obigen Ausführungen und der folgenden Beschreibung erkennen, dass außer da, wo etwas anderes angegeben ist, zusätzlich zu jeder Kombination von Merkmalen, die zu einer Art von Gegenstand gehören, auch jede Kombination zwischen Merkmalen, die zu verschiedenen Gegenständen gehören, in dieser Anwendung in Betracht gezogen wird. Jedoch können alle Merkmale kombiniert werden, um synergetische Effekte bereitzustellen, die größer sind als die einfache Summierung der Merkmale.

[0076] Auch wenn die Erfindung im Detail in den Zeichnungen und der vorangehenden Beschreibung dargestellt und beschrieben wurde, sind eine derartige Darstellung und Beschreibung als veranschaulichend oder beispielhaft und nicht einschränkend zu betrachten. Die Erfindung ist nicht auf die offenbarten Ausführungsformen beschränkt. Andere Variationen der offenbarten Ausführungsformen können vom Fachmann beim Ausführen einer beanspruchten Erfindung, aus einem Studium der Zeichnungen, der Offenbarung und der abhängigen Ansprüche verstanden und bewirkt werden.

[0077] In den Patentansprüchen schließt das Wort „umfassen“ andere Elemente oder Schritte nicht aus, und der unbestimmte Artikel schließt eine Mehrzahl nicht aus. Ein einzelner Prozessor oder eine andere Einheit kann die Funktionen mehrerer in den Ansprüchen genannter Elemente erfüllen. Die bloße Tatsache, dass bestimmte Maßnahmen in voneinander verschiedenen abhängigen Ansprüchen genannt werden, bedeutet nicht, dass eine Kombination dieser Maßnahmen nicht vorteilhaft verwendet werden kann. Bezugszeichen in den Ansprüchen sind nicht als Einschränkungen des Umfangs auszulegen.

Patentansprüche

1. Bildprozessor (IP), der umfasst:
eine Eingabeschnittstelle (EIN) zum Empfangen einer Eingabesequenz (F) von Einzelbildern, die von einer Bildgebungsvorrichtung (IA) erfasst wurden;
mindestens ein temporaler Rauschfilter (NP), der konfiguriert ist, um die Eingabesequenz bidirektional in mindestens zwei rauschbearbeitete Sequenzen (F^{LR} , F^{RL}) zu verarbeiten; und
eine Vorrichtung zum Zusammenführen (SUM), die konfiguriert ist, um die mindestens zwei rauschbearbeiteten Sequenzen in eine Ausgabesequenz (F) zusammenzuführen.
2. Prozessor nach Anspruch 1, wobei die bidirektionale temporale Rauschbearbeitung rekursiv ist.
3. Prozessor nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Vorrichtung zum Zusammenführen (SUM) konfiguriert ist, um mindestens ein Einzelbild von einem Anfangsabschnitt einer der mindestens zwei rauschbearbeiteten Sequenzen durch ein entsprechendes Einzelbild von einer anderen der mindestens zwei rauschbearbeiteten Sequenzen zu ersetzen.
4. Prozessor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vorrichtung zum Zusammenführen (SUM) konfiguriert ist, um Einzelbilder von den zwei rauschbearbeiteten Sequenzen zu mitteln.
5. Prozessor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ein Rauschpegel im Wesentlichen über mindestens einen Anfangs- oder Endabschnitt der Ausgabesequenz hinweg konstant ist.
6. Bildverarbeitungsverfahren, das umfasst:
Empfangen (S510) einer Eingabefolge (F) von Einzelbildern, die von einer Bildgebungsvorrichtung erfasst wurden;

das Anwenden (S520) einer bidirektionalen temporalen Rauschbearbeitung auf die Eingabesequenz, um mindestens zwei rauschbearbeitete Sequenzen (F^{LR} , F^{RL}) zu erzeugen; und
Zusammenführen (S530) der mindestens zwei rauschbearbeiteten Sequenzen in eine Ausgabesequenz (F).

7. Bildverarbeitungsverfahren nach Anspruch 6, wobei die bidirektionale temporale Rauschbearbeitung (S520) rekursiv ist.

8. Bildverarbeitungsverfahren nach Anspruch 6 oder 7, wobei die Zusammenführung (S530) das Ersetzen mindestens eines Einzelbildes aus einem Anfangsabschnitt einer der mindestens zwei rauschbearbeiteten Sequenzen durch ein entsprechendes Einzelbild einer anderen der mindestens zwei rauschbearbeiteten Sequenzen umfasst.

9. Bildverarbeitungsverfahren nach einem der Ansprüche 6-8, wobei das Zusammenführen (S530) die Mittelwertbildung von Einzelbildern aus den beiden rauschbearbeiteten Sequenzen beinhaltet.

10. Bildverarbeitungsverfahren nach einem der Ansprüche 6-9, wobei ein Rauschleistungspegel im Wesentlichen über mindestens einen Anfangs- oder Endabschnitt der Ausgabesequenz hinweg konstant ist.

11. Bildverarbeitungsverfahren nach einem der Ansprüche 6-10 oder ein Bildprozessor nach den Ansprüchen 1-5, wobei die Eingabeeinzelbilder beliebig eines von i) Röntgenbildern, ii) Ultraschallbildern und iii) Magnetresonanzbildern sind.

12. Bildverarbeitungsverfahren nach einem der Ansprüche 6-11 oder ein Bildprozessor nach einem der Ansprüche 1-5, wobei die erfassten Einzelbilder der Eingabesequenz ein sich bewegendes Objekt verschlüsseln.

13. Bildverarbeitungssystem (IPS), umfassend:
einen Bildprozessor (IP) nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1-5, 11 oder 12;
die Bildgebungsvorrichtung (IA), die die Eingabesequenz von Einzelbildern liefert.

14. Computerprogrammelement, das, wenn es von einer Verarbeitungseinheit (PU) ausgeführt wird, angepasst ist, um das Verfahren nach einem der Ansprüche 6-12 auszuführen.

15. Computerlesbares Medium, auf dem das Programmelement nach Anspruch 14 gespeichert ist.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

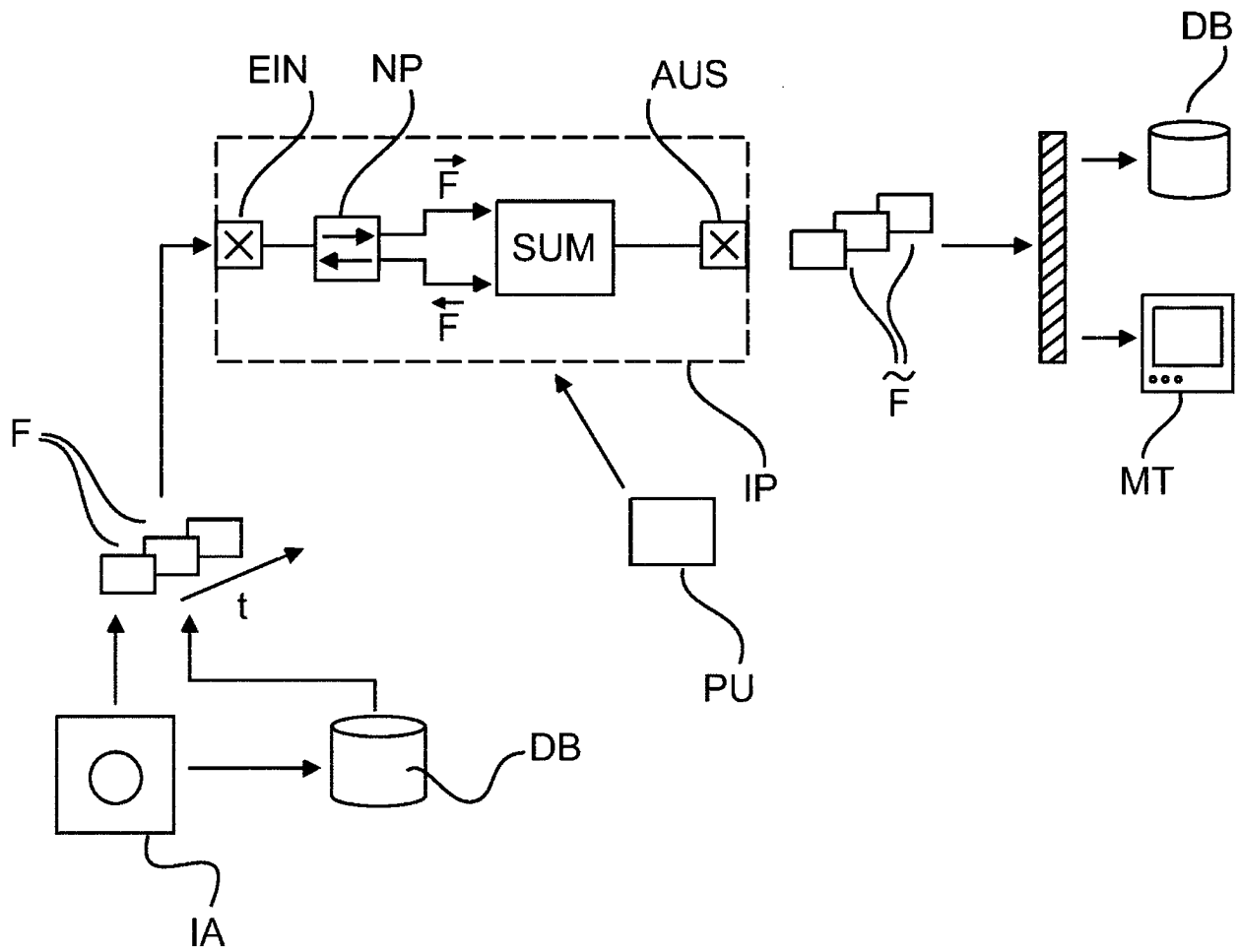


Fig. 1

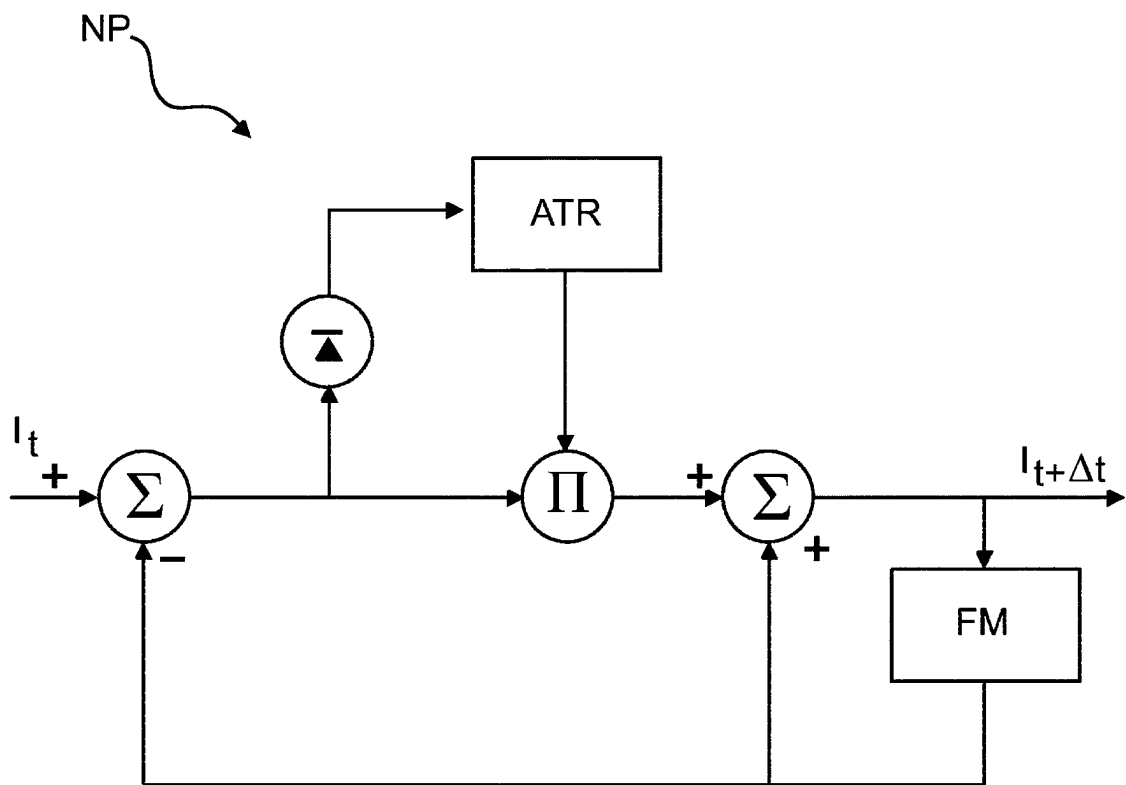


Fig. 2

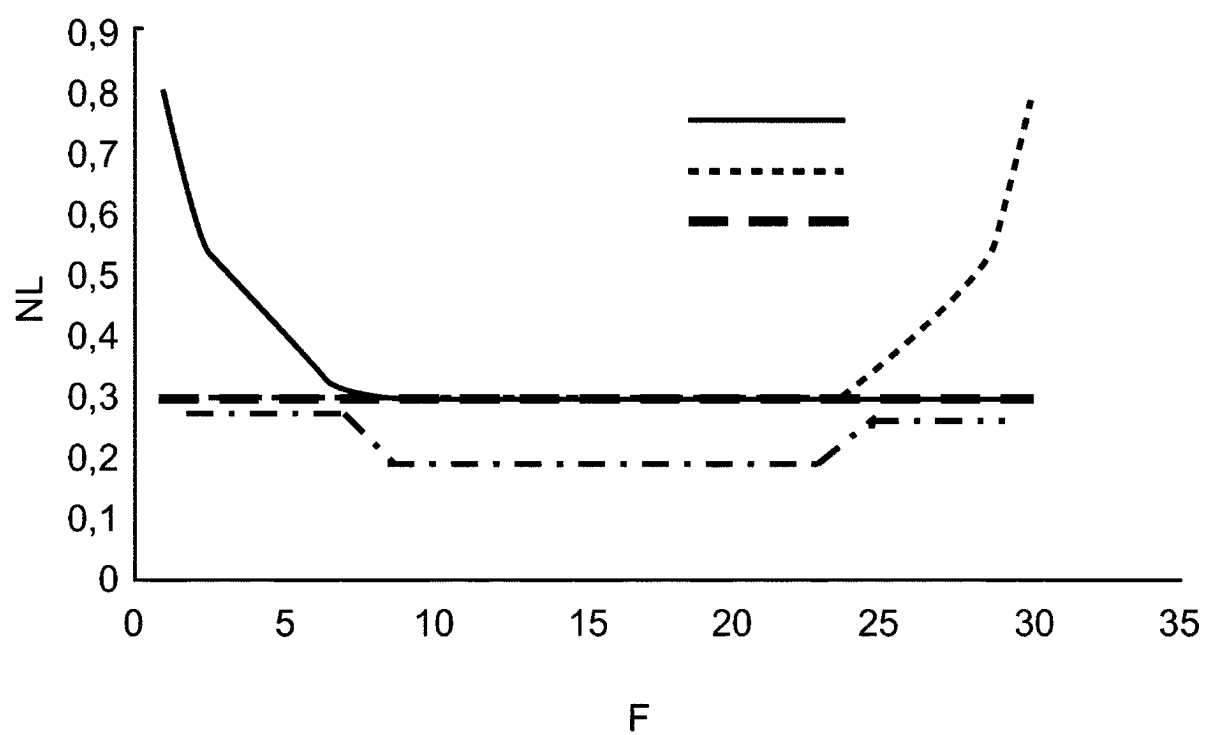


Fig. 3

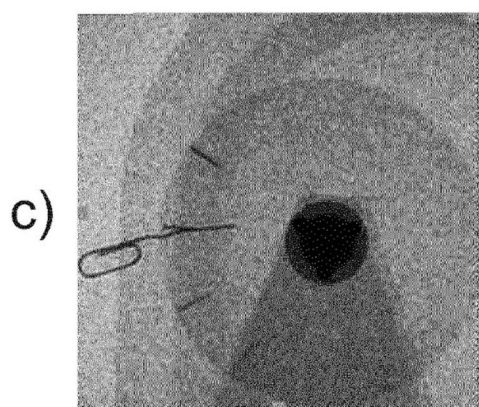
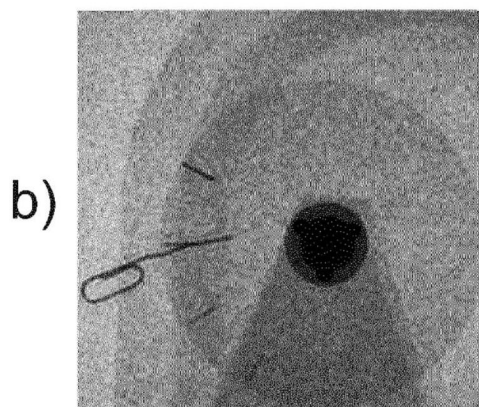
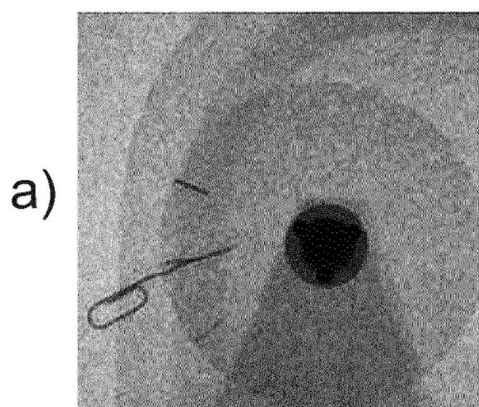


Fig. 4A

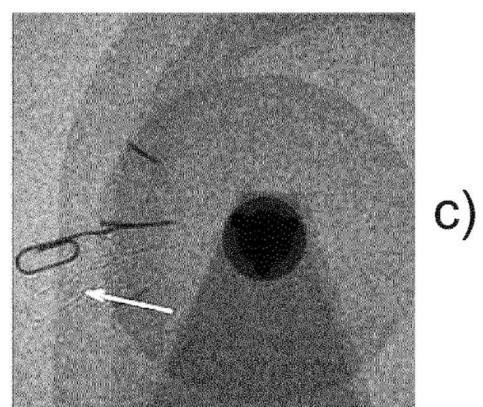
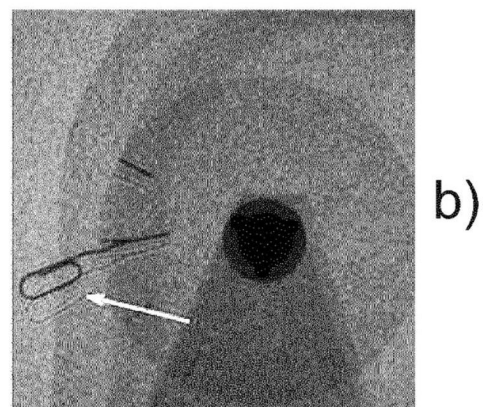
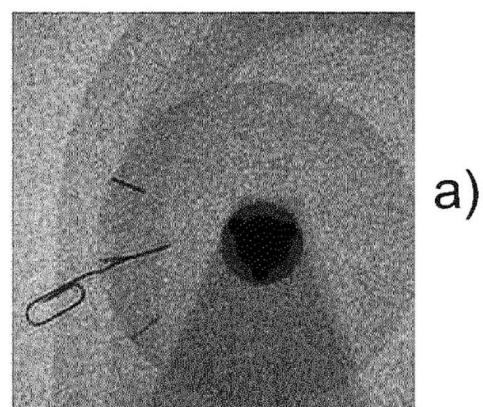


Fig. 4B

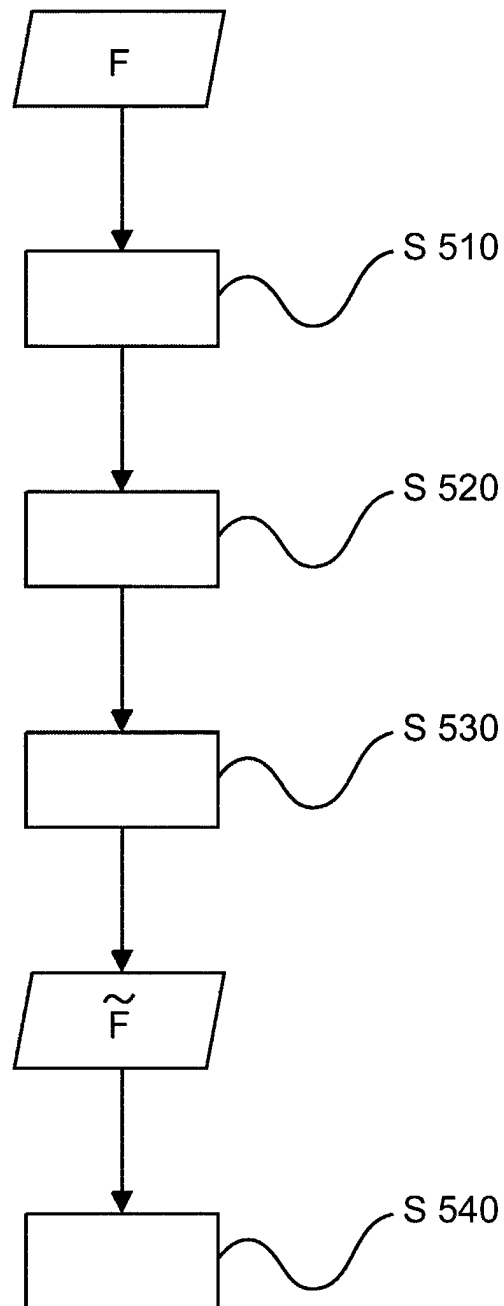


Fig. 5

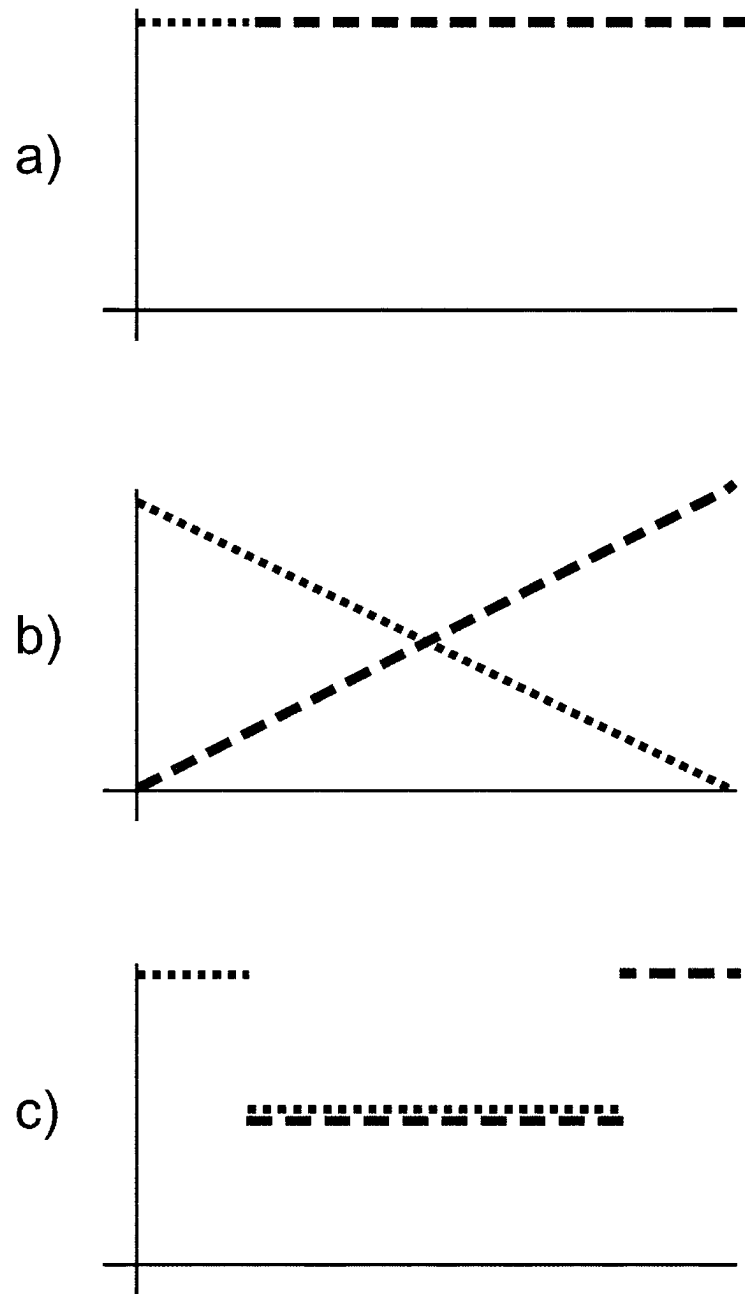


Fig. 6