

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6700273号
(P6700273)

(45) 発行日 令和2年5月27日 (2020.5.27)

(24) 登録日 令和2年5月7日 (2020.5.7)

(51) Int. Cl.	F I
A 6 1 B 6/00 (2006.01)	A 6 1 B 6/00 3 5 O M
	A 6 1 B 6/00 3 5 O N
	A 6 1 B 6/00 Z D M

請求項の数 5 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2017-527608 (P2017-527608)	(73) 特許権者	590000248
(86) (22) 出願日	平成27年11月19日 (2015.11.19)		コーニンクレッカ フィリップス エヌ ヴェ
(65) 公表番号	特表2017-535353 (P2017-535353A)		KONINKLIJKE PHILIPS N. V.
(43) 公表日	平成29年11月30日 (2017.11.30)		オランダ国 5 6 5 6 アーヘー アイン ドーフエン ハイテック キャンパス 5 2
(86) 国際出願番号	PCT/EP2015/077155	(74) 代理人	110001690
(87) 国際公開番号	W02016/083248		特許業務法人M&Sパートナーズ
(87) 国際公開日	平成28年6月2日 (2016.6.2)	(72) 発明者	シュルター マティアス
審査請求日	平成30年11月14日 (2018.11.14)		オランダ国 5 6 5 6 アーヘー アイン ドーフエン ハイ テック キャンパス 5
(31) 優先権主張番号	14194495.9		
(32) 優先日	平成26年11月24日 (2014.11.24)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁 (EP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 雑音モデルに基づくマルチスケール雑音低減による線量増加のシミュレーション

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

X 線画像を受信するステップと、

少なくともローパス成分画像及び少なくとも1つの更なる空間周波数成分画像を含む空間周波数成分画像に前記 X 線画像をマルチスケール分解するステップと、

雑音が X 線量の関数としてモデル化された雑音モデルに基づく期待雑音に対して前記少なくとも1つの更なる空間周波数成分画像を正規化し、少なくとも1つの正規化済みの空間周波数成分画像を得るステップと、

前記ローパス成分画像及び前記少なくとも1つの正規化済みの空間周波数成分画像を受信された前記 X 線画像の再構築版へと組み合わせるステップと、

前記受信された X 線画像の前記再構築版を出力するステップと

を含む、画像処理方法であって、

前記組み合わせるステップは、前記少なくとも1つの正規化済みの空間周波数成分画像の画像ピクセルを当該画像ピクセルのそれぞれの強さに応じて修正し又は保存するステップを含み、

前記修正し又は保存するステップが、減衰ステップ又は増幅ステップの一方を含み、前記画像ピクセルのそれぞれの強さが既定の間隔内にあるときに前記画像ピクセルのそれぞれを減衰し、前記画像ピクセルのそれぞれの強さが既定の間隔外にあるときに前記画像ピクセルのそれぞれを保存又は増幅し、

前記画像ピクセルを修正し又は保存することは、関数 f^{NR} を前記画像ピクセルに適用

することにより達成され、前記関数 f^{NR} は、画像ピクセルの強さのレンジで定義され、
 前記関数 f^{NR} は、画像ピクセルの強さのレンジにわたる単調増加であり、
 前記関数 f^{NR} は、

【数 10】

$$f^{NR}(y) = y \left[(a_{max} - a_{min}) \frac{\tanh\left(\left(\frac{y}{2(a_{max}-a_{min})}\right)\left(\frac{y_0^2}{y_0^2} - 1\right)\right) + t_0}{1+t_0} + a_{min} \right]$$

10

であり、

y は、画像ピクセルの強さであり、 a_{min} 及び a_{max} は、 $a_{max} = 1$ 、 $0 < a_{min} < 1$ の定数であり、 t_0 は、定数であり、 t_0 は、次式で表され、

【数 11】

$$t_0 = \tanh\left(\frac{y}{2(a_{max}-a_{min})}\right)$$

y_0 は、前記関数 f^{NR} の変曲点の位置であり、

a_{min} は、前記関数 f^{NR} の傾斜であり、仮想 X 線量増加に関連する、
 画像処理方法。

20

【請求項 2】

前記雑音モデルが前記空間周波数成分画像ごとに異なる、請求項 1 に記載の画像処理方法。

【請求項 3】

X 線画像を受信する入力ポートと、

少なくともローパス成分画像及び少なくとも 1 つの更なる空間周波数成分画像を含む空間周波数成分画像に前記 X 線画像をマルチスケール分解するデコンボリューションと、

雑音が X 線量の関数としてモデル化された雑音モデルに基づく期待雑音に対して前記少なくとも 1 つの更なる空間周波数成分画像を正規化し、少なくとも 1 つの正規化済みの空間周波数成分画像を得るノーマライズと、

30

前記ローパス成分画像及び前記少なくとも 1 つの前記正規化済みの空間周波数成分画像を受信された前記 X 線画像の再構築版へと組み合わせるコンバイナと、

前記受信された X 線画像の前記再構築版を出力する出力ポートと

を含む、画像処理機器であって、

前記コンバイナは、少なくとも 1 つの正規化済みの空間周波数成分画像内の画像ピクセルを修正し又は保存する選択的修正器を含み、前記修正又は保存は前記画像ピクセルのそれぞれの強さに依存し、

前記修正又は保存が、減衰又は増幅の一方を含み、前記選択的修正器は、前記画像ピクセルのそれぞれの強さが既定の間隔内にあるときに前記画像ピクセルのそれぞれを減衰し、前記選択的修正器は、前記画像ピクセルのそれぞれの強さが既定の間隔外にあるときに前記画像ピクセルのそれぞれを保存又は増幅し、

40

前記画像ピクセルを修正又は保存することは、関数 f^{NR} を前記画像ピクセルに適用することにより達成され、前記関数 f^{NR} は、画像ピクセルの強さのレンジで定義され、前記関数 f^{NR} は、画像ピクセルの強さのレンジにわたる単調増加であり、

前記関数 f^{NR} は、

【数 1 2】

$$f^{NR}(y) = y \left[(a_{max} - a_{min}) \frac{\tanh\left(\left(\frac{y}{2(a_{max}-a_{min})}\right)\left(\frac{y_0^2}{y_0^2} - 1\right)\right) + t_0}{1+t_0} + a_{min} \right]$$

であり、

y は、画像ピクセルの強さであり、 a_{min} 及び a_{max} は、 $a_{max} > 1$ 、 $0 < a_{min} < 1$ の定数であり、 t_0 は、定数であり、 t_0 は、次式で表され、

10

【数 1 3】

$$t_0 = \tanh\left(\frac{y}{2(a_{max}-a_{min})}\right)$$

y_0 は、前記関数 f^{NR} の変曲点の位置であり、

a_{min} は、前記関数 f^{NR} の傾斜であり、仮想 X 線量増加に関連する、
画像処理機器。

【請求項 4】

処理ユニットによって実行されるときに、請求項 1 に記載の画像処理方法のステップを実行する、コンピュータプログラム。

20

【請求項 5】

請求項 4 に記載のコンピュータプログラムを格納したコンピュータ可読媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、画像処理方法、画像処理機器、コンピュータプログラム要素、及びコンピュータ可読媒体に関する。

【背景技術】

【0002】

デジタル画像処理では、関心のある特定の構造の画像内の画質又は検出可能性を改善するために、幾つかの雑音低減方法が過去に開発されている。2次元画像では雑音振幅が空間周波数と共に増加するので、雑音低減の幾分単純なやり方は画像の平滑化をもたらすローパスフィルタを適用することである。しかし、この方法には微細構造が不鮮明になる不利点がある。非線形ランクフィルタと呼ばれる別の種類のフィルタは、ごま塩雑音を効果的に減らしながら不鮮明効果を著しく減らす。しかしガウス分布雑音では、この種のフィルタリングは、医用撮像又は画像に基づく情報収集に依拠する他の努力分野における診断目的で通常許容できない不所望のアーティファクトを作り出す。更に、所与の雑音低減スキームが画像にどのように作用するのかを利用者が理解することについて、この種のフィルタリングは直感的に使えない場合がある。

30

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

従って、上記の欠点の少なくとも幾つかに対処する代替的な雑音低減スキームが当技術分野で求められている可能性がある。

【課題を解決するための手段】

【0004】

本発明の目的は、更なる実施形態が従属請求項に組み込まれる独立請求項の内容によって解決される。以下で説明される本発明の態様は画像処理機器、コンピュータプログラム要素、及びコンピュータ可読媒体に等しく当てはまることに留意すべきである。

【0005】

50

本発明の第 1 の態様によれば、
X 線画像を受信するステップと、
少なくともローパス成分画像及び少なくとも 1 つの更なる空間周波数成分画像を含む空間周波数成分画像に前記 X 線画像を分解するステップと、
雑音モデルに基づく期待雑音に対して少なくとも 1 つの更なる空間周波数成分画像を正規化し、少なくとも 1 つの正規化済みの空間周波数成分画像を得るステップと、
前記ローパス成分画像及び少なくとも 1 つの正規化済みの空間周波数成分画像を受信された X 線画像の再構築版へと組み合わせるステップと、
受信された X 線画像の再構築版を出力するステップと
を含む、画像処理方法であって、
組み合わせるステップは、少なくとも 1 つの正規化済みの空間周波数成分画像の画像信号をそれぞれの画像信号の強さに応じて修正し又は保存するステップを含む、
画像処理方法が提供される。

10

【 0 0 0 6 】

空間周波数成分画像は、ハイパス成分画像及び少なくとも 1 つの更なる周波数成分画像を含む。少なくとも 1 つの更なる周波数成分画像は、少なくとも 1 つのローパス画像及び任意選択的に 1 つ又は複数のバンドパス画像を含む。一実施形態によれば、分解がバンドパス画像及びローパス画像の階層が得られる再帰的フィルタスキームによって行われる。

【 0 0 0 7 】

本明細書で提案される正規化ステップは、記録画像内の周波数成分画像信号ごとに構造対雑音の寄与度を定量化することを可能にする。このことは、ひいては周波数成分画像ごとに、雑音に関係する信号を狙って減衰させること及び / 又は構造に関係する信号を保存し更には増幅することを可能にする。より詳細には及び一実施形態によれば、組み合わせるステップは、正規化済みの空間周波数成分画像の少なくとも 1 つの中の画像信号について、画像信号の強さ又は大きさが画像信号のレンジ内の既定の間隔内にあるのかどうかに応じて前記画像信号を修正し又は保存するステップを含む。「既定の間隔」は、1 組の数ではなく単一の数によって定められる閾値等の縮退区間の場合を含み得る。

20

【 0 0 0 8 】

一実施形態によれば、修正するステップが、減衰ステップ又は増幅ステップの一方を含む。

30

【 0 0 0 9 】

一実施形態によれば、画像信号を修正し又は保存するステップは、前記画像信号に関数を適用することによって実現され、前記関数は画像信号のレンジで定義される。

【 0 0 1 0 】

一実施形態によれば、前記関数は前記画像信号のレンジにわたって単調増加する。

【 0 0 1 1 】

一実施形態によれば、前記関数が連続微分可能である。つまりこの実施形態では、関数がダンパとして働く領域からブリザーバ又はアンブリファイヤとして働く領域に関数が滑らかに移行する。

【 0 0 1 2 】

一実施形態によれば、画像信号の減衰又は増幅の強さが調節可能であり若しくは可変的である。具体的には、前記強さは利用者によって調節され得る。

40

【 0 0 1 3 】

一実施形態によれば、雑音モデルが空間周波数成分画像ごとに異なる。つまり、雑音モデルはバンドパス又はハイパスに固有である。

【 0 0 1 4 】

一実施形態によれば、減衰の強さが仮想的な X 線量の増加に関係する。このことは、画像がより高い線量で取得されれば実現されている可能性がある雑音低減を「シミュレート」することを可能にする。

【 0 0 1 5 】

50

本発明の第２の態様によれば、
画像を受信するように構成される入力ポートと、
少なくともローパス成分画像及び少なくとも１つの更なる空間周波数成分画像を含む空間周波数成分画像に前記画像を分解するように構成されるデコンポーザと、
雑音モデルに基づく期待雑音に対して少なくとも１つの更なる空間周波数成分画像を正規化し、少なくとも１つの正規化済みの空間周波数成分画像を得るように構成されるノーマライザと、
前記ローパス成分画像及び前記少なくとも１つの前記正規化済みの空間周波数成分画像を受信された画像の再構築版へと組み合わせるように構成されるコンバイナと、
前記受信された画像の再構築版を出力するように構成される出力ポートと
を含む、画像処理機器であって、
コンバイナは、少なくとも１つの正規化済みの空間周波数成分画像内の画像信号を修正し又は保存するように構成される選択的修正器を含み、修正又は保存はそれぞれの画像信号の強さに依存する、
画像処理機器が提供される。

10

【００１６】

より詳細には及び一実施形態によれば、コンバイナは、正規化済みの空間周波数成分画像の少なくとも１つの中の画像信号を修正し又は保存するように構成される選択的修正器を含み、修正又は保存は、画像信号の強さが画像信号のレンジ内の既定の間隔内か又は間隔外にあるのかどうかに依存する。

20

【００１７】

一実施形態によれば、選択的修正器の修正が減衰又は増幅の一方である。

【００１８】

一実施形態によれば、選択的修正器による画像信号の修正又は保存は、選択的修正器が前記画像信号に関数を適用することによって実現され、前記関数は画像信号のレンジで定義される。一実施形態によれば、前記関数は前記画像信号のレンジにわたって単調増加する。

【００１９】

一実施形態によれば、前記関数が連続微分可能である。

【００２０】

一実施形態によれば、画像信号の減衰又は増幅の強さが調節可能である。

30

【００２１】

一実施形態によれば、入力ポートにおいて受信される画像がＸ線画像であり、減衰の強さが仮想的なＸ線量の増加に関係する。

【００２２】

一実施形態によれば、ノーマライザによって使用される雑音モデルが空間周波数成分画像ごとに異なる。

【００２３】

好ましくは診断の質を損なうことなしに、患者に照射される線量を最小限まで減らすことが医用Ｘ線撮像における１つの目的である。他方で線量を増やすことは、コントラストを保ちながら雑音を減らす１つのやり方として認識されている。この意味では線量を増やすことは雑音低減アルゴリズムの「黄金律」だと見なされ得る。本方法又は機器はこの考えを利用し、計算効率の良いやり方で線量増加をシミュレートするやり方の原理によって導かれる雑音低減アルゴリズムに到達する。つまり本明細書で提案される雑音低減アルゴリズムは、少なくともコントラストが強い取得済みの解剖学的構造について、Ｘ線量の増加が実現するのと同様の雑音低減効果を有する。一実施形態では、提案される機器が、Ｘ線量の増加の物理モデリングに関係するパラメータによって雑音低減量を利用者が制御することを可能にする直感的なユーザ対話機能の特徴とする。この線量増加のシミュレートされた効果を実現するために、画像信号の雑音がＸ線量に応じてモデリングされる。この種のモデリングは、提案される雑音低減方法又は機器が適用される、受信画像を取得する

40

50

ために使用される特定の x 線検出器に固有の物理雑音モデルをもたらす。この意味で、この方法及び機器は、雑音モデルに基づく雑音低減による線量増加のシミュレーションについて記載する。

【 0 0 2 4 】

要約すると、本明細書の一実施形態で提案されるのは、雑音に対する線量増加の効果をシミュレートする雑音低減の方法及び機器である。本明細書では、所望の線量増加度が、一実施形態ではこの方法及び機器の調節可能なパラメータである。そのために、雑音が x 線量に応じてモデリングされる。かかる雑音モデルは検出器に固有である。雑音低減は、複数の周波数帯への x 線画像の分解に対して行われる。かかる各周波数帯は、モデリングされた周波数帯固有の雑音に基づく雑音に関して正規化される。その効果は、線量増加によって得られるような雑音低減である。

10

【 0 0 2 5 】

空間周波数画像（ハイパス画像やバンドパス画像等）を「正規化する」ことは、必ずしもありとあらゆる画素が正規化されることを含意しない可能性があるが、殆どの使用シナリオでその操作は網羅的である。但し、一部の又は全ての画像内に記録された画像信号の純粋なサブセットを単に正規化すれば十分である特定の使用シナリオがあり得る。（少なくとも部分的に）正規化された画像を組み合わせる / 再構築するときの「修正」又は保存操作についても同様である。この場合も、一部の又は全ての（少なくとも部分的に）正規化された画像内に記録される画像信号の純粋なサブセットを単に検討すれば場合によっては十分であり得る。更に、正規化 / 修正 / 保存は、分解の階層レベルの異なるレベル内で様々な程度で適用され得る。例えば或るレベルでは、全ての画像信号が正規化され又は修正若しくは保存が検討されるのに対し、他のレベルでは画像信号の純粋なサブセットだけが正規化され且つ / 又は修正若しくは保存が検討される。

20

【 0 0 2 6 】

次に、本発明の例示的实施形態が以下の図面に関して説明される。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 7 】

【図 1】撮像構成を示す。

【図 2】様々な雑音モデルパラメータを示す。

【図 3】雑音低減機器のブロック図を示す。

30

【図 4】図 3 の雑音低減機器の様々な段階のより詳細なブロック図を示す。

【図 5】画像処理方法の流れ図を示す。

【図 6】雑音低減関数の理想版を示す。

【図 7】雑音低減関数の別のバージョンを示す。

【図 8】或る画像のその空間周波数成分画像へのマルチスケール分解及び前記画像の雑音の正規化を示す。

【図 9】本明細書で提案される雑音低減方法によって得ることができる線量増加の効果を示す。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 8 】

40

図 1 を参照し、x 線撮像機器 I M A を含む撮像構成 1 0 0 が示されている。撮像機器 I M A は、x 線源（x 線管）X R 及び x 線感受性検出器 D T を含む。必須ではないが好ましくは、検出器はデジタルフラットパネル型のものである。x 線源 X R 及び検出器 D T はガントリ（不図示）内で支持される。介入又は診断用の x 線システム内で使用される C アームや U アーム型の x 線撮像システム等、x 線撮像機器 I M A は C T スキャナ又は平面撮像器の 1 つであり得る。但し、本明細書では他の種類の x 線撮像器も考えられる。撮像器 I M A の動作は、操作コンソール C S を介して利用者によって又は撮像プロトコルによって制御される。

【 0 0 2 9 】

調査中の検体、例えば人間や動物の患者 P A T が x 線源 X R と検出器 D T との間の支持

50

台（不図示）上に配置される。検出器DTの各画素PXについて、この画素において集められるx線量に受信信号が比例する。次いで、個々のアナログ信号が適切な回路、より詳細にはデータ取得システムDASによって獲得される。このDASは、とりわけアナログ信号をデジタル値、即ち最小有効ビット（lsb）単位で測定される数字に変換するアナログ-デジタル（A/D）変換回路を含む。本明細書では、これらのデジタル値が「画素値」又は「画像信号」とも呼ばれる。そのように得られる全てのデジタル値の集合又はアレイがx線画像 $I = (k, l)$ を形成し、 (k, l) はそれぞれの画素位置のアレイ指標を示す。次いで、画像IがモニタMTに転送されても良く、データベースDB等のメモリ内に記憶されても良く、又は他のやり方で処理され得る。

【0030】

具体的には、x線画像のデジタル値がグラフィカルレンダラに伝えられ、グラフィカルレンダラはグレー値パレットやカラーパレット等のスケールに従ってデジタル値をマップする。マップされた値は、画面MT上のレンダリングをもたらし適切なグラフィックスソフトウェアによってモニタMTを駆動するために使用される。

【0031】

必ずしも全ての実施形態ではないが一部の実施形態では、撮像構成100が、それにより画像信号の領域変換又はマッピングが実現され得る変換ユニット又はマップCONを含み得る。具体的には、x線ビームの減衰は相互作用物質の厚さに指数関数的に依存するので、検出器において獲得されるレジストレーション済みのデジタル値を対数値によって表すことが往々にして便利である。この対数領域内では、信号のコントラストが厚さの違いに比例し、x線量に依存しない。つまり変換器は、レジストレーション又は線形領域から対数領域へとデジタル値を変換するように動作する。線形領域は、検出器によって検出される信号から形成される。この領域内の個々の画像信号の大きさ又は「強さ」は、画素値 (k, l) に関連するそれぞれの画素において検出される線量に比例する。線量領域の変換は、例えば様々な画像からのコントラスト情報を例えば対数スケールに従って比較可能なように行われる。或いは、このコントラスト安定化変換のために、所謂「分散安定化変換」が適用され得る。例えばY Dodge in “The Oxford Dictionary of Statistical Terms”, OUP (2003)を参照されたい。この変換後、雑音の分散は信号又は線量に依存しない。領域のマッピング又は変換（従って変換器CON）は任意選択的であり、本明細書で提案される雑音低減機器は、検出器-DAS段階でレジストレーションされる線形領域内のデジタル値に直接作用しても良い。雑音の正規化により、本発明は任意の線量領域に適用され得る。特定の線量領域マッピングでは、線形線量領域（図2参照）の雑音モデル（以下の等式（4）、（5）でより詳細に説明される）がしかるべく変換される。この理由から、図3及び図4の中で説明されるように本発明は他のマルチスケール画像処理ステップと組み合わせられ得る。

【0032】

x線画像信号は、以下でより詳細に説明される幾つかの要因により雑音によって損なわれることが多々ある。このことは、繊細な構造を確認することを不可能ではないにせよ困難にする場合がある。本明細書で提案されるように、且つこの雑音に対抗するために、撮像構成100は、検出画像（又は該当しない場合は変換画像）に作用して画像の雑音低減版 I^{NR} を作成する雑音低減モジュールNRを含む。

【0033】

図3を参照し、本明細書で提案される雑音低減モジュールの幾つかの基本コンポーネントを示すブロック図が示されている。雑音低減モジュールNRは、1つ又は複数の入力ポートIN及び1つ又は複数の出力ポートOUTを含む。雑音低減モジュールは、画像デコンポーザDEC、ノーマライザNOR、信号修正器MOD、及び過去に分解された画像信号を再構築するための再構築ユニットRECONを含む。任意選択的に、シグナリング増強ユニットCEもある。

【0034】

非常に大雑把な言い方をすれば、処理され又は雑音が減らされる画像Iは入力ポートI

10

20

30

40

50

Nにおいて受信される。マルチスケール空間周波数分解モジュールDECは、画像を様々なバンドパス画像 B_i 及び対応するローパス画像 L_i の階層（「ラブラシアン」ピラミッド）へと分解するように動作する。ハイパス成分Hもある。バンドパス成分 B_i （及びハイパス成分H）はまず雑音が正規化され、その後、修正器MODの動作によって選択的に修正され又は再マップされる。修正器MODの構成及びそれぞれの正規化済みのバンドパス（及びハイパス）内の画像信号の強さ／大きさに応じて、画像信号が i ）保存（そのため修正されない）若しくは減衰され、 i ）保存若しくは増幅され、又は i ）保存、減衰、若しくは増幅されるので（画素単位の）修正操作は選択的である。あり得るMODの構成 i ）～ i ）のそれぞれにおいて、動作（保存、減衰、増幅）の性質はそれぞれの正規化済みのバンドパス（及びハイパス）画像信号内の画像信号の強さ／大きさに依存する。とりわけ、前記修正は各階層内のローパス成分 L_i に適用されないが、ローパス成分 L_i は、信号に依存する雑音情報（例えば標準偏差）を計算してそれぞれの画像信号における局所雑音を定量化し、バンドパス画像及び／又はハイパス画像の正規化操作内でその情報を使用するために使用される。任意選択的に、例えば独国特許第19 849 090号の中で説明されているように、ローパス成分及びMODによって処理されるハイ及び／バンド成分がコントラスト増強段階に伝えられても良い。

【0035】

一実施形態によれば、この任意選択的なコントラスト増強段階が、局所コントラスト増強コンポーネントCEL及び大域増強コンポーネントCEGを含む。局所コントラスト増強コンポーネントCELはハイパス成分及び／又はバンドパス成分に作用するのに対し、大域増強コンポーネントCEGはローパス成分に作用する。次いで、そのように任意選択的なコントラスト増強後に雑音が減らされた成分がリコンストラクタに伝えられ、リコンストラクタは、そのように修正された周波数成分を反復的に再構築して受信画像の雑音低減版を出力段階OUTにおいて作成するように動作する。

【0036】

次に図4を参照し、ラブラシアン分解ピラミッド内の所与のレベル i に関する図3の雑音低減モジュールの動作の更なる詳細を説明する。ラブラシアン階層内の任意のレベル i について以下が当てはまるという理解の下で前記例示的レベル内の操作がこれからより詳細に説明される。

【0037】

操作ボックスD及びUは、ローパスフィルタリングと組み合わせられたダウンサンプリング演算子及びアップサンプリング演算子をそれぞれ示す（以下の等式（1）～（3）参照）。操作ボックス「 i 」は、とりわけ図5に関して以下でより詳細に説明されるように、様々なレベル i 内で使用されるそれぞれの理論上の雑音モデルを示す。階層内の特定のレベル i に関して、現在のレベル i のローパス画像 L_i にサイズ面でマッチするように、それぞれのより高いレベルのローパス成分 L_{i+1} がアップサンプリングされる。次いで、前記レベル i のバンドパス成分 B_i を作り出すために、アップサンプリングされたローパス画像 L_{i+1} がローパス成分 L_i から減じられる。

【0038】

次に、（ハイパス成分Hと同様に）現在のレベル B_i におけるバンドパス画像内の個々の画素が以下のように処理される。検討されるバンドパス成分 B_i 内の画像信号について、ローパス信号に依存する雑音レベルが、ブロック図の中で「 i 」として例示的に示される理論上の雑音信号モデルに基づいて計算される。手短かに言えば、 i ブロックは、図5において以下でより詳細に説明されるように上位のバンドパス内の雑音の予測される標準偏差の計算を表す。雑音レベルは、より高いレベルのアップサンプリングされたローパス画像 L_{i+1} の対応する位置において計算される。これが行われ得る理由は、アップサンプリングによって2つの画像が同じ大きさを有し、そのためバンドパス画像 B_i の画素位置（ k, l ）がアップサンプリングされたローパス画像 L_{i+1} 内の同じ画素位置（ k, l ）に対応するからである。検討される画素位置（ k, l ）におけるバンドパス信号が、この実施形態では雑音の標準偏差値によって測定される、そのように計算される雑音

レベルに対して正規化される。

【 0 0 3 9 】

正規化は、成分 B_i 内の前記位置 (k, l) におけるそれぞれの画像信号を計算された雑音の標準偏差 σ_i で割ることによる画素単位の商を形成し、バンドパス画像内の一部の又はそれぞれの画素位置について個々の局所的なコントラスト対雑音比 CNR の値を得ることによって実施され得る。雑音がローパス画像 L_0 から計算されるハイパス画像についても同じことが行われる。そのように得られるそれぞれの局所的な CNR 比が修正器 MOD によって選択的に修正される。修正器は、局所的なコントラスト対雑音比 B_i / σ_i を保存する（更には増幅する）ように、又は一実施形態では雑音低減関数 f^{NR} から計算される適切な重みを適用することによってこの値を減衰させるように動作する。手短に言えば、雑音低減関数 f^{NR} は雑音を選択的に減らす、画像内に記録される実構造からの情報信号を保存するためのリマップとして動作する。構造を表す値を単に保存するのではなく、一実施形態ではこの関数はそれらの構造表現信号を増幅するように動作し得る。次いで、そのように修正された値に計算済みの雑音寄与度（例えば現在のレベル i に関するそれぞれの雑音モデルによる標準偏差 σ_i ）が乗じられ、そのように再び重み付けされたバンドパス信号が再構築段階に転送される。任意選択的に、再構築の前にコントラスト増強段階が適用されても良い。前に適用された手続きが各レベル内のバンドパス画像について及びハイパス成分について繰り返され、再構築段階においてそれぞれの画像信号が（ローパス成分と共に）反復的に再構築され、雑音低減画像 I^{NR} を出力 OUT において作り出す。

10

20

【 0 0 4 0 】

図 4 では、（「フィルム」濃度曲線に基づく）大域コントラスト増強段階が最後のローパス画像に適用され、図示されていない。更に、ハイパス H の処理が不図示であり、その理由はかかる処理がダウンサンプリング操作及びアップサンプリング操作がないことを除きバンドパス処理と同様だからである。レベル i 内の再構築されたローパスが R_i で示される。

【 0 0 4 1 】

次に、提案される雑音モジュール NR の動作がより詳細に説明される図 5 の流れ図を参照する。

【 0 0 4 2 】

ステップ $S505$ で、 x 線画像 I が受信される。

30

【 0 0 4 3 】

ステップ $S510$ で、受信画像に対してマルチスケール分解が行われ、画像を複数の周波数成分画像に分解する。より詳細には、 x 線画像 I をマルチスケール周波数帯へと分解することによって拡張マルチスケール分解が行われ、マルチスケール周波数帯のそれぞれは特徴的な構造の大きさに対応する。 $D = F_m$ 、 $U = F_m$ をダウンサンプリング及びアップサンプリングの演算子とし、 F_m は $m \times m$ （典型的には 5×5 又は 3×3 だが、他の如何なる大きさも考えられる）の二項ローパスフィルタを示し、「 \downarrow 」及び「 \uparrow 」はダウンサンプリング及びアップサンプリングの基本演算子をそれぞれ示す。より詳細には、 \downarrow は画素を 1 つおきに除去し、 \uparrow は隣接する任意の 2 つの画素間にゼロを挿入してゼロと原画像信号値との「チェッカボード」を形成する。次に、以下の再帰的分解ルーチンによるハイパス H の分離及びマルチスケールローパス L_i 及びバンドパス B_i の反復計算によって分解が行われる：

40

$$\begin{aligned} L_0 &= F_3 I \\ H &= I - L_0 \\ L_{i+1} &= D L_i \\ B_i &= L_i - U L_{i+1}, \quad i = 0, \dots, n-1 \end{aligned} \quad (1)$$

【 0 0 4 4 】

これはレベル、又は「ガウス」及び「ラプラシアン」ピラミッドの階層を定め、 $i = 0$ は最も高い周波数のレベルを形成する。指数 i は単に周波数帯に番号を付けるためのもの

50

である。正確な中心周波数（例えば明確にするために１つの数値例を挙げれば２～４ライン／１ミリメートル等）及び帯域幅は、使用される特定のローパスフィルタ F_m に依存する。

【００４５】

画像 I の対応する標準再帰的再構築が以下のように得られ得る：

$$L_i = U L_{i+1} + B_i, \quad i = n-1, \dots, 0$$

$$I = H + L_0 \quad (2)$$

【００４６】

次に、上記で定められた分解により、画像 I がハイパス H と、マルチスケールバンドパス B_i と、最後のローパス L_n との和として表わされ得る：

【数１】

$$I = H + \sum_{i=0}^{n-1} U^i B_i + U^n L_n \quad (3)$$

【００４７】

図３～図５に関してより詳細に説明されるように、雑音低減処理に活用されるのは周波数成分（ H 、 B_i 、及び L_n ）の和としてのこの画像表現である。

【００４８】

但し、本明細書では他の任意のバンドパス分解アルゴリズムも考えられ、上記の分解（３）は一実施形態に過ぎないことが理解されよう。必要とされるのは、バンドパスが「アベレージフリー（average free）」であり（（１）内の F_3 又は D の演算が平均化として理解されても良く、 H 及び各 B_i について平均が減じられる）、ガウス階層 $0 \dots n$ 内の最後のローパス L_n 内の雑音が、最小構造コントラストと比較して取るに足らない最大標準偏差（例えば 1 l s b 未満の標準偏差）を有することである。

【００４９】

ステップ $S520$ で、帯域のそれぞれについて正規化済みの空間周波数成分画像を得るために、帯域固有の雑音モデルに対して成分画像が正規化される。同じ手続きがハイパス画像にも適用される。但し、正規化はローパス画像に適用されるとは想定されていない。ローパスコントラスト画像はどちらかと言えば雑音情報を符号化すると考えられる。雑音情報は、それぞれのローパス画像に雑音モデル関数を適用し、バンドパス画像又はハイパス画像の特定の画素の雑音情報を抽出することによって取得される。雑音モデルは、検出器において検出される画像信号に直接適用され得る。但し、検出器の信号はまず別の領域（例えば先に説明された対数領域）に変換されても良く、次いで雑音モデルがしかるべく変換され得る。以下、本明細書で提案されるように使用される雑音モデル及び帯域固有の雑音モデルに関する更なる詳細が示される。

【００５０】

次に雑音モデルの詳細を検討し、（図１において上記で簡潔に言及された）×線検出器 DT の出力信号はポアソン分布した光子量に比例する。ポアソン分布では、分散がその平均値に比例する。受け付けられる光子のこの確率的変動は量子雑音と呼ばれる。光子量が多い場合、ポアソン分布は分散がその平均値に等しいガウス分布による近似であり得る。従って、検出器信号に対する量子雑音の寄与の分散は、やはり検出器信号に比例する受信線量に比例する。線形検出器信号と分散との間の比例定数を係数 q で示す。検出器信号の分散に対する別の寄与は、検出器の電子部品からの雑音である。この雑音は線量に依存せず、係数 e によって示す。検出器の内部構造及びゲインテーブルの不正確さにより、線量に対する二次依存性を有する、検出器信号の分散に対する第３の固定パターン寄与がある。対応する固定パターン係数を f で示す。

【００５１】

従って、線形検出器信号 s^{lin} では、検出線量に対する分散の二次多項式の依存性（ 2^{nd} order polynomial dependency）が得られる。線形信号の標準偏差が以下のように書

10

20

30

40

50

かれ得る：

【数 2】

$$\sigma^{\text{lin}}(s^{\text{lin}}) = \sqrt{e + qs^{\text{lin}} + f s^{\text{lin}^2}} \quad (4)$$

【0052】

この雑音モデル（のパラメータ化された群）が図 2 に示されている。

【0053】

量子信号に作用する検出器の点広がり関数により、雑音モデルは空間周波数に依存する 10
。これはハイパス及びバンドパス固有の雑音係数によって表わされ得る：

【数 3】

$$\sigma_i^{\text{lin}}(s^{\text{lin}}) = \sqrt{e_i + q_i s^{\text{lin}} + f_i s^{\text{lin}^2}} \quad (5)$$

但し指数 $i = H; 0, \dots, n-1$ はハイパス及びバンドパスを示す。つまり、階層 $i = H; 0, \dots, n$ の全体にわたって様々なバンドパス／ハイパス固有の雑音モデルを使用することが本明細書で提案される。

【0054】

線量領域 x に対する任意の線量領域マッピング M について：

$$\begin{aligned} s^M &= M(s^x) \quad (6), \\ M(s^M) &= M'(s) \quad x(s) = M'(M^{-1}(s^M)) \quad x(M^{-1}(s^M)) \quad (7), \end{aligned}$$

による小信号に関する線量依存雑音変換が成立し、 M' はマッピング M の一次微分である。従って、線形線量領域内の雑音モデルを求めると、他の任意の領域内の雑音を予測することができる。対数線量領域では、

【数 4】

$$s^{\log} = d \log(s^{\text{lin}}) \quad (8)$$

$$\sigma^{\log} = \left(\frac{d}{s^{\text{lin}} \ln 10} \right) \sqrt{e_i + q_i s^{\text{lin}} + f_i s^{\text{lin}^2}} \quad (9)$$

が得られ、 d はスケーリング定数を示す。対数線量雑音は、第 1 の等式を反転させ、第 2 の等式に線形信号を挿入することによって対数線量信号 s^{\log} の関数として表され得る。対数線量雑音は、対数線量信号の増加と共に指数関数的に減少することが分かる。

【0055】

ステップ S 530 で、雑音低減画像 I^{NR} を計算するために、正規化済みの空間周波数成分画像 B_i 、 H がローパス画像 L_i と組み合わせられる。この組合せ操作は、再帰法（2）、（3）によって上記で概説された再帰的再構築アルゴリズムに基づいて実施され得る。本明細書で提案されるように、一実施形態によれば、画像信号に依存する雑音低減関数 f^{NR} を含めることによって再構築公式（3）が適合され、 f^{NR} は正規化済みの画像信号の保存又は修正をその信号の強さに応じて引き起こす。より詳細には、原画像 I の分解表現上で定義されるマルチスケール雑音低減が本明細書で提案され：

【数 5】

$$I^{\text{NR}} = f^{\text{NR}}(H/\sigma_H)\sigma_H + \sum_{i=0}^{n-1} U^i f^{\text{NR}}(B_i/\sigma_i)\sigma_i + U^n L_n \quad (10)$$

雑音低減関数 f^{NR} は何らかの単調増加関数である。この公式は線量領域から独立している。マルチスケールレベル i では、次のレベルのアップスケールされたローパスに現在の線量領域の雑音モデルを適用することによって雑音 i が計算される：

$$i = i (U L_{i+1}) \quad (11)$$

【0056】

つまり、各レベル i 及びバンドパス B_i について（又はハイパス画像 H について）、それぞれの画素位置において異なるレベルのアップサンプリングされたローパス画像から（例えばローパス $U L_{i+1}$ 等のより高いレベルから）画像信号を取り出すことによって正規化に必要な雑音情報が得られる。ここでは、雑音が、平滑化されたバージョンとして $U L_{i+1}$ 内にある原画像信号に依存することを利用する。

10

【0057】

雑音低減関数 f^{NR} は、上記の帯域固有の CNR と見なされ得る、雑音が正規化されたハイパス及びバンドパスに適用されることに留意されたい。これらの帯域固有の CNR では、均一領域内の雑音の標準偏差が線量に依存せず、1に等しい。オブジェクト境界では、帯域固有の CNR が受信線量の平方根と共に増加する。マルチスケール雑音低減の効果についての説明図が例示画像による図8の中で以下に示されている。

【0058】

雑音が正規化されたハイパス信号及びバンドパス信号（ H / i 及び B_i / i のそれぞれ）がゼロ付近に対称的に分布し、オブジェクトは雑音よりも統計的に高信号である。このことは、雑音低減関数 f^{NR} に関する以下の要件を含意する：

20

- ・ゼロ付近の点の対称性
- ・単調増加
- ・「小信号」の減衰（又は抑制）
- ・大信号の保存又は均一増幅

【0059】

雑音低減関数の幾つかの特性が表1の中で要約されている。以下の関数はこれらの要件を満たし、雑音低減関数 f^{NR} の一例示的实施形態を与える：

【数6】

$$f^{NR}(y) = y \left[(a_{max} - a_{min}) \frac{\tanh\left(\left(\frac{y}{2(a_{max}-a_{min})}\right)\left(\frac{y^2}{y_0^2} - 1\right)\right) + t_0}{1 + t_0} + a_{min} \right] \quad (12)$$

30

但し

【数7】

$$t_0 = \tanh\left(\frac{y}{2(a_{max}-a_{min})}\right)$$

が成立し、 y は雑音が正規化されたバンド信号である。

40

【0060】

単に一実施形態によるこの(12)による関数を使い、構造の雑音低減と保存／増幅との間の滑らかな移行がモデリングされ得る。より詳細には、変曲点 y_0 の位置は移行が起こる位置（つまりどの画像信号の大きさにおいて又はどの間隔にわたって移行が起こるか）を制御し、 t_0 は移行の強さ、つまりその移行がどの程度平滑かを制御する。

【0061】

表1は、雑音低減関数の幾つかの特性を要約し、図6、図7は雑音低減関数をグラフで示す。

【0062】

【表 1】

特性	説明	注釈
$f^{\text{NR}}(-y) = -f^{\text{NR}}(y)$	ゼロ付近の点の対称性	正及び 負のバンド信号の 対称的雑音低減
$f^{\text{NR}}(y) \geq f^{\text{NR}}(0) = a_{\min} > 0$	狭義増加雑音低減関数、 ゼロにおける最大減衰	バンド信号のオーダは 変更されない、小信号の 調節可能な減衰
間隔 $ y < y_0$ ($y < y_0 + \varepsilon$) $[-\varepsilon, \varepsilon]$ 内の y では $f^{\text{NR}}(y) = a_{\min} y$	小信号の減衰	$0 < a_{\min} < 1$
$ \theta > y_0$ の間隔 $[\theta, \infty]$ 内の $ y $ では $f^{\text{NR}}(y) = a_{\max} y$	大信号の保存($a_{\max}=1$) 又は増幅($a_{\max} > 1$)	$a_{\max} \geq 1$
$ \gamma > 1$ では $a_{\min} y_0 < f^{\text{NR}}(y_0) < a_{\max} y_0$ $f^{\text{NR}}(y_0) = (a_{\min} + a_{\max} + \gamma)/2$	信号振幅の増加に伴う、 減衰から保存への滑らかな移行	変曲点の位置が y_0 によって 制御される。 y_0 は予期される雑音振幅の 数倍である。 減衰から増幅/保存への移 行は傾斜 γ によって制御さ れる。 γ から無限の範囲内で f^{NR} は図 6 に示されているように ステップ関数に退化する。

表1:雑音関数特性の要約

【0063】

但し雑音低減関数 f^{NR} の各実施形態が必ずしもこれらの全ての特性を満たさない場合があり、一部の実施形態では関数が前記特性の単に 1 つ又は幾つかを満たせば十分であり得る。しかし、全ての実施形態で単調性の要件は必要である。

【0064】

上記の関数 f^{NR} の特性から理解できるように、この再構築又は組合せステップは、正規化済みのバンドパス画像又はハイパス画像内の画像信号を修正する（つまり減衰し又は増幅すること又は保存することを含む。修正が適用されるのか保存が適用されるのかは、画像信号の大きさ及び（図 3 において上記で説明された）修正器 MOD の選択される構成 i) ~ iii)）、とりわけ雑音低減関数の選択される構成によって決まる。例えば、 $a_{\min} < 1$ は小信号の減衰をもたらす、 $a_{\max} = 1$ 又は $a_{\max} > 1$ は保存又は増幅操作をもたらす。これについては図 6、図 7 において以下でより詳細に説明される。

【0065】

修正操作又は保存操作は、それぞれの正規化済みのバンドパス画像又はハイパス画像内で画素単位で適用され／決定される。雑音低減関数 f^{NR} の操作による正規化済みのバンドパス画像又はハイパス画像の変換（つまり修正又は保存）をより良く理解するために、それらの正規化済みの画像（ H / \quad_i 又は B_i / \quad_i ）のそれぞれの中の画素が実際に何を符号化するのかを想起することが好都合である。検出器において記録される各画像信号は、構造上の特徴及び雑音信号成分から生じる実信号を含むと理解され得る。正規化済みのバンドパス信号又はハイパス信号内の画素値は、それらの２つの成分の何れか一方が優位を占める量を表す。例えば、正規化済みのバンドパス画像又はハイパス画像内のゼロ付近の画素値は、構造信号と比較した雑音の優位性が統計的に予期できることを意味する。他方で、ゼロから離れた負の又は正の信号は、雑音成分と比較した実際の構造信号の優位性の傾向を表す。つまり、本明細書で提案される $S520$ における正規化ステップは、それぞれの画素位置における雑音対構造の優位性を合理的なやり方で定量化し、それぞれの画像信号を選択的に抑制し、又は保存し、更には増幅することを可能にする。本明細書では、ゼロ付近に一定の操作間隔（各画素及び／又は各バンドパス／ハイパスに固有であり得る）を定めることが提案される。正規化済みのバンドパス又はハイパス内の画像信号が前記間隔内にある場合、それらの値に減衰が適用される。減衰の量は、利用者によって制御されても設計者によって予めプログラムされても良い。しかし、正規化済みのバンドパス／ハイパス内の画像信号が前記間隔の外にある場合、その信号は雑音よりもむしろ構造を表すことが予期され、従って正規化済みのバンドパス画像信号又はハイパス画像信号が増幅され又は少なくとも保存される。修正操作が増幅又は保存の一方かどうかは、一実施形態に従って利用者が調節でき又は設計者によって予めプログラムされる。

【 0 0 6 6 】

操作が保存又は修正の一方かどうかは、一実施形態では、表 1 の中で与えられた雑音低減関数 f^{NR} の機能特性又は「形状」によって定められる。代替的实施形態では、画像信号値の一定の間隔に対する減衰操作又は修正操作を列挙するルックアップテーブルが提供され得る。雑音低減モジュールは、特定の画素における個々の画像信号値がどの間隔内に入るのかを決定する決定ロジックを含み得る。雑音低減モジュールは、関連する操作を探索し、それぞれの画素値を抑制し又は増幅する（又は少なくとも保存する）ために例えば重み係数を適用する。つまり雑音低減関数は、必ずしも上記の実施形態（ 1 2 ）にあるような閉形式で存在しなくても良い。更に、関数 f^{NR} は区分的に定められても良く、減衰領域と保存又は増幅領域との間の滑らかな移行区間を実現するためにスプラインニング等の特定の数値手法が適用され得る。

【 0 0 6 7 】

雑音低減パラメータ m_{min} 、 a_{max} 、 y_0 、及び の重要性をより良く理解するために、雑音低減関数 f^{NR} の理想版がグラフで示されている図 6 を参照することが有益である。横軸は \quad_i で割られた正規化済みの信号 B_i を表すのに対し、縦軸は雑音低減関数を適用した後のそれぞれの値 $f^{NR} (B_i / \quad_i)$ を表す。図 6 は理想的なシナリオを示す。つまり、ゼロ付近には雑音しかなく構造信号がないのに対し、ゼロから離れると構造信号（高コントラスト）しかなく雑音がない。構造信号の確率密度が h_c として示されているのに対し、雑音の確率密度は N で示されている。このような理想的なシナリオでは、雑音低減関数 f^{NR} は原点に「屈曲」を有する恒等関数のように見え得る。つまり、 f^{NR} のグラフは減衰間隔内で 1 未満の傾斜を有し、この間隔の外では 1 に等しい（又は 1 を上回る）。言い換えれば、高コントラスト信号が保存されるのに対し、減衰区間又は抑制区間内の信号は減衰係数 m_{min} 1 を適用することによって抑制される。減衰操作の強さは m_{min} をしかるべく選択することによって調節可能であり、 m_{min} が小さければ小さいほど減衰操作が大きくなる。更に、上記の改変形態として、単に高コントラスト値を保存するのではなく、1 を上回る係数 a_{max} を適用することによって正規化済みの値 y が増幅され得る。つまり、構造信号の優位性（又はより高い確率）がある場合は保存又は増幅が常に画像信号に適用される。他の如何なる信号もより多くの雑音を含むと考えられ、従って抑制係数又は減衰係数 $m_{min} < 1$ を適用することによって「低減」される。

しかし実際には、図 6 に示されているような雑音と構造信号との間のかかる人ための分離は減多にない（とはいえ一部の現実のシナリオでは図 6 の屈曲ステップ関数で十分な場合があり、一部の実施形態ではその使用が本明細書で想定される）。

【 0 0 6 8 】

図 7 は、等式 1 2 で定められた雑音低減関数 f^{NR} の代替的实施形態を示し、画像信号は現実には通常両方の組合せであることに対処するために、この関数は図 6 の実施形態の「平滑化」されたバージョンとして理解され得る。図 7 の軸の表示は図 6 のものと同様である。2 つの釣鐘曲線は正規化済みのバンドパス信号 B_i に対する構造及び雑音のそれぞれの確率密度関数を示す（正規化済みのハイパス信号 H についても同様の状況がグラフで示され得る）。しかし、今回はゼロ付近の領域が雑音及び構造の両方からの寄与を含むので 2 つの密度が重複している。実線は、図 6 の画然としたステップユニティ（unity）関数の「ファジィ」版である雑音低減関数 f^{NR} を示す。見て分かるように、関数 f^{NR} がゼロ付近の領域で 1 未満の傾斜 m_{in} を有するゼロ付近の減衰領域が依然としてある。大信号 y では、関数 f^{NR} が信号の保存又は増幅を意味する傾斜 m_{ax} 1 を有する。関数 f^{NR} は、変曲点 y_0 及び前記変曲点における傾斜制御パラメータ m を有する。図 7 では、傾斜 $m = 0.1$ と共に $y_0 = 1.5$ であり、これらの値は見本又は例示目的に過ぎず、一実施形態では利用者によって調節され得ることが理解されよう。変曲点の位置は通常 1 のオーダのものである（ $y_0 = 1 + \sqrt{2} \cdot 0$ ）。 y_0 、 m の量を変えることにより、利用者は減衰が保存 / 増幅に移行する位置（ y_0 ）及びその移行がどの程度滑らかに起こるのか（ m ）を「微調整」することができる。増幅（又は少なくとも保存）操作への減衰操作の滑らかな移行は、現実には 0 から 1 前後の位置において構造信号及び雑音信号の両方があり、正規化済みのバンドパス B_i / σ_i 又はハイパス H / σ_i 信号がゼロと異なれば異なる（とりわけ 1 を上回る正規化済みのバンドパス B_i / σ_i 又はハイパス H / σ_i 信号）ほど雑音寄与の優位性が次第に減ることをモデリングするためのものである。統計的に、ゼロと異なれば異なるほど正規化済みの画像信号が（雑音ではなく）構造を表す傾向が認められている。

【 0 0 6 9 】

f^{NR} に関する上記の実施形態の全てに対する改変形態として、表 1 のパラメータ m_{in} 又は m_{ax} はそのそれぞれの間隔にわたって必ずしも一定のままである必要はなく、そのため増幅又は減衰の量自体が f^{NR} の一部の構成では変化し得る。例えば図 3 に関する構成 $i i i$ ）について上記で述べられたように、一実施形態では保存、増幅、及び減衰の 3 つ全ての操作が雑音低減関数 f^{NR} について想定される。例えばこの「混成」実施形態では、関数 f^{NR} は前と同じようにゼロ付近の間隔内の値ではダンパとして、その間隔外の値ではプリザーバとして構成され得る。しかし最終的に、非常に大きい（例えば何らかの閾値 y_1 を上回る）値では、それらの大きい値を y_1 以降で（単に保存するのではなく）増幅するために関数 f^{NR} の傾斜が 1 よりも大きくなる。関数 f^{NR} はプリザーバからアンプリファイヤに（図 6 にあるように）ステップ式に移行するように、又は図 7 の実施形態と同様に滑らかに移行するように構成され得る。例えば図 7 では、間隔 $|y| < y_0$ の外側にある全ての値で $a_{max} = 1$ を有するのではなく、 a_{max} が y_0 において突如 $a_{max} > 1$ に変わることができ、又は y_1 前後の間隔を経て $a_{max} > 1$ に滑らかに移行し得る。

【 0 0 7 0 】

別の実施形態では、雑音低減関数がゼロ付近で点対称と異なり得る。この形態は、正のコントラスト及び負のコントラストを異なるように処理することを可能にする。例えば「白点」を強化して「ブラックホール（black hole）」を保存する。

【 0 0 7 1 】

再びステップ S 5 3 0 を参照し、正規化済みのバンドパス画像又はハイパス画像に雑音低減関数を適用した後、検討中のバンドパス画像又はハイパス画像用のそれぞれの雑音モデルの標準偏差の乗算により、そのようにして（ことによると修正される）値が再び重み付けされる。ピラミッド内の i 内のレベルごとに f^{NR} を適用すること及び再び重み付け

することが行われる。次いで、雑音低減画像 I^{NR} を再構築するために、正規化され、ことによると修正され且つ再び重み付けされた周波数成分画像 H 、 L_i 、 B_i が再帰公式 (1)、(2)、又は (3) に従って合計される。

【0072】

最後にステップ S540 で、雑音低減画像 I^{NR} が出力される。

【0073】

図6、図7、とりわけ雑音低減関数 f^{NR} の傾斜 a_{min} を再び参照し、前記傾斜におけるアプリカント (applicant) が、検出器において記録される線量増加に関係し得ることが分かっている。より詳細には、傾斜は仮想的な線量増加に関係し得る。更に別の言い方をすれば、特定の傾斜 a_{min} によって実現される雑音低減効果は、画像を取得する際に x 線量を増やすことによって効果的に得られる雑音低減と同様である。

10

【0074】

図6に示されている理想的な状況では、前記仮想的な線量増加が傾斜の二乗の逆数に比例することが分かっている。より詳細には、二乗された傾斜の逆数は、(それぞれの画素値における雑音の標準偏差の二乗である) 分散の逆数に比例し、更に分散の逆数は、ハイ又はバンド正規化画像の値である局所的なコントラスト対雑音比の二乗に比例し、かかる値はひいては線量に比例する。更に別の言い方をすれば、(上記の公式では a_{min} として示される) 雑音低減関数 f^{NR} の傾斜パラメータを変えながら、画像がより高い線量で取得されていたら実現されていた可能性がある雑音低減をシミュレートすることができる。雑音低減変数の物理的意味に関する上記の考察は、有用なユーザ対話機能を提供することによって上手く利用され得る。

20

【0075】

例えば、雑音低減パラメータ a_{min} 、 a_{max} 、 y_0 、及び γ の一部又は全てが利用者によって調節され得る。例えば一実施形態では、適切なユーザインタフェースによって調節され得る、雑音低減の強さを制御するパラメータ n_r が定められ得る。このパラメータは、以下のように雑音低減関数 f^{NR} の原点において傾斜にマップされる：

$$a_{min} = (1 - n_r) \quad (13)$$

【0076】

今度はパラメータ n_r がより大きいことは減衰がより大きいこと、従って雑音低減操作がより強いことを意味するので、これは利用者が非常に直感的に使えるものである。

30

【0077】

或いは、雑音低減パラメータが、「仮想線量増加」パラメータ $vDose_{inc}$ によって置換されても良い。上記の図6に関する考察により、このパラメータは雑音低減関数 f^{NR} の傾斜に以下のようにマップされる：

【数8】

$$a_{min} = \frac{1}{\sqrt{vDose_{inc}}} \quad (14)$$

【0078】

40

例えば利用者が線量の倍増 ($vDose_{inc} = 2$) をシミュレートしたい場合、 a_{min} が 0.71 に設定される。つまり利用者は、関係する線量増加で実現されるであろう雑音低減をシミュレートするために、所望の仮想線量増加 $vDose_{inc}$ を入力することができる。例えば一実施形態では、原画像 I の雑音低減版 I^{NR} を表示するためのウィンドウ部分を有するグラフィカルユーザインタフェースが考えられる。仮想線量増加パラメータを利用者が調節することをスライダウィジェット又は同様のグラフィカル入力手段が可能にし、かかる調節に応答して a_{min} が (14) に従って再計算され、更新された雑音低減関数 f^{NR} に基づいて雑音低減版 I^{NR} も再計算される。このようにして、利用者はより高線量の x 線画像の利点を確かめることができる。次いで利用者は、この線量において又は他の線量において (追加の) x 線画像を引き続き取得することに決めることが

50

でき、その画像はレジストレーションされ前に取得された画像に追加され得る。かかる形態は、利用者が低線量を患者にまず加え、要求があれば追加画像を続けて取得することを可能にする。かかる形態は患者に加えられる線量を効果的に減らす。かかる形態は、撮像機器を合理的に割り当てること、及び患者の線量を節約することを可能にする。

【 0 0 7 9 】

他の実施形態では、構造増幅係数 $m_{a x}$ も利用者が調節でき、そのため利用者は構造信号が単に保存されることを望むのか、或いは増幅されることを望むのかを決めることができる。

【 0 0 8 0 】

上記で簡潔に言及されたように、 f^{NR} の減衰操作がどこで及びどの程度素早く保存又は増幅の一方に移行すべきかを定めるために、変曲点の位置及び傾斜も調節され得る。

【 0 0 8 1 】

図 3、図 4 に関して上記で言及されたように、提案される雑音低減方法は独国特許第 1 9 8 4 9 0 9 0 号の中で説明されているのと同様のコントラスト増強段階 C E と組み合わせられ得る。上記のマルチスケール分解表現 (1) は、本明細書で提案される雑音低減と独国特許第 1 9 8 4 9 0 9 0 号の画像コントラスト増強との両方に使用され得る。独国特許第 1 9 8 4 9 0 9 0 号の中で説明されているように、コントラスト増強 C E はコントラスト増強曲線に基づく。これらのコントラスト増強曲線は、バンドパスレベル及びハイパスごとの雑音低減関数後に適用される (簡潔にするためにゲイン曲線による乗算はここでは省略される) :

【 数 9 】

$$I^{C,NR} = f_H^C(f^{NR}(H/\sigma_H)\sigma_H) + \sum_{i=0}^{n-1} U^i f_i^C(f^{NR}(B_i/\sigma_i)\sigma_i) + U^n f^D(L_n) \quad (15)$$

【 0 0 8 2 】

コントラスト増強曲線は

$$f_i^C \quad (i = H, 0, \dots, n-1)$$

で示され、大域コントラスト増強曲線 (「フィルム濃度曲線」) が f^D で示される。フィルム濃度 f^D 曲線は、独国特許第 1 9 8 4 9 0 9 0 号の 5 頁 6 行目にあるように密度補正段階を実装する。コントラスト増強曲線 f_i^C は、独国特許第 1 9 8 4 9 0 9 0 号の 3 頁 4 5 行目 (図 4) にあるように弱いコントラスト曲線を実装する。この又は他のコントラスト増強アルゴリズムとの、提案される雑音低減方法の組合せは任意選択的であり、一部の実施形態でのみ想定される。つまり他の代替的实施形態ではコントラスト増強段階がない。

【 0 0 8 3 】

次に図 8 を参照し、図 8 の上段は画像 I をその成分であるローパス画像 L、ハイパス画像 H、並びに 2 つのバンドパス画像 B_0 及び B_1 にマルチスケール分解する一実施例を示す。画像の大きさは概して異なるが、ここでは例示目的で等しい大きさに変倍されて図示されていることが理解されるべきである。下段は、適用される雑音低減と共にそれぞれの正規化済みのハイパス画像及びバンドパス画像を示す。

【 0 0 8 4 】

次に図 9 を参照し、図 9 は提案される雑音低減アルゴリズムによってシミュレートされる線量増加の効果を示す。図 9 の左側は、ステップファントムの一定線量で取得された x 線画像の様々なグレー値を変化図で示す。右側は、より高い線量で取得された対応する画像を示す。雑音低減パラメータ、とりわけ減衰パラメータ $m_{i n}$ を調節することにより、利用者は仮想線量増加シミュレーション中に減衰係数 $m_{i n}$ を徐々に増やすことによって左側の低線量画像のステップ内の雑音振幅を右側の画像の雑音振幅へと変換することができる。記号 はファントムのステップ内の雑音標準偏差を示し、c は可能な限り保存されるべきコントラスト要素を示す。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 5 】

提案される雑音低減方法の効果を理解するための（高コントラストオブジェクト／インサートの有無を問わない）ステップファントム又は階段ファントムのもう1つの使用法は、一定線量で画像を取得することであり、その結果生じるx線画像に対して提案される雑音低減が行われる。次いで、ファントムの各ステップが特定の受信線量に関連付けられる。次に、2つの画像（つまり雑音低減前の1つの画像と雑音低減後の1つの画像と）が以下のように比較される。雑音低減前／後の雑音の標準偏差が線量ステップごとに求められる。すると雑音低減前／後の標準偏差の比率は、雑音低減関数の原点において逆傾斜（inverse slope）にほぼ等しい（ $1 / m_{min} > 1$ ）。等式（3）による分解が雑音低減の前後に行われる場合、このことは各線量ステップに、更には各周波数バンドパスに当てはまる。更に、図9に示されているように、各線量ステップ内のオブジェクトのコントラストは、雑音低減によって著しく下げられるべきではない。

10

【 0 0 8 6 】

提案された方法及び機器NRは医療用に利用されても良く、雑音低減によって構造又は異常の可視性が高められ得る。そのような種類の構造又は異常の例は、マンモグラフィにおける微小石灰化や放射線学的胸部画像内の肺結節である。更に、提案された方法は雑音を減らすことによって診断的x線画像の画質を全体的に改善する一方、コントラストは殆ど保たれる。このことは、画像ごとに適用される線量が少ないことにより単一画像が概して多量の雑音を有する蛍光画像シーケンスにとって特に望ましい。

【 0 0 8 7 】

20

雑音低減モジュールNRは、検出器DTの信号を獲得するための適切なインタフェースを有するソフトウェアモジュール又はルーチンとして構成されても良く、汎用計算ユニット又は専用計算ユニット上で実行され得る。例えばそれらは撮像機器IMAのワークステーション又はコンソールCLS上で実行され得る。そのコンポーネントの一部又は全てを有する雑音低減モジュールNRは、実行機関（汎用コンピュータ、ワークステーション、コンソール等）上に常駐することができ、又は分散型アーキテクチャ内の適切な通信ネットワークを介して実行機関によって遠隔的に／中心的にアクセスされ得る。

【 0 0 8 8 】

雑音低減モジュールNRのコンポーネントは、専用のFPGAとして又は配線で接続された独立型のチップとして構成されても良い。但しこれは例示的实施形態に過ぎない。それらのコンポーネントはMatlab（登録商標）やSimulink（登録商標）等の適切な科学計算プラットフォームを使ってプログラムされ、その後、ライブラリ内に保持されるC++又はCルーチンに変換され、汎用コンピュータ、ワークステーション、コンソール等の実行機関によって呼び出されるときリンクされ得る。

30

【 0 0 8 9 】

本発明の別の例示的实施形態では、先の実施形態の1つによる方法の方法ステップを適切なシステム上で実行するように適合されることを特徴とする、コンピュータプログラム又はコンピュータプログラム要素が提供される。

【 0 0 9 0 】

従って、コンピュータプログラム要素は、同じく本発明の実施形態の一部であり得るコンピュータユニット上に記憶されても良い。この計算ユニットは、上記の方法のステップを実行するように、又はその実行を引き起こすように適合されても良い。更に、この計算ユニットは、上記の機器のコンポーネントを動作させるように適合されても良い。この計算ユニットは、自動で動作し且つ／又は利用者の命令を実行するように適合され得る。データプロセッサの作業メモリ内にコンピュータプログラムがロードされても良い。従って、データプロセッサは本発明の方法を実行する能力を備え得る。

40

【 0 0 9 1 】

本発明のこの例示的实施形態は、本発明を初めから使用するコンピュータプログラム、及びアップデートによって既存のプログラムを本発明を使用するプログラムへと変えるコンピュータプログラムの両方を範囲に含む。

50

【 0 0 9 2 】

更にコンピュータプログラム要素は、上記の方法の例示的实施形態の手続きを満たすのに必要な全てのステップを提供できても良い。

【 0 0 9 3 】

本発明の更なる例示的实施形態によれば、C D - R O M等のコンピュータ可読媒体が提供され、コンピュータ可読媒体上には前節で説明されたコンピュータプログラム要素が記憶されている。

【 0 0 9 4 】

コンピュータプログラムは、他のハードウェアと共に又は他のハードウェアの一部として供給される、光学記憶媒体やソリッドステート媒体等の適当な媒体上に記憶/分散され得るが、インターネットや他の有線又は無線通信システムによって等、他の形態で分散されても良い。

【 0 0 9 5 】

但し、コンピュータプログラムはワールドワイドウェブ等のネットワークを介して提供されても良く、かかるネットワークからデータプロセッサの作業メモリ内にダウンロードされ得る。本発明の更なる例示的实施形態によれば、コンピュータプログラム要素をダウンロードできるようにする媒体が提供され、コンピュータプログラム要素は、先に説明された本発明の実施形態の1つによる方法を実行するように構成される。

【 0 0 9 6 】

本発明の実施形態が様々な内容に関して説明されたことを指摘しておかなければならない。具体的には、一部の実施形態は方法型の請求項に関して説明された一方、他の実施形態は装置型の請求項に関して説明された。しかし、別段の定めがない限り、一種類の内容に属する特徴の任意の組合せに加えて、様々な内容に関係する特徴間の任意の組合せも本願で開示されていると見なされることを当業者なら上記の内容及び以下の説明から推測されよう。但し、全ての特徴が組み合わせられ、それらの特徴を単純に合計する以上の相乗効果をもたらすことができる。

【 0 0 9 7 】

本発明が図面及び上記の説明の中で詳細に図示され説明されてきたが、かかる図面及び説明は制限的ではなく説明的又は例示的と見なされるべきである。本発明は開示された実施形態に限定されない。特許請求の範囲に記載の本発明を実施する際、図面、本開示、及び従属請求項を検討することにより、開示された実施形態に対する他の改変形態が当業者によって理解され、もたらされ得る。

【 0 0 9 8 】

特許請求の範囲では、「含む」という語は他の要素又はステップを排除せず、不定冠詞「a」又は「an」は複数形を排除しない。特許請求の範囲の中で列挙される幾つかのアイテムの機能を単一のプロセッサ又は他のユニットが果たしても良い。或る手段が互いに異なる従属請求項の中で列挙されているという単なる事実は、それらの手段の組合せが有利に使用されてはならないことを示すものではない。特許請求の範囲の中の如何なる参照符号も範囲を限定するものとして解釈すべきではない。

【 0 0 9 9 】

10

20

30

40

【表 2】

定義

B	バンドパス
d	対数線量領域のデケード係数
線量領域	スケール線形強度値が単調関数によって変換される
e, q, f	電子、量子、固定パターン雑音それぞれの係数
f^D	フィルム濃度曲線
F_m	カーネルサイズ m の二項フィルタ
\downarrow, \uparrow	ダウンサンプリング及びアップサンプリングの基本演算子
D, U	ダウンサンプリング及びアップサンプリングの演算子: $D=\downarrow F_m, U=F_m\uparrow$
f^{NR}	雑音低減関数
f_i^C	帯域固有のコントラスト増強関数
H	ハイパス
I	原画像
L	ローパス
M	線量領域マッピング
s^{lin}	線形線量領域内の検出器信号
s^{log}	対数線量領域内の検出器信号
σ_i	雑音に関する帯域固有の標準偏差

10

20

30

【図 1】

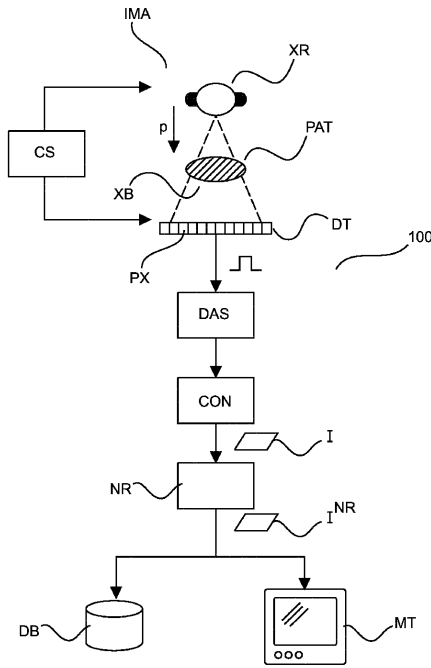


Fig. 1

【図 2】

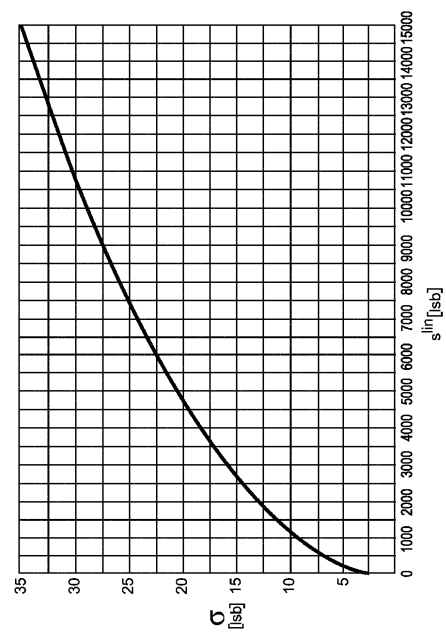


Fig. 2

【図 3】

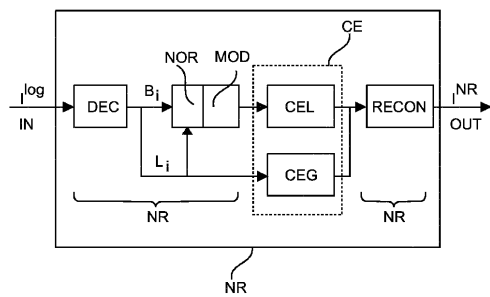


Fig. 3

【図 4】

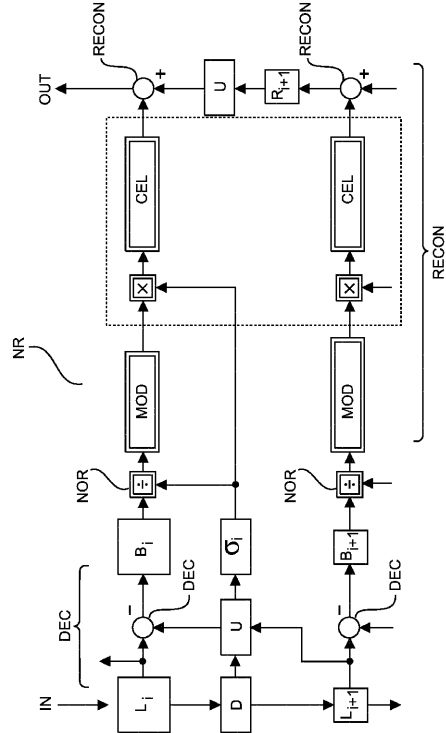


Fig. 4

【 図 5 】

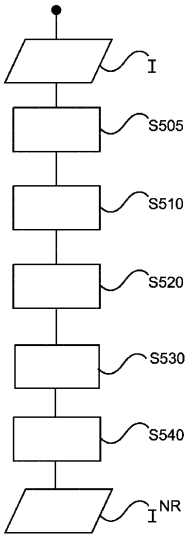


Fig. 5

【 図 6 】

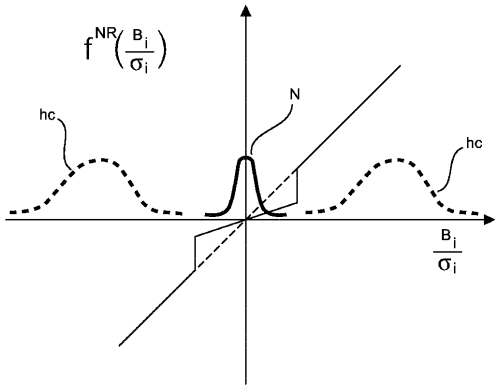


Fig. 6

【 図 7 】

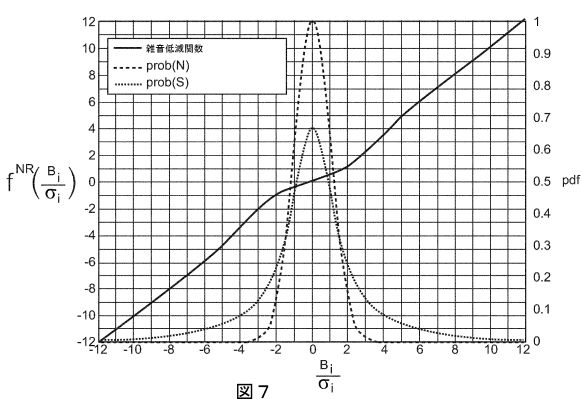


図 7

【 図 8 】

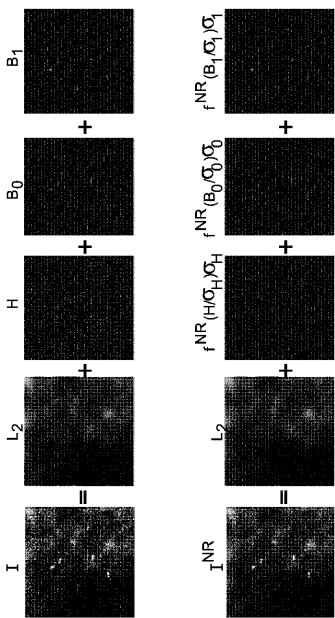


Fig. 8

【 図 9 】

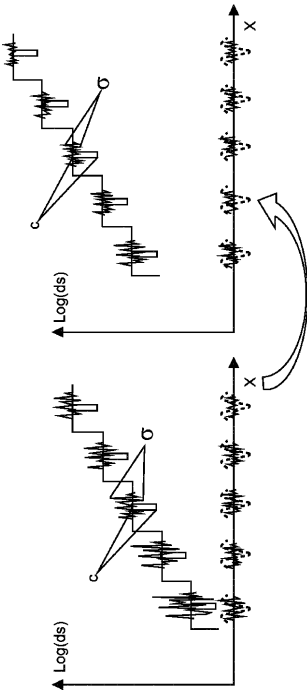


Fig. 9

フロントページの続き

(72)発明者 マーク ハンス インゴ

オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5

(72)発明者 ルント ベルンド

オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5

審査官 伊知地 和之

(56)参考文献 米国特許出願公開第2010/0046822 (US, A1)

特開2004-242285 (JP, A)

特開2002-133410 (JP, A)

特開平05-244508 (JP, A)

欧州特許出願公開第0527525 (EP, A2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A 6 1 B 6 / 0 0 - 6 / 1 4