

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6524497号
(P6524497)

(45) 発行日 令和1年6月5日(2019.6.5)

(24) 登録日 令和1年5月17日(2019.5.17)

(51) Int.Cl.		F I			
A 6 1 B	6/00	(2006.01)	A 6 1 B	6/00	3 5 0 D
G 0 6 T	7/00	(2017.01)	A 6 1 B	6/00	3 5 0 P
G 0 6 T	1/00	(2006.01)	G 0 6 T	7/00	6 1 6
			G 0 6 T	7/00	3 5 0 A
			G 0 6 T	1/00	2 9 0 A

請求項の数 7 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2017-508963 (P2017-508963)	(73) 特許権者	504157024
(86) (22) 出願日	平成27年3月31日 (2015.3.31)		国立大学法人東北大学
(86) 国際出願番号	PCT/JP2015/060275		宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
(87) 国際公開番号	W02016/157457	(73) 特許権者	504229284
(87) 国際公開日	平成28年10月6日 (2016.10.6)		国立大学法人弘前大学
審査請求日	平成30年3月5日 (2018.3.5)		青森県弘前市文京町1番地
特許法第30条第2項適用	平成26年12月6日, 第48回日本生体医工学会東北支部大会 平成26年12月6日, 第48回日本生体医工学会東北支部大会講演論文集, p22, 日本生体医工学会	(74) 代理人	100092978
			弁理士 真田 有
		(72) 発明者	本間 経康
			宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
			国立大学法人東北大学内
		(72) 発明者	酒井 正夫
			宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
			国立大学法人東北大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像処理装置、画像処理方法、及び、画像処理プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の物体のそれぞれに起因する輝度の成分の重畳である画素の輝度を含む、複数の透視画像における、前記画素の輝度が複数の値のうちの各値を有する透視画像の出現頻度に基づいて、当該画素の輝度の確率分布を取得する取得部と、

前記取得された確率分布を表す混合分布を推定する分布推定部と、

前記推定された混合分布を構成する複数の部分分布のうちの期待値が最小である期待値最小分布に対応し且つ前記画素の輝度の少なくとも一部を構成する成分を推定する成分推定部と、

前記透視画像に含まれる前記画素の輝度から、前記推定された成分を除去する除去部と

10

を備える、画像処理装置。

【請求項2】

請求項1に記載の画像処理装置であって、

前記成分推定部は、

前記画素の輝度が前記期待値最小分布に起因する確率が、前記推定された混合分布を構成する複数の部分分布のうちの、前記期待値最小分布と異なる部分分布に前記画素の輝度が起因する確率よりも高い場合、当該画素の輝度を前記成分として推定する、画像処理装置。

【請求項3】

20

請求項 1 又は請求項 2 に記載の画像処理装置であって、
前記成分推定部は、

前記画素の輝度が前記期待値最小分布に起因する確率が、前記推定された混合分布を構成する複数の部分分布のうちの、前記期待値最小分布と異なる部分分布に前記画素の輝度が起因する確率よりも低い場合、当該期待値最小分布に基づく値を前記成分として推定する、画像処理装置。

【請求項 4】

請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか一項に記載の画像処理装置であって、
前記除去部は、前記複数の透視画像のそれぞれに対して、前記成分の除去を実行し、
前記画像処理装置は、

前記成分が除去された前記複数の透視画像に対して、前記確率分布の取得、前記混合分布の推定、前記成分の推定、及び、前記成分の除去を、繰り返し実行する、画像処理装置。

【請求項 5】

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか一項に記載の画像処理装置であって、

前記複数の透視画像の中から選択された基準透視画像に対する、前記複数の透視画像のそれぞれにおける被写体の移動距離及び移動方向を推定し、前記複数の透視画像のそれぞれに対して、前記推定した移動方向と逆方向へ、前記推定した移動距離だけ前記被写体を移動させるように当該透視画像を補正する補正部を備える、画像処理装置。

【請求項 6】

複数の物体のそれぞれに起因する輝度の成分の重畳である画素の輝度を含む、複数の透視画像における、前記画素の輝度が複数の値のうちの各値を有する透視画像の出現頻度に基づいて、当該画素の輝度の確率分布を取得し、

前記取得された確率分布を表す混合分布を推定し、

前記推定された混合分布を構成する複数の部分分布のうちの期待値が最小である期待値最小分布に対応し且つ前記画素の輝度の少なくとも一部を構成する成分を推定し、

前記透視画像に含まれる前記画素の輝度から、前記推定された成分を除去する、画像処理方法。

【請求項 7】

複数の物体のそれぞれに起因する輝度の成分の重畳である画素の輝度を含む、複数の透視画像における、前記画素の輝度が複数の値のうちの各値を有する透視画像の出現頻度に基づいて、当該画素の輝度の確率分布を取得し、

前記取得された確率分布を表す混合分布を推定し、

前記推定された混合分布を構成する複数の部分分布のうちの期待値が最小である期待値最小分布に対応し且つ前記画素の輝度の少なくとも一部を構成する成分を推定し、

前記透視画像に含まれる前記画素の輝度から、前記推定された成分を除去する、

処理をコンピュータに実行させる画像処理プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、画像処理装置、画像処理方法、及び、画像処理プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

複数の異なる時点にてそれぞれ撮影された複数の非透視画像を処理する画像処理装置が知られている（例えば、非特許文献 1 及び非特許文献 2 を参照）。非透視画像に含まれる画素は、前景又は背景を表す。例えば、前景は、車両等の移動する物体であり、背景は、建築物及び道路等の静止した物体である。

【0003】

この画像処理装置は、混合正規分布に基づいて、画素が、前景及び背景のいずれを表すかを判定する。

10

20

30

40

50

具体的には、画像処理装置は、複数の非透視画像における、画素の輝度が複数の値のうちの各値を有する非透視画像の出現頻度に基づいて、当該画素の輝度の確率分布を取得する。換言すると、画素の輝度の確率分布は、複数の非透視画像のうちの、当該画素の輝度が複数の値のうちの各値を有する非透視画像の数の、非透視画像の総数に対する割合を表すとともに、当該画素の輝度を確率変数として用いる。

更に、画像処理装置は、取得した確率分布を表す混合正規分布を推定し、推定した混合正規分布に基づいて、画素が、前景及び背景のいずれを表すかを判定する。

【0004】

例えば、図1の(A)に表されるように、画像に含まれる画素の輝度は、画像が撮影された時点の変化に伴って変化する。この場合、画素の輝度の確率分布は、図1の(B)のように表される。

10

【0005】

ところで、非透視画像を撮影する方向に沿って延びる直線上に複数の物体が存在する場合、非透視画像に含まれる画素は、最も手前側に位置する物体を表す。従って、前景が移動する物体である場合、画素が背景を表す時間は、当該画素が前景を表す時間よりも長くなりやすい。

【0006】

そこで、画像処理装置は、画素の輝度が、推定した混合正規分布を構成する複数の正規分布 G_1 、 G_2 のうちの、確率が最大である正規分布 G_1 に対応する場合、当該画素が背景を表すと判定する。

20

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】J. Choi、外2名、「Adaptive Shadow Estimator for Removing Shadow of Moving Object」、Computer Vision and Image Understanding、Elsevier Inc.、2010年、第114号、p. 1017 - 1029

【非特許文献2】S. Calderara、外2名、「Vision Based Smoke Detection System Using Image Energy and Color Information」、Machine Vision and Applications、Springer、2010年、第22号、p. 705 - 719

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

この画像処理装置を用いて透視画像を処理することにより、透視画像において対象物体（例えば、腫瘍、軟部組織、患部、又は、病変組織等）を識別することが考えられる。しかしながら、透視画像を撮影する方向に沿って延びる直線上に複数の物体が存在する場合、透視画像に含まれる画素の輝度は、当該複数の物体のそれぞれに起因する輝度の成分の重畳である。例えば、複数の物体のそれぞれに起因する輝度の成分の重畳は、複数の物体のそれぞれに起因する輝度の成分の和である。

40

【0009】

このため、上述した画像処理装置を用いて透視画像を処理しても、透視画像において対象物体を高い精度にて識別することが困難であった。

【0010】

本発明の目的の一つは、透視画像において対象物体を高い精度にて識別することが可能な画像処理装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

50

一つの側面では、画像処理装置は、

複数の物体のそれぞれに起因する輝度の成分の重畳である画素の輝度を含む、複数の透視画像における、上記画素の輝度が複数の値のうちの各値を有する透視画像の出現頻度に基づいて、当該画素の輝度の確率分布を取得する取得部と、

上記取得された確率分布を表す混合分布を推定する分布推定部と、

上記推定された混合分布を構成する複数の部分分布のうちの期待値が最小である期待値最小分布に対応し且つ上記画素の輝度の少なくとも一部を構成する成分を推定する成分推定部と、

上記透視画像に含まれる上記画素の輝度から、上記推定された成分を除去する除去部と、を備える。

10

【0012】

他の一つの側面では、画像処理方法は、

複数の物体のそれぞれに起因する輝度の成分の重畳である画素の輝度を含む、複数の透視画像における、前記画素の輝度が複数の値のうちの各値を有する透視画像の出現頻度に基づいて、当該画素の輝度の確率分布を取得し、

前記取得された確率分布を表す混合分布を推定し、

前記推定された混合分布を構成する複数の部分分布のうちの期待値が最小である期待値最小分布に対応し且つ前記画素の輝度の少なくとも一部を構成する成分を推定し、

前記透視画像に含まれる前記画素の輝度から、前記推定された成分を除去する。

【0013】

20

他の一つの側面では、画像処理プログラムは、

複数の物体のそれぞれに起因する輝度の成分の重畳である画素の輝度を含む、複数の透視画像における、前記画素の輝度が複数の値のうちの各値を有する透視画像の出現頻度に基づいて、当該画素の輝度の確率分布を取得し、

前記取得された確率分布を表す混合分布を推定し、

前記推定された混合分布を構成する複数の部分分布のうちの期待値が最小である期待値最小分布に対応し且つ前記画素の輝度の少なくとも一部を構成する成分を推定し、

前記透視画像に含まれる前記画素の輝度から、前記推定された成分を除去する、

処理をコンピュータに実行させる。

【発明の効果】

30

【0014】

透視画像において対象物体を高い精度にて識別できる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】輝度の時間に対する変化の一例と、輝度に対する確率分布の一例と、を表すグラフである。

【図2】第1実施形態の放射線照射システムの構成の一例を表すブロック図である。

【図3】図2の制御装置の構成の一例を表すブロック図である。

【図4】図2の制御装置の機能の一例を表すブロック図である。

【図5】図2の制御装置に入力される透視画像の一例を表す図である。

40

【図6】輝度の時間に対する変化の一例を表すグラフである。

【図7】輝度に対する確率分布の一例を表すグラフである。

【図8】推定される除去対象成分の時間に対する変化の一例を表すグラフである。

【図9】入力透視画像からの除去対象成分の除去の一例を表す説明図である。

【図10】図2の制御装置が実行する処理の一例を表すフローチャートである。

【図11】模擬透視画像の一例を表す説明図である。

【図12】模擬透視画像からの除去対象成分の除去結果の一例を表す図である。

【図13】模擬透視画像の各画素の輝度に対する二乗平均平方根誤差の時間に対する変化の一例を表すグラフである。

【図14】臨床透視画像に対する対象物体の位置の推定結果の一例を表す図である。

50

【図 15】臨床透視画像の対象物体の位置に対する二乗平均平方根誤差の時間に対する変化の一例を表すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0016】

本願の発明者は、透視画像に含まれる画素の輝度の確率分布を表す混合分布を構成する複数の分布のうちの期待値が最小である期待値最小分布が、対象物体と異なる物体に対応する確率が高い、という知見を得た。

【0017】

そこで、後述する各実施形態において、画像処理装置は、期待値最小分布に対応し且つ画素の輝度の少なくとも一部を構成する成分を推定し、透視画像に含まれる画素の輝度から、推定した成分を除去する。

10

これによれば、透視画像に含まれる画素の輝度の中から、対象物体に起因する成分を高い精度にて抽出できる。この結果、透視画像において対象物体を高い精度にて識別できる。

【0018】

以下、本発明の、画像処理装置、画像処理方法、及び、画像処理プログラム、に関する各実施形態について図 2 乃至図 15 を参照しながら説明する。

【0019】

< 第 1 実施形態 >

(構成)

20

図 2 に表されるように、第 1 実施形態の放射線照射システム 1 は、撮影装置 10 と、制御装置 20 と、放射線照射装置 30 と、を備える。

撮影装置 10 は、所定の撮影周期が経過する毎に生体 LB の透視画像を撮影する。本例では、撮影装置 10 は、X 線を用いて透視画像を撮影する。本例では、透視画像において、物体に起因する輝度は、当該物体に対する X 線の透過率が低くなるほど高くなる。

【0020】

撮影装置 10 は、透視画像を撮影する毎に、撮影された透視画像を制御装置 20 へ出力する。本例では、制御装置 20 へ出力される透視画像は、X 軸方向において $N_{x \max}$ 個の画素が並ぶとともに、X 軸方向に直交する Y 軸方向において $N_{y \max}$ 個の画素が並ぶように、格子状に配列された、 $N_{x \max} \times N_{y \max}$ 個の画素のそれぞれの輝度を含む。

30

$N_{x \max}$ 及び $N_{y \max}$ は、自然数を表す。

【0021】

制御装置 20 には、撮影装置 10 から、上記撮影周期の時間間隔を有する複数の異なる時点にてそれぞれ撮影された複数の透視画像が入力される。制御装置 20 に入力された透視画像は、入力透視画像とも表される。制御装置 20 は、複数の入力透視画像を処理し、処理後の透視画像に基づいて生体 LB における対象物体の位置を推定する。例えば、対象物体は、腫瘍、軟部組織、患部、又は、病変組織等である。対象物体は、特定の物体と表されてもよい。

なお、複数の入力透視画像の処理については後述する。

【0022】

40

制御装置 20 は、推定した対象物体の位置に基づいて、放射線照射装置 30 による生体 LB への放射線の照射を制御する。

本例では、制御装置 20 は、推定した対象物体の位置に基づいて、放射線を生体 LB に照射する期間を制御する。なお、制御装置 20 は、推定した対象物体の位置に基づいて、生体 LB に照射する放射線の強度を制御してもよい。また、制御装置 20 は、推定した対象物体の位置に基づいて、放射線を照射する位置を制御してもよい。

【0023】

放射線照射装置 30 は、制御装置 20 による制御に従って、放射線を生体 LB に照射する。

【0024】

50

ここで、制御装置 20 について説明を加える。

制御装置 20 は、図 3 に表されるように、処理装置 21 と、記憶装置 22 と、を備える。

処理装置 21 は、記憶装置 22 に記憶されたプログラムを実行することにより、後述する機能を実現する。本例では、処理装置 21 は、CPU (Central Processing Unit) である。なお、処理装置 21 は、DSP (Digital Signal Processor)、又は、プログラム可能な論理回路装置 (PLD; Programmable Logic Device) により構成されていてもよい。

【0025】

記憶装置 22 は、情報を読み書き可能に記憶する。例えば、記憶装置 22 は、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、HDD (Hard Disk Drive)、SSD (Solid State Disk)、半導体メモリ、及び、有機メモリの少なくとも 1 つを備える。なお、記憶装置 22 は、フレキシブルディスク、光ディスク、光磁気ディスク、及び、半導体メモリ等の記録媒体と、記録媒体から情報を読み取り可能な読取装置と、を備えていてもよい。

なお、制御装置 20 は、集積回路 (例えば、LSI (Large Scale Integration) 等) により実現されてよい。

制御装置 20 は、画像処理装置の一例である。

【0026】

図 4 に表されるように、制御装置 20 の機能は、補正部 201 と、取得部 202 と、分布推定部 203 と、成分推定部 204 と、除去部 205 と、位置推定部 206 と、照射制御部 207 と、を備える。

【0027】

本例では、制御装置 20 は、透視画像に含まれる $N_x \times m_a \times N_y \times m_a$ 個の画素のうち、所定の対象領域に含まれる複数の画素のそれぞれの輝度から除去対象成分を除去する除去処理を、所定の反復回数 M だけ繰り返し実行する。 M は、自然数を表す。例えば、除去対象成分は、輝度のうちの、対象物体と異なる物体 (例えば、骨又は筋肉等) に起因する成分である。

なお、対象物体は、骨又は筋肉であってもよい。この場合、対象物体と異なる物体は、軟部組織であってもよい。

【0028】

対象領域は、 X 軸方向における範囲が、 $x_0 + 1$ 番目の画素から、 $x_0 + N_x$ 番目の画素までであり、且つ、 Y 軸方向における範囲が、 $y_0 + 1$ 番目の画素から、 $y_0 + N_y$ 番目の画素までである。 x_0 及び y_0 は、1 以上の整数を表す。 N_x 及び N_y は、2 以上の整数を表す。従って、対象領域に含まれる画素の数は、 $N_x \times N_y$ 個である。本例では、対象領域は、放射線照射システム 1 のユーザによって設定される。なお、対象領域は、除去処理が実行された回数に応じて変更されてよい。例えば、対象領域は、除去処理が実行される毎に狭くなるように変更されてよい。

【0029】

1 回目の除去処理において、制御装置 20 は、数式 1 に表されるように、除去処理の対象となる透視画像として、撮影装置 10 からの入力透視画像を用いる。

【数 1】

$$I_1(x, y, t) = I_p(x, y, t)$$

【0030】

$I_m(x, y, t)$ は、 m 回目の除去処理の対象となる T 個の透視画像のうちの t 番目の透視画像に含まれる複数の画素のうち、 X 軸方向において x 番目であり且つ Y 軸方向において y 番目である画素の輝度を表す。 m は、1 から M までの各整数を表す。

【0031】

数式 1 において、 x は、1 から $N_x \times m_a$ までの各整数を表す。 y は、1 から $N_y \times m_a$

10

20

30

40

50

x までの各整数を表す。T は、2 以上の整数を表す。t は、1 から T までの各整数を表す。本例では、 $t + 1$ 番目の透視画像は、 t 番目の透視画像が撮影された時点から、撮影周期だけ後の時点にて撮影された透視画像である。

【0032】

$I_p(x, y, t)$ は、T 個の入力透視画像のうちの t 番目の入力透視画像に含まれる複数の画素のうちの、X 軸方向において x 番目であり且つ Y 軸方向において y 番目である画素の輝度を表す。

【0033】

本例では、2 回目以降の除去処理において、制御装置 20 は、除去処理の対象となる透視画像として、直前の除去処理において除去対象成分が除去された後の透視画像を用いる。なお、制御装置 20 は、2 回目以降の少なくとも 1 つの除去処理において、除去処理の対象となる透視画像として、直前の除去処理における除去対象成分からなる透視画像を用いてもよい。

10

【0034】

補正部 201 は、 m 回目の除去処理の対象となる T 個の透視画像の中から基準透視画像を選択する。本例では、補正部 201 は、1 番目の透視画像を基準透視画像として選択する。そして、補正部 201 は、選択した基準透視画像に対する、T 個の透視画像のそれぞれにおける被写体の移動距離及び移動方向を推定する。本例では、被写体は、1 番目の透視画像の、対象領域に含まれる複数の画素により表される。被写体は、テンプレート画像と表されてもよい。

20

【0035】

本例では、補正部 201 は、テンプレートマッチング法を用いることにより、被写体の移動距離及び移動方向を推定する。補正部 201 は、テンプレートマッチング法において、相関係数を評価関数として用いてよい。本例では、被写体の移動距離及び移動方向は、X 軸方向における移動量 $u_m(t)$ と、Y 軸方向における移動量 $v_m(t)$ と、により表される。 $u_m(t)$ 及び $v_m(t)$ は、整数を表す。

【0036】

補正部 201 は、T 個の透視画像のそれぞれに対して、推定した移動方向と逆方向へ、推定した移動距離だけ被写体を移動させるように当該透視画像を被写体の位置に関して補正する。本例では、補正部 201 は、数式 2 に表されるように、T 個の透視画像のそれぞれに含まれる複数の画素のそれぞれの輝度を補正する。 $I_m'(x, y, t)$ は、補正後の輝度を表す。なお、画素の輝度の補正は、当該画素を含む画像の補正の一例である。

30

【数 2】

$$I_m'(x, y, t) = I_m(x - u_m(t), y - v_m(t), t)$$

【0037】

例えば、被写体の移動距離及び移動方向は、対象領域に含まれる複数の画素のそれぞれに対する移動量ベクトルに基づく主要移動量ベクトルにより表されてよい。例えば、画素に対する移動量ベクトルは、画素の移動距離及び移動方向を表す。例えば、主要移動量ベクトルは、平均移動量ベクトル、又は、最頻移動量ベクトルである。平均移動量ベクトルは、対象領域に含まれる複数の画素に対して、各画素の移動量ベクトルを平均することにより得られる。最頻移動量ベクトルは、対象領域に含まれる複数の画素において、最も出現頻度が高い移動量ベクトルである。

40

【0038】

取得部 202 は、補正部 201 による補正後の輝度 $I_m'(x, y, t)$ に基づいて、対象領域に含まれる複数の画素のそれぞれに対して、T 個の透視画像のうちの、当該画素の輝度が複数の値のうちの各値を有する透視画像の数を計数することにより、輝度に対する度数分布を取得する。

【0039】

取得部 202 は、対象領域に含まれる複数の画素のそれぞれに対して、取得した度数分

50

布に基づいて、当該画素の輝度を確率変数として用いる確率分布を取得する。本例では、確率分布は、T個の透視画像のうちの、画素の輝度が複数の値のうちの各値を有する透視画像の数の、透視画像の総数Tに対する割合を表す。

【0040】

図5は、透視画像の一例を表す。透視画像の中央部に位置し、円形状を有し、且つ、輝度が他の部分よりも高い部分CCの位置が、透視画像間で変化する場合を想定する。更に、ある画素の輝度が、図6に表されるように、時間の経過に伴って変化する場合を想定する。この場合、取得部202は、図7に表されるように、確率分布PDを取得する。

【0041】

分布推定部203は、対象領域に含まれる複数の画素のそれぞれに対して、取得部202により取得された確率分布を表す混合分布 $p(i_m(x, y))$ を推定する。混合分布は、混合確率分布と表されてもよい。本例では、分布推定部203は、EM(Expectation Maximization)アルゴリズムに従って数式3に表されるような混合正規分布を推定する。混合正規分布は、混合分布の一例である。

【数3】

$$p(i_m(x, y)) = \sum_{j=1}^{J(x, y)} \pi_j(x, y) N(i_m(x, y) | \mu_j(x, y), \sigma_j^2(x, y))$$

【0042】

$i_m(x, y)$ は、X軸方向においてx番目であり且つY軸方向においてy番目である画素の輝度を表す確率変数である。数式3において、xは、 $x_0 + 1$ から $x_0 + N_x$ までの各整数を表す。yは、 $y_0 + 1$ から $y_0 + N_y$ までの各整数を表す。

【0043】

$N(i | \mu, \sigma^2)$ は、期待値が μ であり、分散が σ^2 であり、且つ、確率変数がiである正規分布を表す。期待値は、平均値と表されてもよい。正規分布は、部分分布の一例である。なお、部分分布として正規分布と異なる分布が用いられてもよい。 $J(x, y)$ は、X軸方向においてx番目であり且つY軸方向においてy番目である画素の輝度に対する混合分布を構成する部分分布の数を表す。jは、1から $J(x, y)$ までの各整数を表す。 $\pi_j(x, y)$ は、上記混合分布を構成する $J(x, y)$ 個の部分分布のうちのj番目の部分分布に対する混合係数を表す。 $\mu_j(x, y)$ は、上記混合分布を構成する $J(x, y)$ 個の部分分布のうちのj番目の部分分布の期待値を表す。 $\sigma_j^2(x, y)$ は、上記混合分布を構成する $J(x, y)$ 個の部分分布のうちのj番目の部分分布の分散を表す。

【0044】

図7に表されるように、取得部202が確率分布PDを取得した場合、分布推定部203は、2個の部分分布G1, G2により構成される混合分布MGを推定する。

【0045】

成分推定部204は、数式4に表されるように、対象領域に含まれる複数の画素のそれぞれに対して、分布推定部203により推定された混合分布を構成する $J(x, y)$ 個の部分分布のうちの期待値が最小である期待値最小分布を決定する。

【数4】

$$\theta(x, y) = \operatorname{argmin}_{\{j|j=1, \dots, J(x, y)\}} \mu_j(x, y)$$

【0046】

(x, y) は、X軸方向においてx番目であり且つY軸方向においてy番目である画素の輝度に対する混合分布を構成する $J(x, y)$ 個の部分分布のうちの (x, y) 番目の部分分布が期待値最小分布であることを表す。 (x, y) は、期待値最小分布のインデックスと表されてもよい。数式4において、xは、 $x_0 + 1$ から $x_0 + N_x$ までの各

10

20

30

40

50

整数を表す。y は、 $y_0 + 1$ から $y_0 + N_y$ までの各整数を表す。

【0047】

更に、成分推定部204は、T個の透視画像のそれぞれの対象領域に含まれる複数の画素のそれぞれに対して、決定した期待値最小分布に対応し、且つ、当該画素の輝度の少なくとも一部を構成する成分を推定する。画素の輝度に対する期待値最小分布に対応し、且つ、当該画素の輝度の少なくとも一部を構成する成分は、除去対象成分と表されてもよい。

【0048】

本例では、成分推定部204は、除去対象成分を下記のように推定する。

まず、成分推定部204は、補正部201による補正後の輝度 $I_m'(x, y, t)$ に基づいて、T個の透視画像のそれぞれの対象領域に含まれる複数の画素のそれぞれに対して、当該画素の輝度に対する混合分布を構成する $J(x, y)$ 個の部分分布のそれぞれに、当該画素の輝度が起因する確率を算出する。

【0049】

本例では、成分推定部204は、上記確率として、数式5に表される負担率 $\pi_k(x, y, t)$ を用いる。数式5において、x は、 $x_0 + 1$ から $x_0 + N_x$ までの各整数を表す。y は、 $y_0 + 1$ から $y_0 + N_y$ までの各整数を表す。

【数5】

$$\gamma_k(x, y, t) \equiv p(z_k = 1 | I_m'(x, y, t))$$

$$= \frac{\pi_k(x, y) N(I_m'(x, y, t) | \mu_k(x, y), \sigma_k^2(x, y))}{\sum_{j=1}^{J(x, y)} \pi_j(x, y) N(I_m'(x, y, t) | \mu_j(x, y), \sigma_j^2(x, y))}$$

【0050】

負担率 $\pi_k(x, y, t)$ は、t番目の透視画像の、X軸方向においてx番目であり且つY軸方向においてy番目である画素の輝度が $I_m'(x, y, t)$ であるという条件の下で、当該輝度がk番目の部分分布に起因する確率である。kは、1から $J(x, y)$ までの各整数を表す。

【0051】

z_k は、0又は1を有する2値確率変数である。 z_k が1を有することは、輝度がk番目の部分分布に起因することを表す。 $\{z_1, \dots, z_{J(x, y)}\}$ は、1-of- $J(x, y)$ 表現に従った $J(x, y)$ 次元のベクトルである。換言すると、 $z_1, \dots, z_{J(x, y)}$ は、いずれか1つが1を有するとともに、他のすべてが0を有する。

【0052】

成分推定部204は、数式6に表されるように、T個の透視画像のそれぞれの対象領域に含まれる複数の画素のそれぞれに対して、当該画素の輝度に対する混合分布を構成する $J(x, y)$ 個の部分分布のうち、期待値最小分布と異なる部分分布に対する負担率 $\pi_j(x, y, t)$ のそれぞれが、当該期待値最小分布に対する負担率 $\pi_k(x, y, t)$ (x, y, t) よりも小さい場合、除去対象成分 (x, y, t) として、当該画素の輝度 $I_m'(x, y, t)$ を推定する。ここで、jは、1から $J(x, y)$ までの整数のうち、 (x, y) と異なる各整数を表す。

【数6】

$$\rho(x, y, t) = I_m'(x, y, t)$$

$$\text{where } \forall \{j | j = 1, \dots, J(x, y) \text{ and } j \neq \theta\}, \gamma_{\theta(x, y)}(x, y, t) > \gamma_j(x, y, t)$$

【0053】

一方、成分推定部204は、数式7に表されるように、T個の透視画像のそれぞれの対象領域に含まれる複数の画素のそれぞれに対して、当該画素の輝度に対する混合分布を構

10

20

30

40

50

成する $J(x, y)$ 個の部分分布のうちの、期待値最小分布と異なる部分分布に対する負担率 $\rho_j(x, y, t)$ の少なくとも1つが、当該期待値最小分布に対する負担率 $\rho(x, y, t)$ 以上である場合、除去対象成分 (x, y, t) として、当該期待値最小分布の期待値 $\mu(x, y)$ を推定する。ここで、 j は、1 から $J(x, y)$ までの整数のうちの (x, y) と異なる各整数を表す。

【数7】

$$\rho(x, y, t) = \mu_{\theta(x, y)}(x, y)$$

$$\text{where } \exists \{j | j = 1, \dots, J(x, y) \text{ and } j \neq \theta\}, \gamma_{\theta(x, y)}(x, y, t) \leq \gamma_j(x, y, t)$$

10

【0054】

期待値最小分布の期待値 $\mu(x, y)$ は、期待値最小分布に基づく値の一例である。

なお、この場合、成分推定部204は、期待値最小分布の期待値 $\mu(x, y)$ に代えて、期待値最小分布の期待値 $\mu(x, y)$ 及び分散 $\sigma^2(x, y)$ に基づいて決定された値を除去対象成分 (x, y, t) として推定してもよい。

このようにして、成分推定部204は、除去対象成分を推定する。

【0055】

図7に表されるように、分布推定部203が、2つの部分分布 G_1, G_2 により構成される混合分布 MG を推定した場合、成分推定部204は、部分分布 G_1 を期待値最小分布として決定する。更に、この場合、成分推定部204は、図8に表されるように、期間 T_1, T_3 において、除去対象成分 (x, y, t) として、期待値最小分布の期待値 $\mu(x, y)$ を推定する。また、この場合、成分推定部204は、期間 T_2, T_4 において、除去対象成分 (x, y, t) として輝度 $I_m'(x, y, t)$ を推定する。

20

【0056】

除去部205は、 T 個の透視画像のそれぞれの対象領域に含まれる複数の画素のそれぞれに対して、当該画素の輝度 $I_m'(x, y, t)$ から、成分推定部204により推定された除去対象成分 (x, y, t) を除去する。

30

【0057】

本例では、除去部205は、数式8に表されるように、 T 個の透視画像のそれぞれの対象領域に含まれる複数の画素のそれぞれに対して、当該画素の輝度 $I_m'(x, y, t)$ から、成分推定部204により推定された除去対象成分 (x, y, t) を減算する。 $I_m''(x, y, t)$ は、減算後の輝度を表す。

【数8】

$$I_m''(x, y, t) = I_m'(x, y, t) - \rho(x, y, t)$$

【0058】

更に、本例では、除去部205は、減算後の輝度 $I_m''(x, y, t)$ を、 $m+1$ 回目の除去処理の対象となる透視画像の輝度 $I_{m+1}(x, y, t)$ として設定する。なお、除去部205は、 m が2以上である場合において、成分推定部204により推定された除去対象成分 (x, y, t) を、 $m+1$ 回目の除去処理の対象となる透視画像の輝度 $I_{m+1}(x, y, t)$ として設定してもよい。

40

【0059】

本例では、除去部205は、 M 回の除去処理によって除去対象成分が除去された後の T 個の透視画像を位置推定部206へ出力する。なお、除去部205は、 M が2以上である場合、 M 回目の除去処理における除去対象成分 (x, y, t) からなる透視画像を位置推定部206へ出力してもよい。

【0060】

50

このように、除去処理は、補正部 201、取得部 202、分布推定部 203、成分推定部 204、及び、除去部 205 により実行される。

【0061】

図9の(A)は、除去処理の対象となる透視画像の一例を表す。図9の(B)は、対象物体と異なる物体に起因する輝度の成分としての除去対象成分の一例を表す。図9の(C)は、除去処理によって除去対象成分が除去された後の透視画像の一例を表す。この場合、図9の(C)に表されるように、除去対象成分が除去された後の透視画像によれば、対象物体を高い精度にて識別できる。また、除去対象成分が対象物体に起因する輝度の成分である場合、除去対象成分が除去された後の透視画像に代えて、除去対象成分からなる透視画像を用いることにより、対象物体を高い精度にて識別できる。

10

【0062】

位置推定部 206 には、M 回の除去処理によって除去対象成分が除去された後の T 個の透視画像が除去部 205 から入力される。なお、位置推定部 206 には、M が 2 以上である場合、M 回目の除去処理における除去対象成分 (x, y, t) からなる透視画像が除去部 205 から入力されてもよい。

【0063】

位置推定部 206 は、除去部 205 から入力された T 個の透視画像に基づいて、生体 LB における対象物体の位置を推定する。例えば、位置推定部 206 は、テンプレートマッチング法を用いることにより、対象物体の位置を推定する。

【0064】

照射制御部 207 は、位置推定部 206 により推定された対象物体の位置に基づいて、放射線照射装置 30 による生体 LB への放射線の照射を制御する。

20

【0065】

(動作)

次に、放射線照射システム 1 の動作について説明する。

撮影装置 10 は、撮影周期が経過する毎に生体 LB の透視画像を撮影し、透視画像を撮影する毎に、撮影された透視画像を制御装置 20 へ出力する。

【0066】

制御装置 20 は、撮影装置 10 から入力された複数の入力透視画像を処理する。本例では、制御装置 20 は、図 10 にフローチャートにより表される処理を、所定の実行周期が経過する毎に実行する。

30

【0067】

具体的には、制御装置 20 は、処理回数 m を初期値 1 に設定する (図 10 のステップ S101)。次いで、制御装置 20 は、m 回目の除去処理の対象となる透視画像に含まれる画素の輝度 $I_m(x, y, t)$ を、入力透視画像に含まれる画素の輝度 $I_p(x, y, t)$ に設定する (図 10 のステップ S102)。

【0068】

次いで、制御装置 20 は、T 個の透視画像の中から選択された基準透視画像に対する、T 個の透視画像のそれぞれにおける被写体の移動距離及び移動方向を推定する (図 10 のステップ S103)。そして、制御装置 20 は、T 個の透視画像のそれぞれに対して、推定した移動方向と逆方向へ、推定した移動距離だけ被写体を移動させるように当該透視画像を補正する (図 10 のステップ S104)。

40

【0069】

次いで、制御装置 20 は、ステップ S104 にて補正された輝度 $I_m'(x, y, t)$ に基づいて、対象領域に含まれる複数の画素のそれぞれに対して、当該画素の輝度を確率変数として用いる確率分布を取得する (図 10 のステップ S105)。

【0070】

そして、制御装置 20 は、対象領域に含まれる複数の画素のそれぞれに対して、ステップ S105 にて取得された確率分布を表す混合分布 $p(i_m(x, y))$ を推定する (図 10 のステップ S106)。

50

【 0 0 7 1 】

次いで、制御装置 2 0 は、対象領域に含まれる複数の画素のそれぞれに対して、ステップ S 1 0 6 にて推定された混合分布を構成する $J(x, y)$ 個の部分分布のうちの期待値が最小である期待値最小分布を決定する(図 1 0 のステップ S 1 0 7)。

【 0 0 7 2 】

そして、制御装置 2 0 は、 T 個の透視画像のそれぞれを対象領域に含まれる複数の画素のそれぞれに対して、当該画素の輝度に対する混合分布を構成する $J(x, y)$ 個の部分分布のそれぞれに、当該画素の輝度 $I_m'(x, y, t)$ が起因する確率を表す負担率 $k(x, y, t)$ を算出する(図 1 0 のステップ S 1 0 8)。

【 0 0 7 3 】

次いで、制御装置 2 0 は、 T 個の透視画像のそれぞれを対象領域に含まれる複数の画素のそれぞれに対して、除去対象成分 (x, y, t) を推定する(図 1 0 のステップ S 1 0 9)。

【 0 0 7 4 】

本例では、制御装置 2 0 は、期待値最小分布に対する負担率 (x, y, t) が、期待値最小分布と異なる部分分布に対する負担率 $j(x, y, t)$ よりも高い場合、当該画素の輝度 $I_m'(x, y, t)$ を除去対象成分 (x, y, t) として推定する。

更に、本例では、制御装置 2 0 は、期待値最小分布に対する負担率 (x, y, t) が、期待値最小分布と異なる部分分布に対する負担率 $j(x, y, t)$ 以下である場合、当該期待値最小分布の期待値 $\mu(x, y, t)$ を除去対象成分 (x, y, t) として推定する。

【 0 0 7 5 】

次いで、制御装置 2 0 は、 T 個の透視画像のそれぞれを対象領域に含まれる複数の画素のそれぞれに対して、当該画素の輝度 $I_m'(x, y, t)$ から、ステップ S 1 0 9 にて推定された除去対象成分 (x, y, t) を除去することにより、 $m + 1$ 回目の除去処理の対象となる透視画像に含まれる画素の輝度 $I_{m+1}(x, y, t)$ を設定する(図 1 0 のステップ S 1 1 0)。透視画像に含まれる画素の輝度の設定は、透視画像の生成と表されてもよい。

【 0 0 7 6 】

そして、制御装置 2 0 は、処理回数 m に 1 を加算する(図 1 0 のステップ S 1 1 1)。次いで、制御装置 2 0 は、処理回数 m が反復回数 M よりも大きいか否かを判定する(図 1 0 のステップ S 1 1 2)。

【 0 0 7 7 】

処理回数 m が反復回数 M 以下である場合、制御装置 2 0 は、「No」と判定し、ステップ S 1 0 3 へ戻り、処理回数 m が反復回数 M よりも大きくなるまで、ステップ S 1 0 3 からステップ S 1 1 2 までの処理を繰り返し実行する。

【 0 0 7 8 】

処理回数 m が反復回数 M よりも大きい場合、制御装置 2 0 は、ステップ S 1 1 2 にて「Yes」と判定し、ステップ S 1 1 3 へ進む。そして、制御装置 2 0 は、直前の除去処理において推定された除去対象成分 (x, y, t) が除去された後の透視画像に基づいて、対象物体の位置を推定する(図 1 0 のステップ S 1 1 3)。なお、制御装置 2 0 は、直前の除去処理において推定された除去対象成分 (x, y, t) からなる透視画像に基づいて、対象物体の位置を推定してもよい。

【 0 0 7 9 】

次いで、制御装置 2 0 は、ステップ S 1 1 3 にて推定された対象物体の位置に基づいて、放射線照射装置 3 0 による放射線の照射を制御する(図 1 0 のステップ S 1 1 4)。

その後、制御装置 2 0 は、図 1 0 の処理を終了する。

【 0 0 8 0 】

以上、説明したように、第 1 実施形態の制御装置 2 0 は、画素毎の輝度の確率分布を表

10

20

30

40

50

す混合分布を推定する。更に、制御装置 20 は、推定した混合分布を構成する複数の部分分布のうちの期待値が最小である期待値最小分布に対応し且つ当該画素の輝度の少なくとも一部を構成する成分を推定する。加えて、制御装置 20 は、透視画像に含まれる画素の輝度から、推定した成分を除去する。

【0081】

これによれば、透視画像に含まれる画素の輝度の中から、対象物体に起因する成分を高い精度にて抽出できる。この結果、透視画像において対象物体を高い精度にて識別できる。

【0082】

更に、第 1 実施形態の制御装置 20 は、画素の輝度が期待値最小分布に起因する確率が、推定された混合分布を構成する複数の部分分布のうちの、期待値最小分布と異なる部分分布に当該画素の輝度が起因する確率よりも高い場合、当該画素の輝度を上記成分として推定する。

10

【0083】

画素の輝度が期待値最小分布に起因する確率が、混合分布を構成する複数の部分分布のうちの、期待値最小分布と異なる部分分布に画素の輝度が起因する確率よりも高い場合、当該画素の輝度が、期待値最小分布に対応する物体に起因する成分のみを有する確率が高い。

【0084】

制御装置 20 は、この場合、画素の輝度を、期待値最小分布に対応する成分として推定する。これにより、透視画像に含まれる画素の輝度から、期待値最小分布に対応する物体に起因する成分を高い精度にて除去できる。この結果、透視画像において対象物体を高い精度にて識別できる。

20

【0085】

更に、第 1 実施形態の制御装置 20 は、画素の輝度が期待値最小分布に起因する確率が、推定された混合分布を構成する複数の部分分布のうちの、期待値最小分布と異なる部分分布に当該画素の輝度が起因する確率よりも低い場合、期待値最小分布に基づく値を上記成分として推定する。

【0086】

画素の輝度が期待値最小分布に起因する確率が、混合分布を構成する複数の部分分布のうちの、期待値最小分布と異なる部分分布に画素の輝度が起因する確率よりも低い場合、当該画素の輝度が、期待値最小分布に対応する物体に起因する成分に加えて、他の物体に起因する成分も含む確率が高い。

30

【0087】

制御装置 20 は、この場合、期待値最小分布に基づく値（例えば、期待値最小分布の期待値）を、期待値最小分布に対応する成分として推定する。これにより、透視画像に含まれる画素の輝度から、期待値最小分布に対応する物体に起因する成分を適切に除去できる。この結果、透視画像において対象物体を高い精度にて識別できる。

【0088】

更に、第 1 実施形態の制御装置 20 は、複数の透視画像のそれぞれに対して、上記成分の除去を実行する。加えて、制御装置 20 は、上記成分が除去された複数の透視画像に対して、確率分布の取得、混合分布の推定、成分の推定、及び、成分の除去を、繰り返し実行する。

40

【0089】

これによれば、画素の輝度が、対象物体と異なる、複数の物体のそれぞれに起因する成分を含む場合に、透視画像に含まれる画素の輝度の中から、対象物体に起因する成分を高い精度にて抽出できる。この結果、透視画像において対象物体を高い精度にて識別できる。

【0090】

更に、第 1 実施形態の制御装置 20 は、複数の透視画像の中から選択された基準透視画

50

像に対する、複数の透視画像のそれぞれにおける被写体の移動距離及び移動方向を推定する。加えて、制御装置 20 は、複数の透視画像のそれぞれに対して、推定した移動方向と逆方向へ、推定した移動距離だけ被写体を移動させるように当該透視画像を補正する。

【0091】

これによれば、透視画像に含まれる画素の輝度に対して被写体の移動が及ぼす影響を抑制できる。この結果、透視画像に含まれる画素の輝度の中から、対象物体に起因する成分を高い精度にて抽出できる。この結果、透視画像において対象物体を高い精度にて識別できる。

【0092】

次に、臨床透視画像を模擬した模擬透視画像に対して、第1実施形態の制御装置 20 が処理した結果について説明する。

模擬透視画像は、図 11 に表されるように、第1乃至第3の基本画像を重ね合わせた画像である。図 11 の (A) は、模擬透視画像を表す。図 11 の (B) 乃至 (D) は、第1乃至第3の基本画像をそれぞれ表す。本例では、複数の基本画像を重ね合わせた画像の各画素の輝度は、数式 9 に表されるように、当該複数の基本画像の当該画素の輝度の和である。

【数 9】

$$I_p(x, y, t) = \sum_{j=1}^J L_j(x, y, t)$$

【0093】

$I_p(x, y, t)$ は、模擬透視画像に含まれる画素の輝度を表す。 $L_j(x, y, t)$ は、第 j の基本画像に含まれる画素の輝度を表す。 J は、3 を表す。 j は、1 から J までの各整数を表す。

第1の基本画像は、臨床透視画像に、期待値が 0 であり且つ分散が 4 であるガウスノイズを付加した画像である。

第2の基本画像は、長方形に、期待値が 15 であり且つ分散が 4 であるガウスノイズを付加した画像である。

第3の基本画像は、腫瘍を模擬した円形に、期待値が 10 であり且つ分散が 1 であるガウスノイズを付加した画像である。

【0094】

第2の基本画像における長方形は、時間の経過に伴って、長方形の X 軸方向における位置が正弦波に従って変化するように、X 軸方向にて移動する。

第3の基本画像における円形は、時間の経過に伴って、円形の Y 軸方向における位置が正弦波に従って変化するように、Y 軸方向にて移動する。

【0095】

図 12 の (A) は、各基本画像の真値を表す。図 12 の (B) は、第1実施形態の制御装置 20 による処理の結果を表す。図 12 の (C) は、比較例の画像処理装置による処理の結果を表す。比較例の画像処理装置は、非特許文献 (Y. Weiss, 「Deriving Intrinsic Images from Image Sequences」、International Conference on Computer Vision、2001 年、第 2 巻、p. 68 - 75) に記載の固有画像抽出法 (DII; Deriving Intrinsic Image) を用いる。

【0096】

図 12 の (B) の図面における最上段は、1 回目の除去処理において推定された除去対象成分を表す。図 12 の (B) の図面における中段は、2 回目の除去処理において推定された除去対象成分を表す。図 12 の (B) の図面における最下段は、2 回目の除去処理において除去対象成分が除去された後の透視画像を表す。

【0097】

10

20

30

40

50

第1実施形態の制御装置20による2回目の除去処理において除去対象成分が除去された後の透視画像に含まれる画素の輝度の、第3の基本画像に含まれる画素の輝度に対する二乗平均平方根誤差 L_{rmse} は、数式10により表される。図13は、二乗平均平方根誤差 L_{rmse} の時間に対する変化を表す。第1実施形態の制御装置20に対する二乗平均平方根誤差 L_{rmse} は、比較例の画像処理装置よりも小さい。

【数10】

$$L_{rmse} = \sqrt{\frac{1}{N_x N_y} \sum_{x=1}^{N_x} \sum_{y=1}^{N_y} \{L_3(x, y, t) - I_3(x, y, t)\}^2}$$
10

【0098】

このように、第1実施形態の制御装置20によれば、透視画像に含まれる画素の輝度の中から、対象物体に起因する成分を高い精度にて抽出できる。この結果、透視画像において対象物体を高い精度にて識別できる。

【0099】

次に、臨床透視画像に対して、第1実施形態の制御装置20が処理した結果について説明する。

図14の(A)は、入力透視画像を表す。図14の(B)は、比較例の画像処理装置による処理の結果を表す。図14の(C)は、第1実施形態の制御装置20による処理の結果を表す。図14において、点線の長方形は、対象物体の真の位置を表す。図14の(B)において、実線の長方形は、比較例の画像処理装置により推定された対象物体の位置を表す。図14の(C)において、実線の長方形は、第1実施形態の制御装置20により推定された対象物体の位置を表す。

20

【0100】

第1実施形態の制御装置20により推定された対象物体の位置の、対象物体の真の位置に対する二乗平均平方根誤差 P_{rmse} は、数式11により表される。 $e(t)$ 及び $e(t)$ は、対象物体のX軸方向及びY軸方向における、推定された位置をそれぞれ表す。 $o(t)$ 及び $o(t)$ は、対象物体のX軸方向及びY軸方向における真の位置をそれぞれ表す。図15は、二乗平均平方根誤差 P_{rmse} の時間に対する変化を表す。第1実施形態の制御装置20に対する二乗平均平方根誤差 P_{rmse} は、比較例の画像処理装置よりも小さい。

30

【数11】

$$P_{rmse} = \sqrt{\{\omega_e(t) - \omega_o(t)\}^2 - \{\lambda_e(t) - \lambda_o(t)\}^2}$$

【0101】

このように、第1実施形態の制御装置20によれば、透視画像において対象物体の位置を高い精度にて推定できる。

【0102】

第1実施形態において、制御装置20は、放射線照射装置30を制御する。ところで、制御装置20は、放射線照射装置30を制御しない画像処理装置であってもよい。この場合、制御装置20は、除去対象成分が除去された後の透視画像を出力又は送信してもよい。

40

【0103】

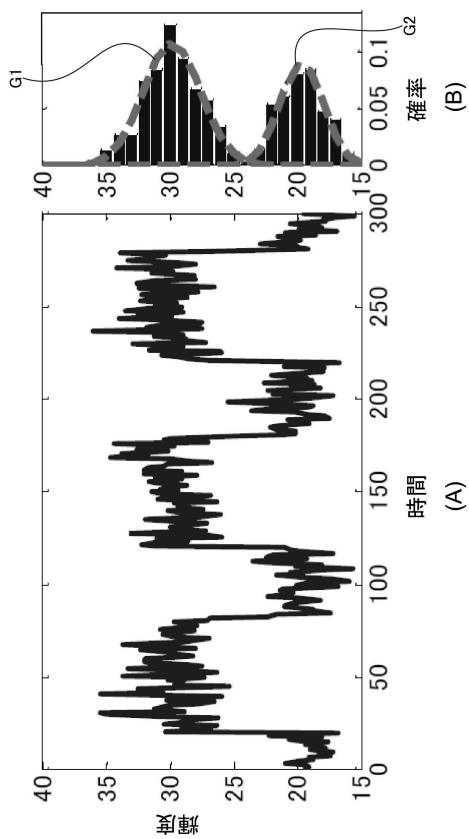
なお、本発明は、上述した実施形態に限定されない。例えば、上述した実施形態に、本発明の趣旨を逸脱しない範囲内において当業者が理解し得る様々な変更が加えられてよい。例えば、本発明の趣旨を逸脱しない範囲内において、上述した実施形態の他の変形例として、上述した実施形態及び変形例の任意の組み合わせが採用されてもよい。

【符号の説明】

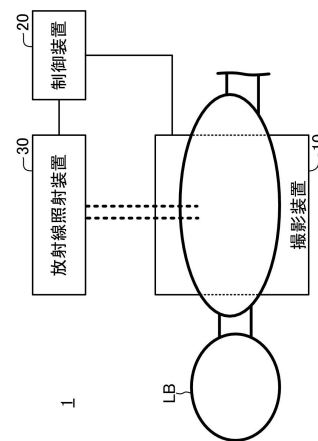
【0104】

- 1 放射線照射システム
- 10 撮影装置
- 20 制御装置
- 21 処理装置
- 22 記憶装置
- 201 補正部
- 202 取得部
- 203 分布推定部
- 204 成分推定部
- 205 除去部
- 206 位置推定部
- 207 照射制御部
- 30 放射線照射装置
- LB 生体

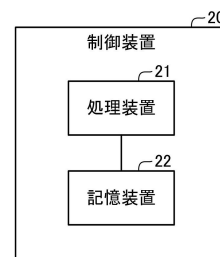
【図1】



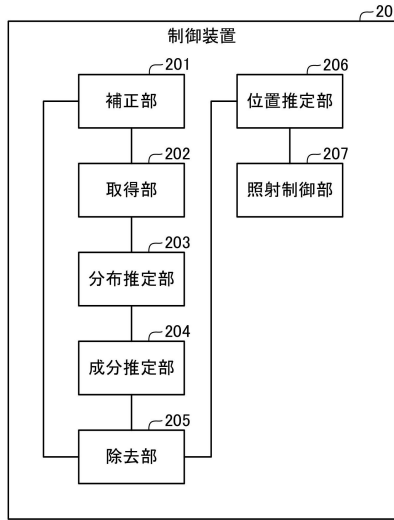
【図2】



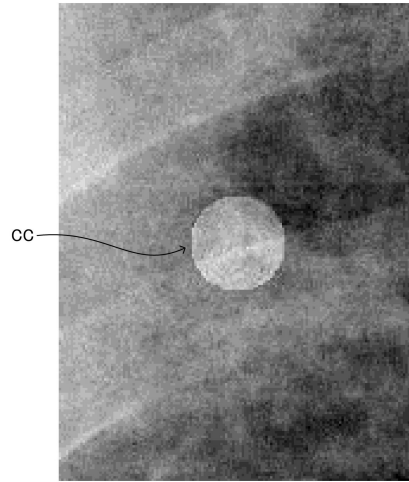
【図3】



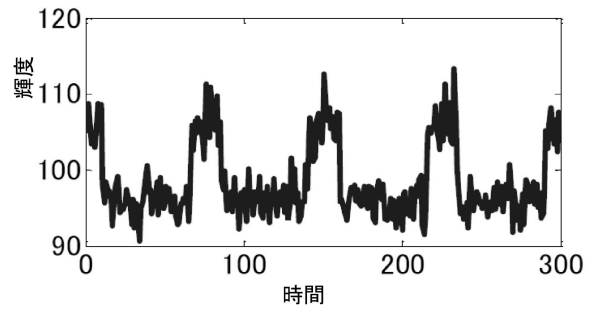
【図4】



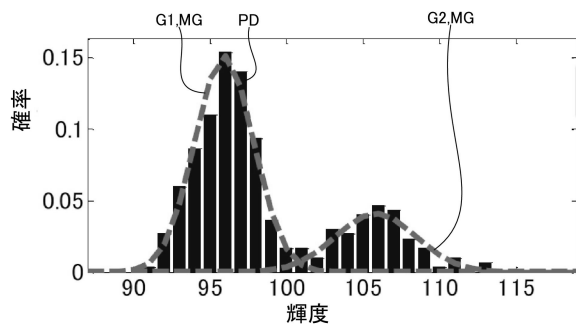
【図5】



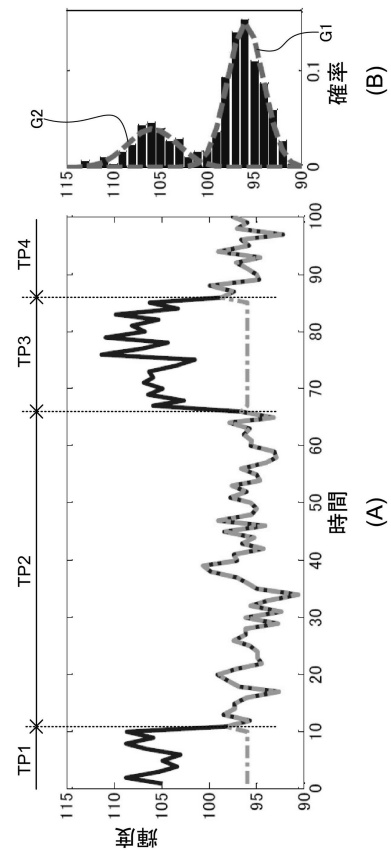
【図6】



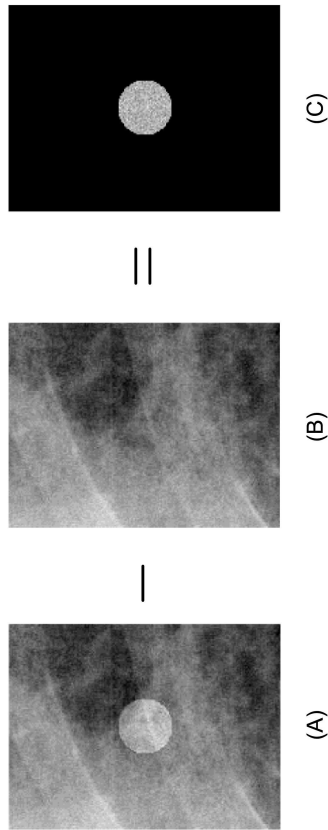
【図7】



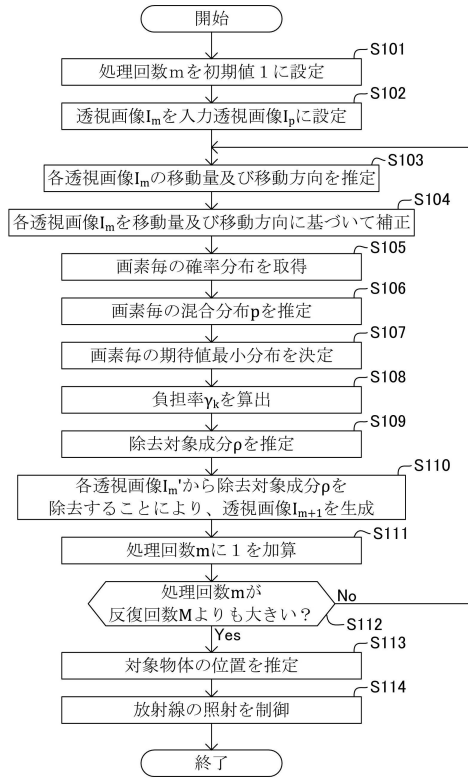
【図8】



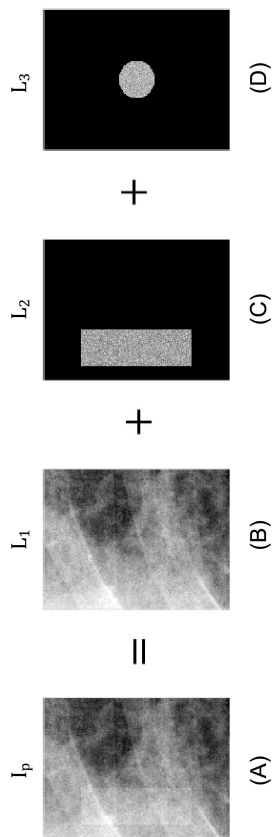
【図9】



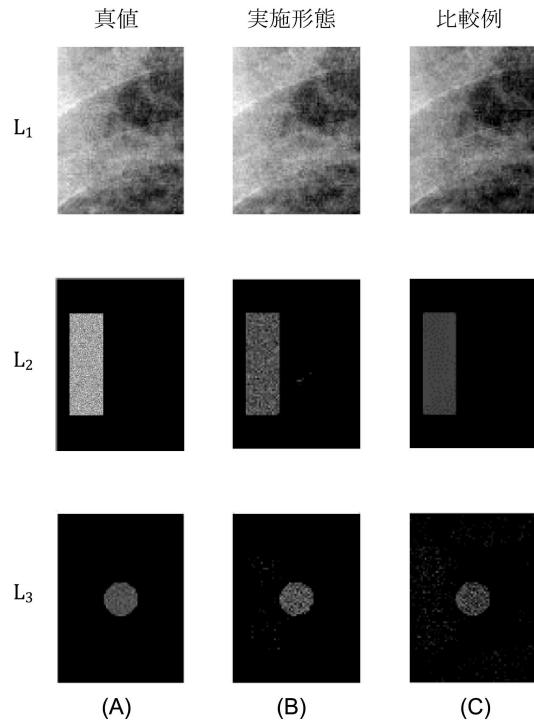
【図10】



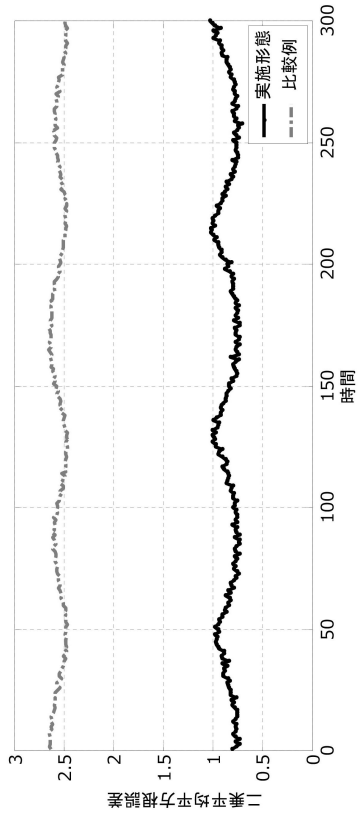
【図11】



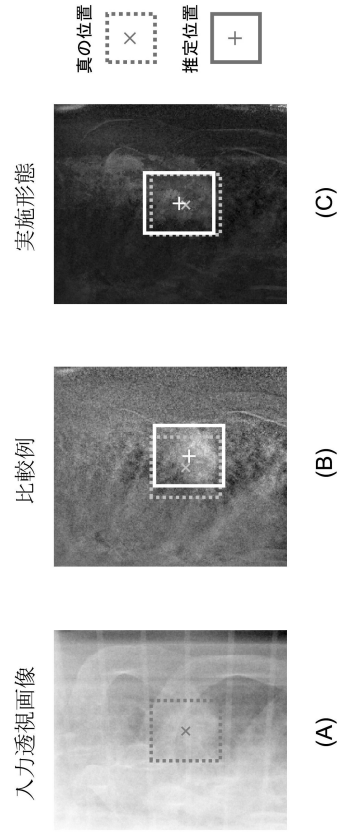
【図12】



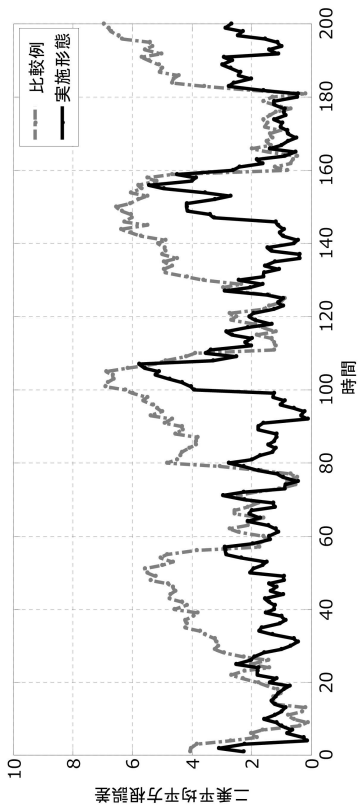
【図 13】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

特許法第30条第2項適用 平成26年12月11日, 計測自動制御学会東北支部50周年記念学術講演会 平成26年12月11日, 計測自動制御学会東北支部50周年記念学術講演会講演予稿集, p47-50, 計測自動制御学会

特許法第30条第2項適用 平成27年2月23日, 一般社団法人電子情報通信学会, 電子情報通信学会技術研究報告 信学技報 (IEICE Technical Report) Vol.114, No.482, MI2014-110, pp.277-282,

- (72)発明者 市地 慶
宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 澁澤 直樹
宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 張 暁勇
宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 阿部 誠
宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 杉田 典大
宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 吉澤 誠
宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 高井 良尋
青森県弘前市文京町1番地 国立大学法人弘前大学内

審査官 亀澤 智博

- (56)参考文献 特表2011-512999(JP,A)
特開2011-078069(JP,A)
特開2009-192519(JP,A)
特開2005-065856(JP,A)
特開2003-000579(JP,A)
特開昭58-130030(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 6/00 - 6/14
G06T 1/00 , 7/00