

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7612692号
(P7612692)

(45)発行日 令和7年1月14日(2025.1.14)

(24)登録日 令和6年12月27日(2024.12.27)

(51)国際特許分類

F I

A 6 1 B 6/02 (2006.01) A 6 1 B 6/02 5 0 0 Z

A 6 1 B 6/00 (2024.01) A 6 1 B 6/00 5 5 0 N

A 6 1 B 6/50 (2024.01) A 6 1 B 6/50 5 0 0 E

請求項の数 12 (全32頁)

(21)出願番号	特願2022-538602(P2022-538602)	(73)特許権者	306037311
(86)(22)出願日	令和3年5月17日(2021.5.17)		富士フイルム株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/018613		東京都港区西麻布2丁目2番30号
(87)国際公開番号	WO2022/018943	(74)代理人	110001519
(87)国際公開日	令和4年1月27日(2022.1.27)		弁理士法人太陽国際特許事務所
審査請求日	令和5年1月10日(2023.1.10)	(72)発明者	奥村 有加里
(31)優先権主張番号	特願2020-125752(P2020-125752)		神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地
(32)優先日	令和2年7月22日(2020.7.22)		富士フイルム株式会社内
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	審査官	松岡 智也

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 画像処理装置、方法およびプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも1つのプロセッサを備え、
前記プロセッサは、
被写体の断層面を表す複数の断層画像のそれぞれから、高周波の線構造を表す線構造画像を導出し、
前記線構造画像から前記線構造の特徴を表す特徴量を導出し、
前記断層画像または前記断層画像の高周波成分を表す高周波断層画像のそれぞれにおける対応する画素毎に、前記線構造を含む少なくとも1つの前記断層画像若しくは前記高周波断層画像、または予め定められた断層画像若しくは高周波断層画像を含む候補画像の集合を前記特徴量に基づいて選択し、
選択された前記候補画像の集合に含まれる画像に対して前記特徴量に応じた重み付け平均値を計算することで、合成2次元画像を導出するように構成される画像処理装置。

【請求項2】

前記プロセッサは、前記線構造を含む少なくとも1つの前記断層画像または前記高周波断層画像を選択し、
前記断層画像または前記高周波断層画像に基づいて予め生成された事前合成画像、および前記選択された断層画像または高周波断層画像を含む前記候補画像の集合に含まれる画像に対して前記特徴量に応じた重み付け平均値を計算することで、前記合成2次元画像を導出するように構成される請求項1に記載の画像処理装置。

【請求項 3】

前記プロセッサは、前記断層画像または前記高周波断層画像から、予め定められた関心構造を検出し、

前記関心構造が検出された前記断層画像または前記高周波断層画像の対応する画素においては、前記線構造を含む前記断層画像若しくは前記高周波断層画像または前記予め定められた断層画像若しくは高周波断層画像に代えて、前記関心構造が検出された前記断層画像または前記高周波断層画像を前記候補画像の集合に含まれる画像として選択するように構成される請求項 1 または 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 4】

前記被写体は乳房であり、前記関心構造は石灰化である請求項 3 に記載の画像処理装置。

10

【請求項 5】

前記被写体は乳房であり、前記線構造は乳腺およびスピキュラである請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 6】

前記プロセッサは、前記線構造画像の画素値を前記特徴量として導出するように構成される請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 7】

前記プロセッサは、前記線構造画像の各画素における分散値を前記特徴量として導出するように構成される請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 8】

前記プロセッサは、前記線構造画像の画素値を変換することにより前記特徴量を導出するように構成される請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

20

【請求項 9】

前記プロセッサは、前記特徴量の大きさが上位 1 以上となる前記線構造を含む前記断層画像または前記高周波断層画像を前記候補画像の集合に含まれる画像として選択するように構成される請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 10】

前記プロセッサは、前記特徴量の大きさが予め定められたしきい値以上となる前記線構造を含む前記断層画像または前記高周波断層画像を前記候補画像の集合に含まれる画像として選択するように構成される請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

30

【請求項 11】

被写体の断層面を表す複数の断層画像のそれぞれから、高周波の線構造を表す線構造画像を導出し、

前記線構造画像から前記線構造の特徴を表す特徴量を導出し、

前記特徴量に基づいて、前記断層画像または前記断層画像の高周波成分を表す高周波断層画像のそれぞれにおける対応する画素毎に、前記線構造を含む少なくとも 1 つの前記断層画像若しくは前記高周波断層画像、または予め定められた断層画像若しくは高周波断層画像を含む候補画像の集合を前記特徴量に基づいて選択し、

選択された前記候補画像の集合に含まれる画像に対して前記特徴量に応じた重み付け平均値を計算することで、合成 2 次元画像を導出する画像処理方法。

40

【請求項 12】

被写体の断層面を表す複数の断層画像のそれぞれから、高周波の線構造を表す線構造画像を導出する手順と、

前記線構造画像から前記線構造の特徴を表す特徴量を導出する手順と、

前記特徴量に基づいて、前記断層画像または前記断層画像の高周波成分を表す高周波断層画像のそれぞれにおける対応する画素毎に、前記線構造を含む少なくとも 1 つの前記断層画像若しくは前記高周波断層画像、または予め定められた断層画像若しくは高周波断層画像を含む候補画像の集合を前記特徴量に基づいて選択する手順と、

選択された前記候補画像の集合に含まれる画像に対して前記特徴量に応じた重み付け平均値を計算することで、合成 2 次元画像を導出する手順とをコンピュータに実行させる画

50

像処理プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、画像処理装置、方法およびプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、乳がんの早期発見を促すため、乳房を撮影する放射線画像撮影装置（マンモグラフィと呼ばれる）を用いた画像診断が注目されている。また、マンモグラフィにおいて、放射線源を移動させて複数の線源位置から乳房に放射線を照射して撮影を行い、これにより取得した複数の投影画像を再構成して所望の断層面を強調した断層画像を生成するトモシンセシス撮影が提案されている。トモシンセシス撮影では、撮影装置の特性および必要な断層画像に応じて、放射線源を放射線検出器と平行に移動させたり、円または楕円の弧を描くように移動させたりして、複数の線源位置において乳房を撮影することにより複数の投影画像を取得し、単純逆投影法若しくはフィルタ逆投影法等の逆投影法、または逐次再構成法等を用いてこれらの投影画像を再構成して断層画像を生成する。

10

【0003】

このような断層画像を乳房における複数の断層面において生成することにより、乳房内において断層面が並ぶ深さ方向に重なり合った構造を分離することができる。このため、予め定められた方向から被写体に放射線を照射する、従来の単純撮影により取得される2次元画像（以下、単純2次元画像とする）においては検出が困難であった病変等の異常部位を発見することが可能となる。

20

【0004】

また、トモシンセシス撮影により取得された、放射線検出器の検出面から放射線源側に向けた距離（高さ方向の位置）が異なる複数の断層画像を、加算法、平均法、最大値投影法または最小値投影法等によって合成することにより、単純2次元画像に相当する擬似的な2次元画像（以下、合成2次元画像とする）を生成する技術が知られている（特開2014-128716号公報参照）。

【0005】

一方、医療分野においては、画像中の異常陰影等の構造物を自動的に検出し、検出された構造物の強調表示等を行うコンピュータ支援画像診断システム（CAD: Computer Aided Diagnosis、以下CADと称する）が知られている。例えば、トモシンセシス撮影により取得された断層画像から、腫瘍、スピキュラおよび石灰化等の診断上重要な構造物を、CADを用いて検出することが行われている。また、乳房をトモシンセシス撮影することにより取得した複数の断層画像から合成2次元画像を生成するに際し、CADにより構造物を含む関心領域を検出し、検出した関心領域を例えば投影画像または単純撮影により取得された2次元画像上に合成することにより、合成2次元画像を生成する手法が提案されている（米国特許第8983156号明細書参照）。また、CADにより検出された構造物のみを含む断層画像を平均化によって合成することにより、合成2次元画像を生成する手法が提案されている（米国特許第9792703号明細書参照）。

30

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、米国特許第8983156号明細書に記載された手法により生成される合成2次元画像においては、2次元画像に合成される関心構造は1つの断層画像から取得された関心構造のみである。このため、例えば乳房に含まれる乳腺構造およびスピキュラのように、淡く細い線を含む線構造が複数の断層画像に跨がって存在する場合、断層画像が並ぶ深さ方向に構造が存在している状態を、合成2次元画像において反映させることができない。また、米国特許第9792703号明細書に記載された手法は、複数の断層画像に含まれる関心構造を平均化している。このため、例えば乳房に含まれる石灰化のよう

50

な細かな関心構造並びに乳腺およびスピキュラのような線状構造等が淡く見にくくなってしまう。

【 0 0 0 7 】

本発明は上記事情に鑑みなされたものであり、合成 2 次元画像において、被写体に含まれる細かな構造を見やすくすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

本開示による画像処理装置は、少なくとも 1 つのプロセッサを備え、
プロセッサは、
被写体の断層面を表す複数の断層画像のそれぞれから、高周波の線構造を表す線構造画像を導出し、

10

線構造画像から線構造の特徴を表す特徴量を導出し、

特徴量に基づいて、断層画像または断層画像の高周波成分を表す高周波断層画像のそれぞれにおける対応する画素毎に、線構造を含む少なくとも 1 つの断層画像若しくは高周波断層画像、または予め定められた断層画像若しくは高周波断層画像を選択し、

選択された断層画像または高周波断層画像に基づいて、合成 2 次元画像を導出するように構成される。

【 0 0 0 9 】

なお、本開示による画像処理装置においては、プロセッサは、線構造を含む少なくとも 1 つの断層画像または高周波断層画像を選択し、

20

断層画像または高周波断層画像に基づいて予め生成された事前合成画像、および選択された断層画像または高周波断層画像に基づいて、合成 2 次元画像を導出するように構成されるものであってもよい。

【 0 0 1 0 】

また、本開示による画像処理装置においては、プロセッサは、断層画像または高周波断層画像から、予め定められた関心構造を検出し、

【 0 0 1 1 】

関心構造が検出された断層画像または高周波断層画像の対応する画素においては、線構造を含む断層画像若しくは高周波断層画像または予め定められた断層画像若しくは高周波断層画像に代えて、関心構造が検出された断層画像または高周波断層画像を選択するように構成されるものであってもよい。

30

【 0 0 1 2 】

また、本開示による画像処理装置においては、被写体は乳房であり、関心構造は石灰化であってもよい。

【 0 0 1 3 】

また、本開示による画像処理装置においては、被写体は乳房であり、線構造は乳腺およびスピキュラであってもよい。

【 0 0 1 4 】

また、本開示による画像処理装置においては、プロセッサは、線構造画像の画素値を特徴量として導出するように構成されるものであってもよい。

40

【 0 0 1 5 】

また、本開示による画像処理装置においては、プロセッサは、線構造画像の各画素における分散値を特徴量として導出するように構成されるものであってもよい。

【 0 0 1 6 】

また、本開示による画像処理装置においては、プロセッサは、線構造画像の画素値を変換することにより特徴量を導出するように構成されるものであってもよい。

【 0 0 1 7 】

また、本開示による画像処理装置においては、プロセッサは、特徴量の大きさが上位 1 以上となる線構造を含む断層画像または高周波断層画像を選択するように構成されるものであってもよい。

50

【 0 0 1 8 】

また、本開示による画像処理装置においては、プロセッサは、特徴量の大きさが予め定められたしきい値以上となる線構造を含む断層画像または高周波断層画像を選択するように構成されるものであってもよい。

【 0 0 1 9 】

また、本開示による画像処理方法は、被写体の断層面を表す複数の断層画像のそれぞれから、高周波の線構造を表す線構造画像を導出し、

線構造画像から線構造の特徴を表す特徴量を導出し、

特徴量に基づいて、断層画像または断層画像の高周波成分を表す高周波断層画像のそれぞれにおける対応する画素毎に、線構造を含む少なくとも1つの断層画像若しくは高周波断層画像、または予め定められた断層画像若しくは高周波断層画像を選択し、

選択された断層画像または高周波断層画像に基づいて、合成2次元画像を導出する。

【 0 0 2 0 】

なお、本開示による画像処理方法をコンピュータに実行させるためのプログラムとして提供してもよい。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 1 】

本開示によれば、合成2次元画像において、被写体に含まれる細かな構造を見やすくすることができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 2 】

【 図 1 】 本開示の第1の実施形態による画像処理装置を適用した放射線画像撮影システムの概略構成図

【 図 2 】 放射線画像撮影装置を図1の矢印A方向から見た図

【 図 3 】 第1の実施形態による画像処理装置の概略構成を示す図

【 図 4 】 第1の実施形態による画像処理装置の機能的な構成を示す図

【 図 5 】 投影画像の取得を説明するための図

【 図 6 】 断層画像の生成を説明するための図

【 図 7 】 断層画像の例を示す図

【 図 8 】 低周波断層画像および高周波断層画像を示す図

【 図 9 】 線構造画像を示す図

【 図 1 0 】 第1の実施形態における高周波断層画像の選択を説明するための図

【 図 1 1 】 合成高周波画像の生成を説明するための図

【 図 1 2 】 合成低周波画像の生成を説明するための図

【 図 1 3 】 第1の実施形態における合成2次元画像の表示画面を示す図

【 図 1 4 】 第1の実施形態において行われる処理を示すフローチャート

【 図 1 5 】 第2の実施形態による画像処理装置の機能的な構成を示す図

【 図 1 6 】 第2の実施形態における断層画像の選択を説明するための図

【 図 1 7 】 第2の実施形態における合成2次元画像の表示画面を示す図

【 図 1 8 】 第2の実施形態において行われる処理を示すフローチャート

【 図 1 9 】 第3の実施形態における断層画像の選択を説明するための図

【 図 2 0 】 第3の実施形態において行われる処理を示すフローチャート

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 3 】

以下、図面を参照して本開示の実施形態について説明する。図1は本開示の実施形態による画像処理装置を適用した放射線画像撮影システムの概略構成図、図2は放射線画像撮影システムにおけるマンモグラフィ撮影装置を図1の矢印A方向から見た図である。図1に示すように、本実施形態による放射線画像撮影システム100は、乳房のトモシンセシス撮影を行って断層画像を生成するために、複数の線源位置から被写体である乳房Mを撮影して、複数の放射線画像、すなわち複数の投影画像を取得するためのものである。本実

10

20

30

40

50

施形態による放射線画像撮影システム 100 は、マンモグラフィ撮影装置 1、コンソール 2、画像保存システム 3 および画像処理装置 4 を備える。

【0024】

マンモグラフィ撮影装置 1 は、不図示の基台に対して回転軸 11 により連結されたアーム部 12 を備えている。アーム部 12 の一方の端部には撮影台 13 が、その他方の端部には撮影台 13 と対向するように放射線照射部 14 が取り付けられている。アーム部 12 は、放射線照射部 14 が取り付けられた端部のみを回転することが可能に構成されており、これにより、撮影台 13 を固定して放射線照射部 14 のみを回転することが可能となっている。

【0025】

撮影台 13 の内部には、フラットパネルディテクタ等の放射線検出器 15 が備えられている。放射線検出器 15 は放射線の検出面 15A を有する。また、撮影台 13 の内部には、放射線検出器 15 から読み出された電荷信号を電圧信号に変換するチャージアンプ、チャージアンプから出力された電圧信号をサンプリングする相関 2 重サンプリング回路、および電圧信号をデジタル信号に変換する A/D (Analog Digital) 変換部等が設けられた回路基板等も設置されている。

【0026】

放射線照射部 14 の内部には、放射線源 16 が収納されている。放射線源 16 は放射線として X 線を出射するものであり、放射線源 16 から放射線を照射するタイミングおよび放射線源 16 における放射線発生条件、すなわちターゲットおよびフィルタの材質の選択、管電圧並びに照射時間等は、コンソール 2 により制御される。

【0027】

また、アーム部 12 には、撮影台 13 の上方に配置されて乳房 M を押さえつけて圧迫する圧迫板 17、圧迫板 17 を支持する支持部 18、および支持部 18 を図 1 および図 2 の上下方向に移動させる移動機構 19 が設けられている。なお、圧迫板 17 と撮影台 13 との間隔、すなわち圧迫厚はコンソール 2 に入力される。

【0028】

コンソール 2 は、無線通信 LAN (Local Area Network) 等のネットワークを介して、不図示の RIS (Radiology Information System) 等から取得した撮影オーダおよび各種情報と、技師等により直接行われた指示等とを用いて、マンモグラフィ撮影装置 1 の制御を行う機能を有している。具体的には、コンソール 2 は、マンモグラフィ撮影装置 1 に乳房 M のトモシンセシス撮影を行わせることにより、後述するように複数の投影画像を取得し、複数の投影画像を再構成して複数の断層画像を生成する。一例として、本実施形態では、サーバコンピュータをコンソール 2 として用いている。

【0029】

画像保存システム 3 は、マンモグラフィ撮影装置 1 により撮影された放射線画像および断層画像等の画像データを保存するシステムである。画像保存システム 3 は、保存している画像から、コンソール 2 および画像処理装置 4 等からの要求に応じた画像を取り出して、要求元の装置に送信する。画像保存システム 3 の具体例としては、PACS (Picture Archiving and Communication Systems) が挙げられる。

【0030】

次に、第 1 の実施形態に係る画像処理装置について説明する。まず、図 3 を参照して、第 1 の実施形態に係る画像処理装置のハードウェア構成を説明する。図 3 に示すように、画像処理装置 4 は、ワークステーション、サーバコンピュータおよびパーソナルコンピュータ等のコンピュータであり、CPU (Central Processing Unit) 21、不揮発性のストレージ 23、および一時記憶領域としてのメモリ 26 を備える。また、画像処理装置 4 は、液晶ディスプレイ等のディスプレイ 24、キーボードおよびマウス等の入力デバイス 25、不図示のネットワークに接続されるネットワーク I/F (InterFace) 27 を備える。CPU 21、ストレージ 23、ディスプレイ 24、入力デバイス 25、メモリ 26 およびネットワーク I/F 27 は、バス 28 に接続される。なお、CPU 21 は、本開示に

10

20

30

40

50

おけるプロセッサの一例である。

【 0 0 3 1 】

ストレージ 2 3 は、H D D (Hard Disk Drive)、S S D (Solid State Drive)、およびフラッシュメモリ等によって実現される。記憶媒体としてのストレージ 2 3 には、画像処理装置 4 にインストールされた画像処理プログラム 2 2 が記憶される。C P U 2 1 は、ストレージ 2 3 から画像処理プログラム 2 2 を読み出してからメモリ 2 6 に展開し、展開した画像処理プログラム 2 2 を実行する。

【 0 0 3 2 】

なお、画像処理プログラム 2 2 は、ネットワークに接続されたサーバコンピュータの記憶装置、あるいはネットワークストレージに、外部からアクセス可能な状態で記憶され、要求に応じて画像処理装置 4 を構成するコンピュータにダウンロードされ、インストールされる。または、D V D (Digital Versatile Disc)、C D - R O M (Compact Disc Read Only Memory) 等の記録媒体に記録されて配布され、その記録媒体から画像処理装置 4 を構成するコンピュータにインストールされる。

10

【 0 0 3 3 】

次いで、第 1 の実施形態による画像処理装置の機能的な構成を説明する。図 4 は、第 1 の実施形態による画像処理装置の機能的な構成を示す図である。図 4 に示すように、画像処理装置 4 は、画像取得部 3 0、線構造画像導出部 3 1、特徴量導出部 3 2、関心構造検出部 3 3、選択部 3 4、合成部 3 5 および表示制御部 3 6 を備える。そして、C P U 2 1 が、画像処理プログラム 2 2 を実行することにより、画像処理装置 4 は、画像取得部 3 0、線構造画像導出部 3 1、特徴量導出部 3 2、関心構造検出部 3 3、選択部 3 4、合成部 3 5 および表示制御部 3 6 として機能する。

20

【 0 0 3 4 】

画像取得部 3 0 は、コンソール 2 または画像保存システム 3 からネットワーク I / F 2 7 を介して断層画像を取得する。

【 0 0 3 5 】

ここで、コンソール 2 におけるトモシンセシス撮影および断層画像の生成について説明する。コンソール 2 は、断層画像を生成するためのトモシンセシス撮影を行うに際し、アーム部 1 2 を回転軸 1 1 の周りに回転させることにより放射線源 1 6 を移動させ、放射線源 1 6 の移動による複数の線源位置において、トモシンセシス撮影用の予め定められた撮影条件により被写体である乳房 M に放射線を照射し、乳房 M を透過した放射線を放射線検出器 1 5 により検出して、複数の線源位置における複数の投影画像 G_i ($i = 1 \sim n$ 、 n は線源位置の数であり、例えば $n = 15$) を取得する。

30

【 0 0 3 6 】

図 5 は投影画像 G_i の取得を説明するための図である。図 5 に示すように、放射線源 1 6 を S_1 、 S_2 、 \dots 、 S_n の各線源位置に移動し、各線源位置において放射線源 1 6 を駆動して乳房 M に放射線を照射し、乳房 M を透過した放射線を放射線検出器 1 5 により検出することにより、各線源位置 $S_1 \sim S_n$ に対応して、投影画像 G_1 、 G_2 、 \dots 、 G_n が取得される。なお、各線源位置 $S_1 \sim S_n$ においては、同一の線量の放射線が乳房 M に照射される。

40

【 0 0 3 7 】

なお、図 5 において、線源位置 S_c は、放射線源 1 6 から出射された放射線の光軸 X_0 が放射線検出器 1 5 の検出面 1 5 A と直交する線源位置である。線源位置 S_c を基準線源位置 S_c と称するものとする。

【 0 0 3 8 】

そして、コンソール 2 は、複数の投影画像 G_i を再構成することにより、乳房 M の所望とする断層面を強調した断層画像を生成する。具体的には、コンソール 2 は、単純逆投影法あるいはフィルタ逆投影法等の周知の逆投影法等を用いて複数の投影画像 G_i を再構成して、図 6 に示すように、乳房 M の複数の断層面のそれぞれにおける複数の断層画像 D_j ($j = 1 \sim m$) を生成する。この際、乳房 M を含む 3 次元空間における 3 次元の座標位置

50

が設定され、設定された3次元の座標位置に対して、複数の投影画像 G_i の対応する画素の画素値が再構成されて、その座標位置の画素値が算出される。なお、第1の実施形態においては、断層画像 D_j の画素値は、輝度が高い(すなわち白い)ほど大きく、輝度が低い(すなわち黒い)ほど小さい値を有するものとする。また、画素値は0以上の値を有するものとする。

【0039】

コンソール2は、生成された断層画像 D_j を画像処理装置4に直接転送するか、画像保存システム3に転送する。

【0040】

線構造画像導出部31は、複数の断層画像 D_j のそれぞれから、高周波の線構造を表す線構造画像を導出する。本実施形態における高周波の線構造とは、上記米国特許第8983156号明細書および米国特許第9792703号明細書等に記載された手法を用いることによって、合成2次元画像においては明確に表現できない程度の太さの線状の構造である。具体的には、乳房Mに含まれる構造物において、太さが200~300 μm 程度以下の構造である。このような高周波の線構造としては、乳房Mに含まれる乳腺およびスピキュラが挙げられる。

【0041】

一方、乳房Mに含まれる病変としては腫瘤等が挙げられる。腫瘤は、石灰化およびスピキュラと比較して大きい構造を有する。腫瘤等のように石灰化およびスピキュラと比較して大きい構造を有する構造を、本実施形態においては、低周波の構造と称する。

【0042】

図7は、断層画像の例を示す図である。なお、図7には6つの断層画像 $D_1 \sim D_6$ を示している。図7に示すように、断層画像 D_1 には石灰化 K_{11} が含まれる。断層画像 D_2 には、線構造 K_{21} 、 K_{22} および腫瘤等の低周波の構造 K_{23} が含まれる。断層画像 D_3 には、線構造 K_{31} 、 K_{32} および低周波の構造 K_{33} が含まれる。断層画像 D_4 には、線構造 K_{41} 、 K_{42} および低周波の構造 K_{43} が含まれる。断層画像 D_5 には、線構造 K_{51} 、 K_{52} および低周波の構造 K_{53} が含まれる。断層画像 D_6 には石灰化 K_{61} が含まれる。なお、図7は、断層画像 D_j において乳房Mに含まれる各種構造を模式的に示すものであり、実際の構造の含まれ方とは異なる。

【0043】

線構造画像導出部31は、線構造画像を導出するために、まず、複数の断層画像 D_j のそれぞれの高周波成分を導出する。具体的には、各断層画像 D_j を縮小することにより、断層画像 D_j の低周波成分を表す低周波断層画像 D_{Lj} を導出する。そして、低周波断層画像 D_{Lj} を元の断層画像 D_j と同一サイズに拡大し、拡大した低周波断層画像 D_{Lj} を元の断層画像 D_j から減算することにより、断層画像 D_j の高周波成分を表す高周波断層画像 D_{Hj} を導出する。なお、断層画像 D_j の縮小に代えて、断層画像 D_j にローパスフィルタによるフィルタリング処理を行うことにより、低周波断層画像 D_{Lj} を導出してもよい。また、断層画像 D_j に対してハイパスフィルタによるフィルタリング処理を行うことにより、断層画像 D_j の高周波成分を表す高周波断層画像 D_{Hj} を導出してもよい。また、断層画像 D_j における太さが300 μm 程度以下の高周波成分を抽出するバンドパスフィルタによるフィルタリング処理を行うことにより、断層画像 D_j の高周波成分を表す高周波断層画像 D_{Hj} を導出してもよい。

【0044】

図8は低周波断層画像および高周波断層画像示す図である。なお、図8には、図7に示す断層画像 $D_1 \sim D_6$ から導出した低周波断層画像 $D_{L1} \sim D_{L6}$ および高周波断層画像 $D_{H1} \sim D_{H6}$ を示す。図8に示すように、低周波断層画像 $D_{L1} \sim D_{L6}$ には、断層画像 $D_1 \sim D_6$ に含まれる腫瘤等の比較的サイズが大きい低周波の構造のみが含まれる。高周波断層画像 $D_{H1} \sim D_{H6}$ には、スピキュラおよび乳腺並びに石灰化のような比較的サイズが小さい高周波の構造のみが含まれる。

【0045】

10

20

30

40

50

なお、低周波断層画像 $D L j$ においては、低周波の構造が高輝度（すなわち大きい画素値）で表される。また、高周波断層画像 $D H j$ においては、高周波の構造が高輝度で表される。

【 0 0 4 6 】

次いで、線構造画像導出部 3 1 は、高周波断層画像 $D H j$ の画素の繋がりの方
向に合わせて方向性フィルタを適用することにより、高周波の線構造を抽出して高周波の線構造画像 $D S j$ を導出する。ここで、方向性フィルタとは、2次元のフィルタであり、フィルタ内における上下方向、左右方向および2つの対角線方向のそれぞれに対して大きい重みを持ち、それ以外の部分においては画像を平滑化するフィルタである。方向性フィルタは、上下方向、左右方向および2つの対角線方向のそれぞれについて用意される。

10

【 0 0 4 7 】

図 9 は線構造画像を示す図である。なお、図 9 には図 8 に示す高周波断層画像 $D H 1 \sim D H 6$ から導出した線構造画像 $D S 1 \sim D S 6$ を示している。図 9 に示すように、線構造画像 $D S 1 \sim D S 6$ には、断層画像 $D j$ に含まれる乳腺およびスピキュラのような線状の構造物のみが含まれる。なお、線構造画像 $D S j$ においては、断層画像 $D j$ に含まれる乳腺およびスピキュラのような線状の構造物が高輝度（すなわち大きい画素値）により表される。

【 0 0 4 8 】

なお、線構造画像導出部 3 1 は、ソーベルフィルタまたはラプラシアンフィルタ等によるフィルタリング処理を断層画像 $D j$ に対して行うことにより、線構造画像 $D S j$ を導出して
もよい。また、CADにより、断層画像 $D j$ から線構造を抽出することにより、線構造画像 $D S j$ を導出するものであってもよい。

20

【 0 0 4 9 】

特徴量導出部 3 2 は、線構造画像 $D S j$ から線構造の特徴を表す特徴量を導出する。第 1 の実施形態においては、線構造画像 $D S j$ の各画素における画素値の分散値を特徴量として導出する。具体的には、特徴量導出部 3 2 は、線構造画像 $D S j$ の各画素に対して予め定められたサイズの関心領域を設定する。関心領域のサイズとしては、例えば 5×5 画素とすることができるがこれに限定されるものではなく、 3×3 画素または 7×7 画素等、任意のサイズとすることができる。また、関心領域の形状は矩形に限定されるものではなく、円形等、任意の形状とすることができる。

30

【 0 0 5 0 】

特徴量導出部 3 2 は、下記の式 (1) により、関心領域内の画素の画素値を用いて、線構造画像 $D S j$ の各画素の分散値 σ^2 を線構造の特徴を表す特徴量として導出する。式 (1) において、 $r(x_i, y_i)$ は線構造画像 $D S j$ の各画素の画素値、 r_m は関心領域内における画素値の平均値、 σ^2 は、関心領域内における $(r(x_i, y_i) - r_m)^2$ の総和を示す。

$$\sigma^2(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (r(x_i, y_i) - r_m)^2 \quad (1)$$

【 0 0 5 1 】

関心構造検出部 3 3 は、断層画像 $D j$ または高周波断層画像 $D H j$ のそれぞれから石灰化を検出する。石灰化は、本開示による関心構造の一例である。石灰化を検出するために、関心構造検出部 3 3 は、各画素に対して予め定められたサイズの関心領域を設定する。関心領域のサイズとしては、例えば 5×5 画素とすることができるがこれに限定されるものではなく、 3×3 画素または 7×7 画素等、任意のサイズとすることができる。また、関心領域の形状は矩形に限定されるものではなく、円形等、任意の形状とすることができる。なお、以降の説明においては、断層画像 $D j$ からの石灰化の検出について説明するが、高周波断層画像 $D H j$ から、断層画像 $D j$ の場合と同様に石灰化を検出することができる。

40

【 0 0 5 2 】

関心構造検出部 3 3 は、下記の式 (2) により、関心領域内の画素の画素値を用いて、断層画像 $D j$ の各画素の分散値 σ_1^2 を導出する。式 (2) において、 $r_1(x_{1i}, y_{1i})$

50

i) は断層画像 D_j の各画素の画素値、 r_{1m} は関心領域内における画素値の平均値、 $\sum (r_1(x_{1i}, y_{1i}) - r_{1m})^2$ の総和を示す。

$$1^2(x, y) = \sum (r_1(x_{1i}, y_{1i}) - r_{1m})^2 \quad (2)$$

【0053】

関心構造検出部 33 は、断層画像 D_j において、分散値 1^2 が予め定められたしきい値 Th_1 以上となる画素を、石灰化の画素として検出する。なお、石灰化の検出は、分散値を用いる手法に限定されるものではない。輝度が予め定められたしきい値 Th_2 以上となる画素を抽出可能なフィルタによるフィルタリング処理により、石灰化の画素を検出してよい。また、CAD により、断層画像 D_j から石灰化の画素を検出するものであってもよい。

10

【0054】

選択部 34 は、特徴量導出部 32 が導出した特徴量および関心構造検出部 33 が検出した石灰化に基づいて、高周波断層画像 DH_j のそれぞれにおける対応する画素毎に、後述する合成 2 次元画像の生成に用いる高周波断層画像 DH_j を選択する。第 1 の実施形態においては、高周波断層画像 DH_j のそれぞれにおける対応する画素毎に、線構造を含む少なくとも 1 つの高周波断層画像または予め定められた高周波断層画像を選択する。とくに、第 1 の実施形態においては、高周波断層画像 DH_j のうち、高周波断層画像 DH_j 間の対応する画素毎に、線構造画像 DS_j における特徴量が大きい最大 3 つの高周波断層画像を、線構造を含む高周波断層画像として選択する。具体的には、選択部 34 は、高周波断層画像 DH_j における対応する注目画素について、線構造画像 DS_j の注目画素に対応する画素の特徴量を比較する。そして、選択部 34 は、特徴量が大きい最大 3 つの線構造画像 DS_j を特定する。

20

【0055】

例えば、6 つの線構造画像 $DS_1 \sim DS_6$ において、互いに対応する注目画素の特徴量がそれぞれ 10, 30, 10, 40, 20, 50 であれば、選択部 34 は、注目画素について線構造画像 DS_2, DS_4, DS_6 を特徴量が大きい線構造画像に特定する。そして、選択部 34 は、特定された線構造画像 DS_2, DS_4, DS_6 に対応する高周波断層画像 DH_2, DH_4, DH_6 を、注目画素についての線構造を含む高周波断層画像 DH_j として選択する。なお、特徴量が予め定められたしきい値 Th_3 以上となる最大 3 つの高周波断層画像 DH_j を、線構造を含む高周波断層画像として選択するようにしてもよい。

30

【0056】

なお、選択される線構造を含む高周波断層画像 DH_j の数は、最大 3 つに限定されるものではない。例えば、高周波断層画像 DH_j 間の対応する画素毎に、線構造画像 DS_j における特徴量が最大となる 1 つの高周波断層画像のみを、線構造を含む高周波断層画像として選択するようにしてもよい。また、線構造画像 DS_j における特徴量が予め定められたしきい値 Th_4 以上となるすべての高周波断層画像を、線構造を含む高周波断層画像として選択するようにしてもよい。また、6 つの高周波断層画像 $DH_1 \sim DH_6$ のうち、特徴量が 0 を超える高周波断層画像の数が 3 に満たない場合には、選択部 34 は、特徴量が 0 を越える 1 つまたは 2 つの高周波断層画像を、線構造を含む高周波断層画像としてとして選択すればよい。

40

【0057】

また、選択部 34 は、高周波断層画像 DH_j のうち、高周波断層画像 DH_j 間の対応する画素において、線構造画像 DS_j における特徴量がすべて 0 である場合、その画素についてはすべての高周波断層画像 DH_j を予め定められた高周波断層画像として選択する。なお、高周波断層画像 DH_j 間の対応する画素において、画素値が最大となる（すなわち輝度が最大となる）高周波断層画像 DH_j を予め定められた高周波断層画像として選択してもよい。また、高周波断層画像 DH_j 間の対応する画素において、画素値が大きい順に予め定められた数（例えば最大 3 つ）の高周波断層画像 DH_j を、予め定められた高周波断層画像として選択してもよい。

【0058】

50

一方、高周波断層画像DHj間の対応する画素において、石灰化が検出されている場合、第1の実施形態においては、特徴量導出部32が導出した線構造の特徴量の大きさに拘わらず、選択部34は、石灰化が検出された高周波断層画像を選択する。例えば、高周波断層画像DHj間の注目画素において、石灰化が検出されているとする。その場合、注目画素については、線構造を含む高周波断層画像が選択されていても、線構造を含む高周波断層画像に代えて、石灰化が検出された高周波断層画像を選択する。また、注目画素においては、予め定められた高周波断層画像が選択されている場合に、高周波断層画像の少なくとも1つにおいて石灰化が検出された場合、選択部34は予め定められた高周波断層画像に代えて、石灰化が検出された高周波断層画像を選択する。

【0059】

10

なお、注目画素において石灰化が検出された高周波断層画像が3以上であれば、選択部34は、線構造を含む3つの高周波断層画像に代えて、石灰化が検出された断層画像に対応する最大3つの高周波断層画像を選択すればよい。この場合、選択部34は、石灰化を検出した際の分散値が大きい上位3つの高周波断層画像を選択する。

【0060】

また、注目画素において石灰化が検出された高周波断層画像が2以下の場合、選択部34は、線構造を含む高周波断層画像のうちの2つまたは1つに代えて、石灰化が検出された2つまたは1つの高周波断層画像を選択するようにしてもよい。この場合、線構造を含む1つまたは2つの高周波断層画像は、そのまま残しておいてもよい。

【0061】

20

例えば、注目画素において、線構造を含む3つの高周波断層画像DH1, DH2, DH3が選択されていたとする。線構造の特徴量の大きさは、 $DH1 > DH2 > DH3$ とする。また、注目画素について高周波断層画像DH4において石灰化が検出されているとする。この場合、選択部34は、注目画素においては、線構造を含む高周波断層画像DH1, DH2, DH3のうちの、特徴量が最小となる高周波断層画像DH1に代えて、高周波断層画像DH4を選択する。また、注目画素において、高周波断層画像DH4, DH5, DH6に石灰化が検出されているとする。この場合、選択部34は、注目画素においては、線構造を含む高周波断層画像DH1, DH2, DH3に代えて、高周波断層画像DH4, DH5, DH6を選択する。

【0062】

30

図10は特徴量および石灰化に基づく高周波断層画像の選択を説明するための図である。なお、図10においては、図8に示す6つの高周波断層画像DH1~DH6からの高周波断層画像の選択について説明する。また、図10においては、高周波断層画像DH1~DH6を模式的に1次元で示している。高周波断層画像DH1~DH6の画素数はP1~P15の15画素である。なお、図10においては、高周波断層画像DH6の画素P1, P5, P10, P15にのみ参照符号を付与している。また、図10においては、高周波断層画像DH1~DH6の各画素において、線構造画像DS1~DS6から導出した特徴量および石灰化の分散値が示されている。

【0063】

40

なお、図10においては、線構造の特徴量を太線で表し、石灰化の分散値を白抜きの太線で表している。また、模式的に表した高周波断層画像DH1~DH6から上方に離れるほど、線構造の特徴量の値が大きく、石灰化を検出した際の分散値が大きいものとなっている。また、ここでは、特徴量がしきい値以上となる最大3つの線構造を含む高周波断層画像DHjを選択するものとして説明する。このため、図10には、しきい値以上となる線構造の特徴量のみが示されている。また、以降の説明においては、図10と同様の図については、その図示の仕方は図10と同一である。

【0064】

画素P1においては、高周波断層画像DH3, DH4において、線構造の特徴量が導出されている。この場合、選択部34は、画素P1においては、線構造を含む2つの高周波断層画像DH3, DH4を選択する。

50

【 0 0 6 5 】

画素 P 2 においては、高周波断層画像 D H 1 ~ D H 5 において線構造の特徴量が導出され、このうち特徴量の大きさが上位 3 つとなる高周波断層画像は、高周波断層画像 D H 2 ~ D H 4 である。このため、選択部 3 4 は、画素 P 2 においては、線構造を含む 3 つの高周波断層画像 D H 2 ~ D H 4 を選択する。

【 0 0 6 6 】

画素 P 3 においては、高周波断層画像 D H 1 ~ D H 5 において線構造の特徴量が導出され、このうち特徴量の大きさが上位 3 つとなる高周波断層画像は、高周波断層画像 D H 1 ~ D H 3 である。このため、選択部 3 4 は、画素 P 3 においては、線構造を含む 3 つの高周波断層画像 D H 1 ~ D H 3 を選択する。

10

【 0 0 6 7 】

画素 P 4 においては、高周波断層画像 D H 1 ~ D H 5 において線構造の特徴量が導出され、このうち特徴量の大きさが上位 3 つとなる高周波断層画像は、高周波断層画像 D H 2 ~ D H 4 である。一方、画素 P 4 においては、2 つの高周波断層画像 D H 3 , D H 4 において石灰化が検出されている。このため、選択部 3 4 は、画素 P 4 においてはまず石灰化が検出された 2 つの高周波断層画像 D H 3 , D H 4 を選択する。また、特徴量の大きさが上位 3 つとなる高周波断層画像 D H 2 ~ D H 4 のうち、すでに選択された高周波断層画像 D H 3 , D H 4 を除いた 1 つの線構造を含む高周波断層画像 D H 2 を選択する。なお、選択部 3 4 は、画素 P 4 においては、石灰化が検出された高周波断層画像 D H 3 , D H 4 のみを選択するものであってもよい。

20

【 0 0 6 8 】

画素 P 5 においては、3 つの高周波断層画像 D H 2 ~ D H 4 において線構造の特徴量が導出されている。このため、選択部 3 4 は、画素 P 5 においては、線構造を含む 3 つの高周波断層画像 D H 2 ~ D H 4 を選択する。

【 0 0 6 9 】

画素 P 6 においては、いずれの高周波断層画像 D H 1 ~ D H 6 においても線構造の特徴量は導出されていない。一方、画素 P 6 においては、高周波断層画像 D H 2 において石灰化が検出されている。このため、選択部 3 4 は、画素 P 6 においては、石灰化が検出された高周波断層画像 D H 2 のみを選択する。

【 0 0 7 0 】

30

画素 P 7 においては、いずれの高周波断層画像 D H 1 ~ D H 6 においても、線構造の特徴量は導出されていない。また、石灰化も検出されていない。このため、選択部 3 4 は、画素 P 7 においては、予め定められた高周波断層画像としてすべての高周波断層画像 D H 1 ~ D H 6 を選択する。

【 0 0 7 1 】

画素 P 8 においては、3 つの高周波断層画像 D H 1 ~ D H 3 において線構造の特徴量が導出されている。このため、選択部 3 4 は、画素 P 8 においては、線構造を含む 3 つの高周波断層画像 D H 1 ~ D H 3 を選択する。

【 0 0 7 2 】

画素 P 9 においては、高周波断層画像 D H 1 ~ D H 4 において線構造の特徴量が導出され、このうち特徴量の大きさが上位 3 つとなる高周波断層画像は、高周波断層画像 D H 1 ~ D H 3 である。一方、画素 P 9 においては、3 つの高周波断層画像 D H 4 ~ D H 6 において石灰化が検出されている。このため、選択部 3 4 は、画素 P 9 においては、石灰化が検出された 3 つの高周波断層画像 D H 4 ~ D H 6 を選択する。

40

【 0 0 7 3 】

画素 P 1 0 においては、高周波断層画像 D H 1 ~ D H 4 において線構造の特徴量が導出され、このうち特徴量の大きさが上位 3 つとなる高周波断層画像は、高周波断層画像 D H 1 ~ D H 3 である。このため、選択部 3 4 は、画素 P 1 0 においては、線構造を含む 3 つの高周波断層画像 D H 1 ~ D H 3 を選択する。

【 0 0 7 4 】

50

画素 P 1 1 ~ P 1 3 においては、いずれの高周波断層画像 D H 1 ~ D H 6 においても、線構造の特徴量は導出されていない。また、石灰化も検出されていない。このため、選択部 3 4 は、画素 P 1 1 ~ P 1 3 においては、予め定められた高周波断層画像としてすべての高周波断層画像 D H 1 ~ D H 6 を選択する。

【 0 0 7 5 】

画素 P 1 4 においては、高周波断層画像 D H 2 , D H 4 において線構造の特徴量が導出されている。一方、画素 P 1 4 においては、3つの高周波断層画像 D H 3 ~ D H 5 において石灰化が検出されている。このため、選択部 3 4 は、画素 P 1 4 においては石灰化が検出された3つの高周波断層画像 D H 3 ~ D H 5 を選択する。

【 0 0 7 6 】

画素 P 1 5 においては、いずれの高周波断層画像 D H 1 ~ D H 6 においても、線構造の特徴量は導出されていない。また、石灰化も検出されていない。このため、選択部 3 4 は、画素 P 1 5 においては、予め定められた高周波断層画像としてすべての高周波断層画像 D H 1 ~ D H 6 を選択する。

【 0 0 7 7 】

合成部 3 5 は、選択部 3 4 が選択した高周波断層画像に基づいて、合成 2 次元画像を導出する。すなわち、合成部 3 5 は、線構造の領域および石灰化の領域においては、線構造を含む高周波断層画像および石灰化が検出された高周波断層画像に基づいて、合成 2 次元画像を導出する。また、線構造および石灰化以外の領域においては、予め定められた高周波断層画像に基づいて合成 2 次元画像を導出する。

【 0 0 7 8 】

ここで、第 1 の実施形態においては、合成部 3 5 は、選択された高周波断層画像に基づいて、高周波断層画像 D H j についての合成 2 次元画像である合成高周波画像 G H 1 を導出する。また、合成部 3 5 は、線構造画像導出部 3 1 が線構造画像 D S j を導出する際に用いた断層画像 D j の低周波成分を表す低周波断層画像 D L j についての合成 2 次元画像である合成低周波画像 G L 1 を導出する。そして、合成部 3 5 は、合成高周波画像 G H 1 および合成低周波画像 G L 1 から、合成 2 次元画像 C G 1 を導出する。

【 0 0 7 9 】

まず、合成高周波画像 G H 1 の導出について説明する。なお、第 1 の実施形態においては、上述した図 1 0 を用いて説明したように、高周波断層画像が選択されているものとする。このため、以下、画素 P 1 ~ P 1 5 のそれぞれについての合成について説明する。

【 0 0 8 0 】

画素 P 1 においては、線構造を含む 2 つの高周波断層画像 D H 3 , D H 4 が選択されている。このため、合成部 3 5 は、高周波断層画像 D H 3 , D H 4 における画素 P 1 の画素値の、特徴量（すなわち分散値）に応じた重み付け平均値を導出し、重み付け平均値を合成高周波画像 G H 1 における画素 P 1 の画素値とする。なお、重み付け平均のための重み係数は、特徴量が大いほど大きい値となるように導出する。また、重み付け平均値に代えて、加算平均値を用いてもよい。以降の説明においても同様である。

【 0 0 8 1 】

画素 P 2 においては、線構造を含む 3 つの高周波断層画像 D H 2 ~ D H 4 が選択されている。このため、合成部 3 5 は、高周波断層画像 D H 2 ~ D H 4 における画素 P 2 の画素値の、特徴量に応じた重み付け平均値を導出し、重み付け平均値を合成高周波画像 G H 1 における画素 P 2 の画素値とする。

【 0 0 8 2 】

画素 P 3 , P 8 , P 1 0 においては、線構造を含む 3 つの高周波断層画像 D H 1 ~ D H 3 が選択されている。このため、合成部 3 5 は、高周波断層画像 D H 1 ~ D H 3 における画素 P 3 , P 8 , P 1 0 の画素値の、特徴量に応じた重み付け平均値を導出し、重み付け平均値を合成高周波画像 G H 1 における画素 P 3 , P 8 , P 1 0 の画素値とする。

【 0 0 8 3 】

画素 P 4 においては、3つの高周波断層画像 D H 2 ~ D H 4 が選択されている。このう

10

20

30

40

50

ち、2つの高周波断層画像DH3, DH4が石灰化の検出結果に基づいて選択されている。このため、合成部35は、画素P4においては、まず高周波断層画像DH3, DH4における画素P4の画素値の、石灰化検出時における分散値の大きさに応じた重み付け平均値を導出する。そして、合成部35は、高周波断層画像DH3, DH4における画素P4の画素値の重み付け平均値と、線構造を含む高周波断層画像DH2の画素P4の画素値との加算平均値を導出し、導出した加算平均値を合成高周波画像GH1における画素P4の画素値とする。

【0084】

画素P5においては、線構造を含む3つの高周波断層画像DH2～DH4が選択されている。このため、合成部35は、高周波断層画像DH2～DH4における画素P5の画素値の、特徴量に応じた重み付け平均値を導出し、重み付け平均値を合成高周波画像GH1における画素P5の画素値とする。

10

【0085】

画素P6においては、石灰化が検出された高周波断層画像DH2のみが選択されている。このため、合成部35は、高周波断層画像DH2における画素P6の画素値を合成高周波画像GH1における画素P6の画素値とする。

【0086】

画素P7, P11～P13, P15においては、すべての高周波断層画像DH1～DH6が選択されている。このため、合成部35は、高周波断層画像DH1～DH6における画素P7, P11～P13, P15の画素値の加算平均値を導出し、加算平均値を合成高周波画像GH1における画素P7, P11～P13, P15の画素値とする。

20

【0087】

画素P9においては石灰化が検出された3つの高周波断層画像DH4～DH6が選択されている。このため、合成部35は、高周波断層画像DH4～DH6における画素P9の画素値の、石灰化検出時に算出した分散値の大きさに応じた重み付け平均値を導出し、重み付け平均値を合成高周波画像GH1における画素P9の画素値とする。

【0088】

画素P14においては石灰化が検出された3つの高周波断層画像DH3～DH5が選択されている。このため、合成部35は、高周波断層画像DH3～DH5における画素P14の画素値の、石灰化検出時に算出した分散値の大きさに応じた重み付け平均値を導出し、重み付け平均値を合成高周波画像GH1における画素P14の画素値とする。

30

【0089】

図11は、合成高周波画像の生成を説明するための図である。なお、図11においても6つの高周波断層画像DH1～DH6を用いて説明する。図11に示すように、高周波断層画像DH1～DH6には線構造および石灰化が含まれており、合成高周波画像GH1には、6つの高周波断層画像DH1～DH6に含まれる線構造および石灰化が合成されて含まれる。

【0090】

ここで、高周波断層画像DH1には断層画像D1に含まれる石灰化K11が検出されており、石灰化K11が高周波断層画像DH2に含まれる線構造K21と重なっている。この場合、石灰化K11に対応する画素においては、選択部34は、線構造を含む高周波断層画像DH2ではなく、石灰化K11が検出された高周波断層画像DH1を選択する。このため、合成高周波画像GH1においては、高周波断層画像DH2に含まれる線構造K21に高周波断層画像DH1に含まれる石灰化K11が上書きされたものとなる。

40

【0091】

また、高周波断層画像DH6には断層画像D6に含まれる石灰化K61が検出されており、石灰化K61が高周波断層画像DH5に含まれる線構造K51と重なっている。この場合、石灰化K61に対応する画素においては、選択部34は、線構造を含む高周波断層画像DH5ではなく、石灰化K61が検出された高周波断層画像DH6を選択する。このため、合成高周波画像GH1においては、高周波断層画像DH5に含まれる線構造K51

50

に高周波断層画像 D H 6 に含まれる石灰化 K 6 1 が上書きされたものとなる。

【 0 0 9 2 】

一方、合成部 3 5 は、低周波断層画像 D L j の全画素について、対応する画素の画素値の加算平均値を導出し、加算平均値を合成低周波画像 G L 1 の画素値とする。なお、合成部 3 5 は、低周波断層画像 D L j のそれぞれについて、各画素の分散値を算出し、分散値の大きさに応じた重み付け平均値を導出する等、任意の手法により、合成低周波画像 G L 1 を導出してよい。

【 0 0 9 3 】

図 1 2 は、合成低周波画像の生成を説明するための図である。なお、図 1 2 においては、図 8 に示す 6 つの低周波断層画像 D L 1 ~ D L 6 を用いて説明する。図 1 2 に示すように、低周波断層画像 D L 2 ~ D L 5 には、それぞれ乳房 M に含まれる腫瘤等の低周波の構造 K 2 3 , K 3 3 , K 4 3 , K 5 3 が含まれている。低周波断層画像 D L 2 ~ D L 4 にそれぞれ含まれる構造 K 2 3 , K 3 3 , K 4 3 は重なっているため、合成低周波 G L 1 においては、構造 K 2 3 , K 3 3 , K 4 3 が重なった構造 K 7 1 が含まれる。低周波断層画像 D L 5 に含まれる構造 K 5 3 は他の低周波断層画像 D L 1 ~ D L 4 , D L 6 に含まれる、いずれの構造とも重なっていないため、合成低周波画像 G L 1 においては、構造 K 5 3 はそのまま含まれることとなる。

【 0 0 9 4 】

合成部 3 5 は、合成高周波画像 G H 1 と合成低周波画像 G L 1 とを合成することにより、合成 2 次元画像 C G 1 を導出する。合成の手法としては、線構造画像導出部 3 1 が行った高周波の線構造の導出に対応する手法を用いればよい。例えば、断層画像 D j から拡大した低周波断層画像 D L j を減算することにより高周波断層画像を導出した場合には、例えば、特開 2 0 1 8 - 0 2 9 7 4 6 号公報に記載された手法を用いて合成 2 次元画像 C G 1 を導出する。具体的には、低周波断層画像 D L j を補間演算により元の断層画像 D j と同一サイズとなるように拡大し、拡大した低周波断層画像 D L j と合成高周波画像 G H 1 とを加算することにより、合成 2 次元画像 C G 1 を導出する。なお、加算は重み付け加算であってもよい。この場合、合成低周波画像 G L 1 よりも合成高周波画像 G H 1 に対する重み係数を大きくすることが好ましい。

【 0 0 9 5 】

表示制御部 3 6 は、合成部 3 5 が導出した合成 2 次元画像 C G 1 をディスプレイ 2 4 に表示する。図 1 3 は、第 1 の実施形態における合成 2 次元画像の表示画面を示す図である。図 1 3 に示すようにディスプレイ 2 4 の表示画面 5 0 には、合成 2 次元画像 C G 1 が表示されている。なお、図 1 3 に示す合成 2 次元画像 C G 1 は、図 1 1 に示す合成高周波画像 G H 1 および図 1 2 に示す合成低周波画像 G L 1 から導出されたものである。なお、図 1 3 においては、図 7 に示す断層画像に含まれる構造についてのすべての参照番号を付与していない。図 1 3 に示す合成 2 次元画像 C G 1 においては、断層画像 D j に含まれる線構造、石灰化および低周波の構造が含まれる。とくに、断層画像 D 1 に含まれる石灰化 K 1 1 と断層画像 D 2 に含まれる線構造 K 2 1 とが重なっているが、線構造 K 2 1 が石灰化 K 1 1 に置換されることにより、石灰化が見やすくなっている。また、断層画像 D 6 に含まれる石灰化 K 6 1 と断層画像 D 5 に含まれる線構造 K 5 1 とが重なっているが、線構造 K 5 1 が石灰化 K 6 1 により置換されることにより、石灰化が見やすくなっている。

【 0 0 9 6 】

次いで、第 1 の実施形態において行われる処理について説明する。図 1 4 は第 1 の実施形態において行われる処理を示すフローチャートである。なお、複数の断層画像 D j は予め取得されてストレージ 2 3 に保存されているものとする。操作者による処理開始の指示を入力デバイス 2 5 が受け付けると処理が開始され、線構造画像導出部 3 1 が、複数の断層画像 D j から線構造画像 D S j を導出する（ステップ S T 1）。次いで、特徴量導出部 3 2 が、複数の線構造画像 D S j のそれぞれから線構造の特徴を表す特徴量を導出する（ステップ S T 2）。また、関心構造検出部 3 3 が、複数の断層画像 D j または高周波断層画像 D H j のそれぞれから石灰化を関心構造として検出する（ステップ S T 3）。

【 0 0 9 7 】

次いで、選択部 3 4 が、断層画像 D j の高周波成分を表す高周波断層画像 D H j のそれぞれにおける対応する画素毎に、高周波断層画像を選択する（ステップ S T 4）。すなわち、選択部 3 4 は、特徴量に基づいて、高周波断層画像 D H j のそれぞれにおける対応する画素毎に、線構造を含む少なくとも 1 つの高周波断層画像、または予め定められた高周波断層画像を選択する。また、石灰化が検出された高周波断層画像の対応する画素においては、線構造を含む高周波断層画像または予め定められた高周波断層画像に代えて、石灰化が検出された高周波断層画像を選択する。

【 0 0 9 8 】

さらに、合成部 3 5 が、選択された高周波断層画像に基づいて合成 2 次元画像 C G 1 を導出する（ステップ S T 5）。そして、表示制御部 3 6 が合成 2 次元画像 C G 1 をディスプレイ 2 4 に表示し（ステップ S T 6）、処理を終了する。

【 0 0 9 9 】

このように、第 1 の実施形態においては、断層画像 D j から線構造画像 D S j を導出し、線構造画像 D S j から線構造の特徴を表す特徴量を導出し、特徴量に基づいて、高周波断層画像 D H j のそれぞれにおける対応する画素毎に、線構造を含む少なくとも 1 つの高周波断層画像、または予め定められた高周波断層画像を選択するようにした。そして、選択した高周波断層画像に基づいて合成 2 次元画像 C G 1 を導出するようにした。ここで、乳房 M に含まれる線構造が乳房 M の深さ方向（すなわち、断層画像 D j が並ぶ方向）において重なっている場合、特徴量が大きくなることから、線構造を含む高周波断層画像が選択されることとなる。このため、合成 2 次元画像 C G 1 においては、線構造がぼけたりすることなく、明瞭に含まれることとなる。したがって、本実施形態によれば、合成 2 次元画像 C G 1 において、乳房 M に含まれる細かな構造を見やすくすることができる。

【 0 1 0 0 】

また、第 1 の実施形態においては、断層画像 D j または高周波断層画像 D H j から石灰化を関心構造として検出し、石灰化が検出された画素においては、線構造を含む高周波断層画像 D H j または予め定められた高周波断層画像 D H j に代えて、石灰化が検出された高周波断層画像を選択するようにした。ここで、石灰化は、乳がんの診断を行う上で重要な構造である。このため、乳房 M に含まれる石灰化が乳房 M の深さ方向において線構造と重なっていても、石灰化を含む高周波断層画像が選択されるため、合成 2 次元画像 C G 1 において石灰化が、乳房 M 内の他の構造に隠れてしまうことなく、明瞭に含まれることとなる。このため、合成 2 次元画像 C G 1 において、乳房 M に含まれる石灰化を見やすくすることができる。

【 0 1 0 1 】

なお、上記第 1 の実施形態においては、高周波断層画像 D H j 間の対応する画素毎に、すべての特徴量が 0 である場合に、予め定められた高周波断層画像を選択しているが、これに限定されるものではない。高周波断層画像 D H j 間の対応する画素毎に、すべての特徴量が予め定められたしきい値 T h 5 未満となる場合に、予め定められた高周波断層画像を選択するようにしてもよい。この場合、特徴量がしきい値 T h 5 以上となる画素が存在する場合には、その画素を含む高周波断層画像 D H j が、線構造を含む高周波断層画像として選択されることとなる。

【 0 1 0 2 】

次いで、本開示の第 2 の実施形態について説明する。図 1 5 は、第 2 の実施形態による画像処理装置の機能的な構成を示す図である。なお、図 1 5 において図 4 と同一の構成については同一の参照番号を付与し、詳細な説明は省略する。第 2 の実施形態による画像処理装置 4 A は、図 4 に示す第 1 の実施形態による画像処理装置 4 と比較して、関心構造検出部 3 3 を備えない点が第 1 の実施形態と異なる。また、第 2 の実施形態においては、特徴量導出部 3 2、選択部 3 4 および合成部 3 5 が行う処理が第 1 の実施形態と異なる。

【 0 1 0 3 】

第 2 の実施形態においては、特徴量導出部 3 2 は、線構造画像 D S j の各画素の画素値

10

20

30

40

50

を変換することにより、特徴量を導出する。第2の実施形態においても、線構造画像 DS_j の画素値は、輝度が高い（すなわち白い）ほど高い値を有するものとする。なお、第2の実施形態においては、線構造画像全体の画素値の平均が0であると仮定する。すなわち、輝度が高い（すなわち白い）画素は正の値、輝度が低い（すなわち黒い）画素は負の値を有するものとする。第2の実施形態においては、線構造画像 DS_j の各画素の画素値を変換し、変換した値の絶対値を特徴量とする。具体的には、線構造画像 DS_j の各画素の画素値に一定値を加算した値の絶対値を特徴量とする。また、線構造画像 DS_j の各画素の画素値が0以上の場合について、線構造画像 DS_j の各画素の画素値を a_1 倍（ $a_1 > 1$ ）した値、あるいは一定値を加算した値の絶対値を特徴量としてもよい。また、線構造画像 DS_j の各画素の画素値が0以下の場合について、線構造画像 DS_j の各画素の画素値を a_2 倍（ $a_2 < 1$ ）した値、あるいは一定値を加算した値の絶対値を特徴量としてもよい。これにより、線構造らしさが大きいほど、線構造画像 DS_j に関する特徴量が大きいものとなる。

10

【0104】

なお、線構造画像 DS_j の各画素について、輝度が高いほど画素値が小さい値を有する場合には、線構造画像 DS_j の各画素の画素値が0以下の場合について、線構造画像 DS_j の各画素の画素値を a_3 倍（ $a_3 > 1$ ）する、あるいは一定値を減算することにより、特徴量を導出すればよい。また、画像全体の画素値の平均が0でない場合は、画素値の平均が0になるように画素値を変換した後に特徴量を算出すればよい。

【0105】

20

ここで、第1の実施形態において、選択部34は、高周波断層画像 DH_j を選択しているが、第2の実施形態における選択部34は、高周波断層画像に代えて、断層画像 D_j の対応する画素毎に、特徴量に基づいて、合成2次元画像の生成に用いる断層画像 D_j を選択する。第2の実施形態においては断層画像 D_j のそれぞれにおける対応する画素毎に、線構造を含む少なくとも1つの断層画像または予め定められた断層画像を選択する。

【0106】

なお、第2の実施形態による画像処理装置4Aは、関心構造検出部33を備えていないため、第2の実施形態における選択部34は、石灰化を考慮することなく、断層画像を選択する。すなわち、断層画像 D_j のうち、断層画像 D_j 間の対応する画素毎に、線構造画像 DS_j における特徴量が大きい最大3つの断層画像を、線構造を含む断層画像として選択する。具体的には、選択部34は、断層画像 D_j における対応する注目画素について、線構造画像 DS_j の注目画素に対応する画素の特徴量を比較する。そして、選択部34は、特徴量が大きい最大3つの線構造画像 DS_j を特定する。

30

【0107】

例えば、6つの線構造画像 $DS_1 \sim DS_6$ において、互いに対応する注目画素の特徴量がそれぞれ10, 30, 10, 40, 20, 50であれば、選択部34は、注目画素については、線構造画像 DS_2, DS_4, DS_6 を特徴量が大きい最大3つの線構造画像に特定する。そして、選択部34は、特定された線構造画像に対応する断層画像 D_2, D_4, D_6 を、注目画素についての線構造を含む断層画像として選択する。なお、特徴量が予め定められたしきい値 Th_6 以上となる最大3つの断層画像を、線構造を含む断層画像として選択するようにしてもよい。

40

【0108】

なお、選択される線構造を含む断層画像 D_j の数は、最大3つに限定されるものではない。例えば、断層画像 D_j 間の対応する画素毎に、線構造画像 DS_j における特徴量が最大となる1つの断層画像のみを、線構造を含む断層画像として選択するようにしてもよい。また、線構造画像 DS_j における特徴量が予め定められたしきい値 Th_7 以上となるすべての断層画像を、線構造を含む断層画像として選択するようにしてもよい。また、6つの断層画像 $D_1 \sim D_6$ のうち、特徴量が0を超える断層画像の数が3に満たない場合には、選択部34は、特徴量が0を超える1つまたは2つの断層画像を、線構造を含む断層画像としてとして選択すればよい。

50

【 0 1 0 9 】

また、選択部 3 4 は、断層画像 D_j のうち、断層画像 D_j 間の対応する画素毎に、線構造画像 DS_j における特徴量がすべて 0 である場合、すべての断層画像 D_j を予め定められた断層画像として選択する。

【 0 1 1 0 】

図 1 6 は第 2 の実施形態における、特徴量を用いた断層画像の選択を説明するための図である。なお、図 1 6 においては、図 7 に示す 6 つの断層画像 $D_1 \sim D_6$ からの断層画像の選択について説明する。また、図 1 6 においては、断層画像 $D_1 \sim D_6$ を模式的に 1 次元で示している。図 1 6 の図示の仕方は、断層画像 $D_1 \sim D_6$ を使用している点を除いて図 1 0 と同一である。

10

【 0 1 1 1 】

画素 P_1 においては、断層画像 D_3 , D_4 において、線構造の特徴量が導出されている。この場合、選択部 3 4 は、画素 P_1 においては、線構造を含む 2 つの断層画像 D_3 , D_4 を選択する。

【 0 1 1 2 】

画素 P_2 においては、断層画像 $D_1 \sim D_5$ において線構造の特徴量が導出され、このうち特徴量の大きさが上位 3 つとなる断層画像は、断層画像 $D_2 \sim D_4$ である。このため、選択部 3 4 は、画素 P_2 においては、線構造を含む 3 つの断層画像 $D_2 \sim D_4$ を選択する。

【 0 1 1 3 】

画素 P_3 においては、断層画像 $D_1 \sim D_5$ において線構造の特徴量が導出され、このうち特徴量の大きさが上位 3 つとなる断層画像は、断層画像 $D_1 \sim D_3$ である。このため、選択部 3 4 は、画素 P_3 においては、線構造を含む 3 つの断層画像 $D_1 \sim D_3$ を選択する。

20

【 0 1 1 4 】

画素 P_4 においては、断層画像 $D_1 \sim D_5$ において線構造の特徴量が導出され、このうち特徴量の大きさが上位 3 つとなる断層画像は、断層画像 $D_2 \sim D_4$ である。このため、選択部 3 4 は、画素 P_4 においては、線構造を含む 3 つの断層画像 $D_2 \sim D_4$ を選択する。

【 0 1 1 5 】

画素 P_5 においては、3 つの断層画像 $D_2 \sim D_4$ において線構造の特徴量が導出されているため、選択部 3 4 は、画素 P_5 においては、線構造を含む 3 つの断層画像 $D_2 \sim D_4$ を選択する。

30

【 0 1 1 6 】

画素 P_6 , P_7 においては、いずれの断層画像 $D_1 \sim D_6$ においても、線構造の特徴量は導出されていない。このため、選択部 3 4 は、画素 P_6 , P_7 においては、予め定められた断層画像としてすべての断層画像 $D_1 \sim D_6$ を選択する。

【 0 1 1 7 】

画素 P_8 においては、3 つの断層画像 $D_1 \sim D_3$ において線構造の特徴量が導出されている。このため、選択部 3 4 は、画素 P_8 においては、線構造を含む 3 つの断層画像 $D_1 \sim D_3$ を選択する。

【 0 1 1 8 】

画素 P_9 , P_{10} においては、断層画像 $D_1 \sim D_4$ において線構造の特徴量が導出され、このうち特徴量の大きさが上位 3 つとなる断層画像は、いずれの画素 P_9 , P_{10} においても、断層画像 $D_1 \sim D_3$ である。このため、選択部 3 4 は、画素 P_9 , P_{10} においては、線構造を含む 3 つの断層画像 $D_1 \sim D_3$ を選択する。

40

【 0 1 1 9 】

画素 $P_{11} \sim P_{13}$, P_{15} においては、いずれの断層画像 $D_1 \sim D_6$ においても、線構造の特徴量は導出されていない。このため、選択部 3 4 は、画素 $P_{11} \sim P_{13}$, P_{15} においては、予め定められた断層画像としてすべての断層画像 $D_1 \sim D_6$ を選択する。

【 0 1 2 0 】

画素 P_{14} においては、断層画像 D_2 , D_3 において線構造の特徴量が導出されている。このため、選択部 3 4 は、画素 P_{14} においては、線構造を含む 2 つの断層画像 D_2 ,

50

D 3 を選択する。

【 0 1 2 1 】

第 2 の実施形態においては、合成部 3 5 は、選択された断層画像に基づいて、合成 2 次元画像 C G 2 を導出する。

【 0 1 2 2 】

画素 P 1 においては、断層画像 D 3 , D 4 が選択されている。このため、合成部 3 5 は、断層画像 D 3 , D 4 における画素 P 1 の画素値の、対応する線構造画像 D S 3 , D S 4 について導出した特徴量に応じた重み付け平均値を導出し、重み付け平均値を合成 2 次元画像 C G 2 における画素 P 1 の画素値とする。なお、重み付け平均のための重み係数は、特徴量が多いほど大きい値となるように導出する。また、重み付け平均値に代えて、加算平均値を用いてもよい。以降の説明においても同様である。

10

【 0 1 2 3 】

画素 P 2 , P 4 , P 5 においては、断層画像 D 2 ~ D 4 が選択されている。このため、合成部 3 5 は、断層画像 D 2 ~ D 4 における画素 P 2 , P 4 , P 5 の画素値の、特徴量に応じた重み付け平均値を導出し、重み付け平均値を合成 2 次元画像 C G 2 における画素 P 2 , P 4 , P 5 の画素値とする。

【 0 1 2 4 】

画素 P 3 , P 8 ~ P 1 0 においては、断層画像 D 1 ~ D 3 が選択されている。このため、合成部 3 5 は、断層画像 D 1 ~ D 3 における画素 P 3 , P 8 ~ P 1 0 の画素値の、特徴量に応じた重み付け平均値を導出し、重み付け平均値を合成 2 次元画像 C G 2 における画素 P 3 , P 8 ~ P 1 0 の画素値とする。

20

【 0 1 2 5 】

画素 P 6 , P 7 , P 1 1 ~ P 1 3 , P 1 5 においては、すべての断層画像 D 1 ~ D 6 が選択されている。このため、合成部 3 5 は、断層画像 D 1 ~ D 6 における画素 P 6 , P 7 , P 1 1 ~ P 1 3 , P 1 5 の画素値の加算平均値を導出し、加算平均値を合成 2 次元画像 C G 2 における画素 P 6 , P 7 , P 1 1 ~ P 1 3 , P 1 5 の画素値とする。

【 0 1 2 6 】

画素 P 1 4 においては、2 つの断層画像 D 2 , D 3 が選択されている。このため、合成部 3 5 は、断層画像 D 2 , D 3 における画素 P 1 4 の画素値の、特徴量に応じた重み付け平均値を導出し、重み付け平均値を合成 2 次元画像 C G 2 における画素 P 1 4 の画素値とする。

30

【 0 1 2 7 】

表示制御部 3 6 は、合成部 3 5 が生成した合成 2 次元画像 C G 2 をディスプレイ 2 4 に表示する。図 1 7 は、第 2 の実施形態における合成 2 次元画像の表示画面を示す図である。図 1 7 に示すようにディスプレイ 2 4 の表示画面 5 0 には、合成 2 次元画像 C G 2 が表示されている。なお、図 1 7 に示す合成 2 次元画像 C G 2 は、図 7 に示す断層画像 D j から生成されたものである。なお、図 1 7 においては、図 7 に示す断層画像に含まれる構造についてのすべての参照番号を付与していない。図 1 7 に示す合成 2 次元画像 C G 2 においては、断層画像 D j に含まれる線構造、石灰化および低周波の構造が含まれる。

【 0 1 2 8 】

40

ここで、図 1 7 に示す合成 2 次元画像 C G 2 と、図 1 3 に示す第 1 の実施形態による合成 2 次元画像 C G 1 と比較すると、合成 2 次元画像 C G 2 においては、断層画像 D 1 に含まれる石灰化 K 1 1 と断層画像 D 2 に含まれる線構造 K 2 1 とが重なっている。また、断層画像 D 6 に含まれる石灰化 K 6 1 と断層画像 D 5 に含まれる線構造 K 5 1 とが重なっている。

【 0 1 2 9 】

次いで、第 2 の実施形態において行われる処理について説明する。図 1 8 は第 2 の実施形態において行われる処理を示すフローチャートである。なお、複数の断層画像 D j は予め取得されてストレージ 2 3 に保存されているものとする。操作者による処理開始の指示を入力デバイス 2 5 が受け付けると処理が開始され、線構造画像導出部 3 1 が、複数の断

50

層画像 D_j から線構造画像 DS_j を導出する (ステップ $ST11$)。次いで、特徴量導出部 32 が、複数の線構造画像 DS_j のそれぞれから線構造の特徴を表す特徴量を導出する (ステップ $ST12$)。

【0130】

次いで、選択部 34 が、断層画像 D_j のそれぞれにおける対応する画素毎に、特徴量に基づいて、断層画像を選択する (ステップ $ST13$)。すなわち、選択部 34 は、特徴量に基づいて、断層画像 D_j のそれぞれにおける対応する画素毎に、線構造を含む少なくとも 1 つの断層画像、または予め定められた断層画像を選択する。

【0131】

さらに、合成部 35 が、選択された断層画像に基づいて、合成 2 次元画像 $CG2$ を導出する (ステップ $ST14$)。そして、表示制御部 36 が合成 2 次元画像 $CG2$ をディスプレイ 24 に表示し (ステップ $ST15$)、処理を終了する。

【0132】

なお、上記第 2 の実施形態による画像処理装置 4A に、第 1 の実施形態と同様に、関心構造検出部 33 を設けるようにしてもよい。この場合、選択部 34 は、断層画像 D_j の対応する画素毎に、特徴量導出部 32 が導出した特徴量および関心構造検出部 33 が検出した石灰化に基づいて、合成 2 次元画像 $CG2$ の生成に用いる断層画像 D_j を選択するものとなる。

【0133】

また、上記第 2 の実施形態においては、選択部 34 が断層画像 D_j を選択し、合成部 35 が断層画像 D_j を合成することにより合成 2 次元画像 $CG2$ を導出しているが、これに限定されるものではない。第 1 の実施形態と同様に、選択部 34 が、特徴量導出部 32 が導出した特徴量に基づいて、合成 2 次元画像の生成に用いる高周波断層画像 DH_j を選択するようにしてもよい。この場合、合成部 35 は、第 1 の実施形態と同様に、合成高周波画像 ($GH2$ とする) および合成低周波画像 ($GL2$ とする) を導出し、合成高周波画像 $GH2$ および合成低周波画像 $GL2$ を合成することにより、合成 2 次元画像 $CG2$ を導出するものとすればよい。

【0134】

次いで、本開示の第 3 の実施形態について説明する。なお、第 3 の実施形態による画像処理装置の機能的な構成は、上記第 1 の実施形態による画像処理装置 4 の機能的な構成と同一であり、行われる処理のみが異なるため、ここでは装置についての詳細な説明は省略する。第 3 の実施形態においては、第 1 の実施形態と比較して、線構造画像導出部 31、特徴量導出部 32、選択部 34 および合成部 35 において行われる処理が第 1 の実施形態と異なる。

【0135】

第 3 の実施形態においては、線構造画像導出部 31 は、断層画像 D_j に対してハイパスフィルタによるフィルタリング処理を行うことにより、断層画像 D_j の高周波成分を表す高周波断層画像 DH_j を導出する。また、線構造画像導出部 31 は、断層画像 D_j に対してローパスフィルタによるフィルタリング処理を行うことにより、断層画像 D_j の低周波成分を表す低周波断層画像 DL_j を導出する。そして、線構造画像導出部 31 は、高周波断層画像 DH_j に基づいて、断層画像 D_j の高周波成分を強調する。具体的には、高周波断層画像 DH_j の画素値がしきい値以上となる画素に対応する、断層画像 D_j の画素の画素値を $a4$ 倍 ($a4 > 1$) する、あるいは一定値を加算することにより、断層画像 D_j の高周波成分を強調する。また、線構造画像導出部 31 は、低周波断層画像 DL_j に基づいて、高周波成分が強調された断層画像 D_j の低周波成分を抑制する。具体的には、低周波断層画像 DL_j の画素値がしきい値以上となる画素に対応する、断層画像 D_j の画素の画素値を $a5$ 倍 ($a5 < 1$) するあるいは一定値を減算することにより、高周波成分が強調された断層画像 D_j の低周波成分を抑制する。

【0136】

そして、線構造画像導出部 31 は、高周波成分が強調され、かつ低周波成分が抑制され

10

20

30

40

50

た断層画像 D_j の画素の繋がりの方角に合わせて、断層画像 D_j に対して方向性フィルタを適用することにより、高周波の線構造を抽出して線構造画像 DS_j を導出する。なお、第 3 の実施形態においては、線構造画像 DS_j の導出に際して、断層画像 D_j の高周波成分の強調のみを行うようにしてもよい。この場合、低周波断層画像 DL_j の導出は不用となる。また、第 3 の実施形態においては、線構造画像 DS_j の導出に際して、断層画像 D_j の低周波成分の抑制のみを行うようにしてもよい。この場合、高周波断層画像 DH_j の導出は不用となる。

【 0 1 3 7 】

第 3 の実施形態においては、選択部 3 4 は、断層画像 D_j の対応する画素毎に、特徴量導出部 3 2 が導出した特徴量および関心構造検出部 3 3 が検出した石灰化に基づいて、合成 2 次元画像の生成に用いる断層画像 D_j を選択する。この際、選択部 3 4 は、まず関心構造検出部 3 3 が検出した石灰化に基づいて、断層画像 D_j を選択する。すなわち、断層画像 D_j 間の対応する画素において石灰化が検出されている場合、第 3 の実施形態においては、選択部 3 4 は、まず、石灰化が検出された断層画像 D_j を選択する。この際、第 1 の実施形態と同様に、石灰化を検出した際の分散値がしきい値 Th_8 以上となる予め定められた数（例えば最大 3 つ）の断層画像 D_j を選択する。なお、石灰化が検出されたすべての断層画像 D_j を選択するものとしてもよい。また、石灰化を検出した際の分散値が最大となる 1 つの断層画像 D_j を選択するようにしてもよい。

【 0 1 3 8 】

例えば、6 つの断層画像 $D_1 \sim D_6$ の互いに対応する注目画素について、断層画像 D_2 , D_3 において石灰化が検出されている場合、選択部 3 4 は、注目画素については、断層画像 D_2 , D_3 を、合成 2 次元画像の生成に用いる断層画像として選択する。なお、注目画素について、予め定められた数より多い断層画像において石灰化が検出されている場合、石灰化を検出した際の分散値が、上位予め定められた数となる断層画像を選択するようにすればよい。

【 0 1 3 9 】

そして、第 3 の実施形態においては、選択部 3 4 は、石灰化が検出されなかった画素について、断層画像 D_j 間の対応する画素毎に、特徴量に基づいて、線構造を含む少なくとも 1 つの断層画像または予め定められた断層画像を選択する。線構造を含む少なくとも 1 つの断層画像または予め定められた断層画像の選択は、上記第 2 の実施形態と同様に行われる。

【 0 1 4 0 】

図 1 9 は第 3 の実施形態における断層画像の選択を説明するための図である。なお、図 1 9 においては、図 7 に示す 6 つの断層画像 $D_1 \sim D_6$ からの断層画像の選択について説明する。また、図 1 9 においては、断層画像 $D_1 \sim D_6$ を模式的に 1 次元で示している。なお、図 1 9 の図示の仕方は、断層画像 $D_1 \sim D_6$ を使用している点を除いて図 1 0 と同一である。

【 0 1 4 1 】

図 1 9 に示すように、画素 P_4 , P_6 , P_9 , P_{14} において石灰化が検出されている。画素 P_4 においては、断層画像 D_3 , D_4 において石灰化が検出されている。このため、選択部 3 4 は、画素 P_4 においては断層画像 D_3 , D_4 を選択する。画素 P_6 においては、断層画像 D_2 において石灰化が検出されている。このため、選択部 3 4 は、画素 P_6 においては断層画像 D_2 を選択する。画素 P_9 においては、断層画像 $D_4 \sim D_6$ において石灰化が検出されている。このため、選択部 3 4 は、画素 P_9 においては断層画像 $D_4 \sim D_6$ を選択する。画素 P_{14} においては、断層画像 $D_3 \sim D_5$ において石灰化が検出されている。このため、選択部 3 4 は、画素 P_{14} においては断層画像 $D_3 \sim D_5$ を選択する。

【 0 1 4 2 】

そして、選択部 3 4 は、石灰化が検出されていない画素 $P_1 \sim P_3$, P_5 , P_7 , P_8 , $P_{10} \sim P_{13}$, P_{15} においては、断層画像 D_j の対応する画素毎に、特徴量導出部 3 2 が導出した特徴量に基づいて、断層画像 D_j を選択する。

【 0 1 4 3 】

次に、石灰化が検出されなかった画素 P 1 ~ P 3 , P 5 , P 7 , P 8 , P 1 0 ~ P 1 3 , P 1 5 について説明する。

【 0 1 4 4 】

画素 P 1 においては、断層画像 D 3 , D 4 において、線構造の特徴量が導出されている。この場合、選択部 3 4 は、画素 P 1 においては、線構造を含む 2 つの断層画像 D 3 , D 4 を選択する。

【 0 1 4 5 】

画素 P 2 においては、断層画像 D 1 ~ D 5 において線構造の特徴量が導出され、このうち特徴量の大きさが上位 3 つとなる断層画像は、断層画像 D 2 ~ D 4 である。このため、選択部 3 4 は、画素 P 2 においては、線構造を含む 3 つの断層画像 D 2 ~ D 4 を選択する。

10

【 0 1 4 6 】

画素 P 3 においては、断層画像 D 1 ~ D 5 において線構造の特徴量が導出され、このうち特徴量の大きさが上位 3 つとなる断層画像は、断層画像 D 1 ~ D 3 である。このため、選択部 3 4 は、画素 P 3 においては、線構造を含む 3 つの断層画像 D 1 ~ D 3 を選択する。

【 0 1 4 7 】

画素 P 5 においては、3 つの断層画像 D 2 ~ D 4 において線構造の特徴量が導出されている。このため、選択部 3 4 は、画素 P 5 においては、線構造を含む 3 つの断層画像 D 2 ~ D 4 を選択する。

【 0 1 4 8 】

画素 P 7 においては、いずれの断層画像 D 1 ~ D 6 においても、線構造の特徴量は導出されていない。このため、選択部 3 4 は、画素 P 7 においては、予め定められた断層画像としてすべての断層画像 D 1 ~ D 6 を選択する。

20

【 0 1 4 9 】

画素 P 8 においては、3 つの断層画像 D 1 ~ D 3 において線構造の特徴量が導出されている。このため、選択部 3 4 は、画素 P 8 においては、線構造を含む 3 つの断層画像 D 1 ~ D 3 を選択する。

【 0 1 5 0 】

画素 P 1 0 においては、断層画像 D 1 ~ D 4 において線構造の特徴量が導出され、このうち特徴量の大きさが上位 3 つとなる断層画像は、断層画像 D 1 ~ D 3 である。このため、選択部 3 4 は、画素 P 1 0 においては、線構造を含む 3 つの断層画像 D 1 ~ D 3 を選択する。

30

【 0 1 5 1 】

画素 P 1 1 ~ P 1 3 , P 1 5 においては、いずれの断層画像 D 1 ~ D 6 においても、線構造の特徴量は導出されていない。このため、選択部 3 4 は、画素 P 1 1 ~ P 1 3 , P 1 5 においては、予め定められた断層画像としてすべての断層画像 D 1 ~ D 6 を選択する。

【 0 1 5 2 】

第 3 の実施形態においては、合成部 3 5 は、線構造および石灰化の領域においては、選択された断層画像に基づいて、線構造および石灰化以外の領域においては、予め定められた断層画像に基づいて合成 2 次元画像 C G 3 を導出する。

40

【 0 1 5 3 】

画素 P 1 においては、断層画像 D 3 , D 4 が選択されている。このため、合成部 3 5 は、断層画像 D 3 , D 4 における画素 P 1 の画素値の、対応する線構造画像 D S 3 , D S 4 について導出した特徴量に応じた重み付け平均値を導出し、重み付け平均値を合成 2 次元画像 C G 3 における画素 P 1 の画素値とする。なお、重み付け平均のための重み係数は、特徴量が多いほど大きい値となるように導出する。また、重み付け平均値に代えて、加算平均値を用いてもよい。以降の説明においても同様である。

【 0 1 5 4 】

画素 P 2 , P 5 においては、断層画像 D 2 ~ D 4 が選択されている。このため、合成部 3 5 は、断層画像 D 2 ~ D 4 における画素 P 2 , P 5 の画素値の、特徴量に応じた重み付

50

け平均値を導出し、重み付け平均値を合成２次元画像ＣＧ３における画素Ｐ２，Ｐ５の画素値とする。

【０１５５】

画素Ｐ３，Ｐ８，Ｐ１０においては、断層画像Ｄ１～Ｄ３が選択されている。このため、合成部３５は、断層画像Ｄ１～Ｄ３における画素Ｐ３，Ｐ８，Ｐ１０の画素値の、特徴量に応じた重み付け平均値を導出し、重み付け平均値を合成２次元画像ＣＧ３における画素Ｐ３，Ｐ８，Ｐ１０の画素値とする。

【０１５６】

画素Ｐ４においては、断層画像Ｄ３，Ｄ４が選択されている。このため、合成部３５は、断層画像Ｄ３，Ｄ４における画素Ｐ４の画素値の、石灰化検出の際に用いた分散値に応じた重み付け平均値を導出し、重み付け平均値を合成２次元画像ＣＧ３における画素Ｐ４の画素値とする。

10

【０１５７】

画素Ｐ６においては、断層画像Ｄ２が選択されている。このため、合成部３５は、断層画像Ｄ２における画素Ｐ６の画素値を、合成２次元画像ＣＧ３における画素Ｐ６の画素値とする。

【０１５８】

画素Ｐ７，Ｐ１１～Ｐ１３，Ｐ１５においては、すべての断層画像Ｄ１～Ｄ６が選択されている。このため、合成部３５は、断層画像Ｄ１～Ｄ６における画素Ｐ７，Ｐ１１～Ｐ１３，Ｐ１５の画素値の加算平均値を導出し、加算平均値を合成２次元画像ＣＧ３における画素Ｐ７，Ｐ１１～Ｐ１３，Ｐ１５の画素値とする。

20

【０１５９】

画素Ｐ９においては、断層画像Ｄ４～Ｄ６が選択されている。このため、合成部３５は、断層画像Ｄ４～Ｄ６における画素Ｐ９の画素値の、石灰化検出の際に用いた分散値に応じた重み付け平均値を導出し、重み付け平均値を合成２次元画像ＣＧ３における画素Ｐ９の画素値とする。

【０１６０】

画素Ｐ１４においては、断層画像Ｄ３～Ｄ５が選択されている。このため、合成部３５は、断層画像Ｄ３～Ｄ６における画素Ｐ１４の画素値の、石灰化検出の際に用いた分散値に応じた重み付け平均値を導出し、重み付け平均値を合成２次元画像ＣＧ３における画素Ｐ１４の画素値とする。

30

【０１６１】

なお、第３の実施形態において導出される合成２次元画像ＣＧ３は、第１の実施形態において導出される合成２次元画像ＣＧ１と実質的に同一となる。

【０１６２】

次いで、第３の実施形態において行われる処理について説明する。図２０は、第３の実施形態において行われる処理を示すフローチャートである。なお、複数の断層画像Ｄ_jは予め取得されてストレージ２３に保存されているものとする。操作者による処理開始の指示を入力デバイス２５が受け付けると処理が開始され、線構造画像導出部３１が、複数の断層画像Ｄ_jから線構造画像ＤＳ_jを導出する（ステップＳＴ２１）。次いで、特徴量導出部３２が、複数の線構造画像ＤＳ_jのそれぞれから線構造の特徴を表す特徴量を導出する（ステップＳＴ２２）。また、関心構造検出部３３が、複数の断層画像Ｄ_jのそれぞれから石灰化を関心構造として検出する（ステップＳＴ２３）。

40

【０１６３】

次いで、選択部３４が、断層画像Ｄ_jのそれぞれにおける対応する画素毎に、検出された石灰化に基づいて、石灰化を含む少なくとも１つの断層画像を選択する（ステップＳＴ２４）。また、選択部３４が、断層画像Ｄ_jのそれぞれにおける対応する画素毎に、特徴量に基づいて、断層画像を選択する（ステップＳＴ２５）。すなわち、選択部３４は、特徴量に基づいて、断層画像Ｄ_jのそれぞれにおける対応する画素毎に、線構造を含む少なくとも１つの断層画像、または予め定められた断層画像を選択する。

50

【 0 1 6 4 】

さらに、合成部 3 5 が、選択された断層画像に基づいて、合成 2 次元画像 C G 3 を導出する（ステップ S T 2 6）。そして、表示制御部 3 6 が合成 2 次元画像 C G 3 をディスプレイ 2 4 に表示し（ステップ S T 2 7）、処理を終了する。

【 0 1 6 5 】

なお、上記第 1 の実施形態においては、関心構造検出部 3 3 により断層画像 D j から石灰化を関心構造として検出し、石灰化にも基づいて断層画像を選択しているが、これに限定されるものではない。第 1 の実施形態において、関心構造検出部 3 3 を設けることなく、特徴量にのみ基づいて、高周波断層画像 D H j を選択するようにしてもよい。

【 0 1 6 6 】

また、上記第 1 の実施形態においては、特徴量導出部 3 2 において、第 2 または第 3 の実施形態と同様に、特徴量を導出するようにしてもよい。

【 0 1 6 7 】

また、上記第 1 および第 2 の実施形態において、線構造画像導出部 3 1 において、第 3 の実施形態と同様に、線構造画像を導出するようにしてもよい。

【 0 1 6 8 】

また、上記第 1 の実施形態においては、高周波断層画像 D H j について、対応する画素の画素値の重み付け平均値等を算出することにより、合成高周波画像を予め導出しておくようにしてもよい。予め導出された合成高周波画像を事前合成高周波画像と称する。この場合、選択部 3 4 においては、線構造を含む高周波断層画像または石灰化が検出された高周波断層画像のみを選択するようにする。またこの場合、合成部 3 5 においては、事前合成高周波画像を用いて、合成高周波画像 G H 1 を導出する。

【 0 1 6 9 】

具体的には、高周波断層画像 D H j の各画素のうち、線構造を含む高周波断層画像が選択された画素および石灰化が検出された高周波断層画像が選択された画素については、線構造を含む高周波断層画像および石灰化が検出された高周波断層画像を用いて合成高周波画像 G H 1 の画素値を導出する。一方、線構造を含む高周波断層画像または石灰化が検出された高周波断層画像が選択されなかった画素については、事前合成高周波画像の対応する画素の画素値を、合成高周波画像 G H 1 の画素値とする。なお、線構造を含む高周波断層画像および石灰化が検出された高周波断層画像を用いて合成高周波画像 G H 1 の画素値を導出し、導出した画素値を、事前合成高周波画像に加算することにより、合成高周波画像 G H 1 を導出するようにしてもよい。

【 0 1 7 0 】

また、上記第 2 および第 3 の実施形態においては、断層画像 D j について、対応する画素の画素値の重み付け平均値等を算出することにより、合成 2 次元画像を予め導出しておくようにしてもよい。予め導出された合成 2 次元画像を事前合成画像と称する。この場合、選択部 3 4 においては、線構造を含む断層画像または石灰化が検出された断層画像のみを選択するようにする。またこの場合、合成部 3 5 においては、事前合成画像を用いて、合成 2 次元画像 C G 2 , C G 3 を導出する。

【 0 1 7 1 】

具体的には、断層画像 D j の各画素のうち、線構造を含む断層画像および石灰化が検出された断層画像が選択された画素については、線構造を含む断層画像および石灰化が検出された断層画像を用いて合成 2 次元画像 C G 2 , C G 3 の画素値を導出する。一方、線構造を含む断層画像または石灰化が検出された断層画像が選択されなかった画素については、事前合成画像の対応する画素の画素値を、合成 2 次元画像 C G 2 , C G 3 の画素値とする。なお、線構造を含む断層画像および石灰化が検出された断層画像を用いて合成 2 次元画像 C G 2 , C G 3 の画素値を導出し、導出した画素値を、事前合成画像に加算することにより、合成 2 次元画像 C G 2 , C G 3 を導出するようにしてもよい。

【 0 1 7 2 】

また、上記各実施形態における放射線は、とくに限定されるものではなく、X 線その他、

10

20

30

40

50

線または 線等を適用することができる。

【 0 1 7 3 】

また、上記各実施形態において、例えば、画像取得部 3 0、線構造画像導出部 3 1、特徴量導出部 3 2、関心構造検出部 3 3、選択部 3 4、合成部 3 5 および表示制御部 3 6 といった各種の処理を実行する処理部 (Processing Unit) のハードウェア的な構造としては、次に示す各種のプロセッサ (Processor) を用いることができる。上記各種のプロセッサには、上述したように、ソフトウェア (プログラム) を実行して各種の処理部として機能する汎用的なプロセッサである CPU に加えて、FPGA (Field Programmable Gate Array) 等の製造後に回路構成を変更可能なプロセッサであるプログラマブルロジックデバイス (Programmable Logic Device :PLD)、ASIC (Application Specific Integrated Circuit) 等の特定の処理を実行させるために専用に設計された回路構成を有するプロセッサである専用電気回路等が含まれる。

10

【 0 1 7 4 】

1 つの処理部は、これらの各種のプロセッサのうちの 1 つで構成されてもよいし、同種または異種の 2 つ以上のプロセッサの組み合わせ (例えば、複数の FPGA の組み合わせまたは CPU と FPGA との組み合わせ) で構成されてもよい。また、複数の処理部を 1 つのプロセッサで構成してもよい。

【 0 1 7 5 】

複数の処理部を 1 つのプロセッサで構成する例としては、第 1 に、クライアントおよびサーバ等のコンピュータに代表されるように、1 つ以上の CPU とソフトウェアとの組み合わせで 1 つのプロセッサを構成し、このプロセッサが複数の処理部として機能する形態がある。第 2 に、システムオンチップ (System On Chip:SoC) 等に代表されるように、複数の処理部を含むシステム全体の機能を 1 つの IC (Integrated Circuit) チップで実現するプロセッサを使用する形態がある。このように、各種の処理部は、ハードウェア的な構造として、上記各種のプロセッサの 1 つ以上を用いて構成される。

20

【 0 1 7 6 】

さらに、これらの各種のプロセッサのハードウェア的な構造としては、より具体的には、半導体素子等の回路素子を組み合わせた電気回路 (Circuitry) を用いることができる。

【符号の説明】

【 0 1 7 7 】

30

- 1 マンモグラフィ撮影装置
- 2 コンソール
- 3 画像保存システム
- 4, 4 A 画像処理装置
- 1 1 回転軸
- 1 2 アーム部
- 1 3 撮影台
- 1 4 放射線照射部
- 1 5 放射線検出器
- 1 5 A 検出面
- 1 6 放射線源
- 1 7 圧迫板
- 2 1 CPU
- 2 2 画像処理プログラム
- 2 3 ストレージ
- 2 4 ディスプレイ
- 2 5 入力デバイス
- 2 6 メモリ
- 2 7 ネットワーク I / F
- 2 8 バス

40

50

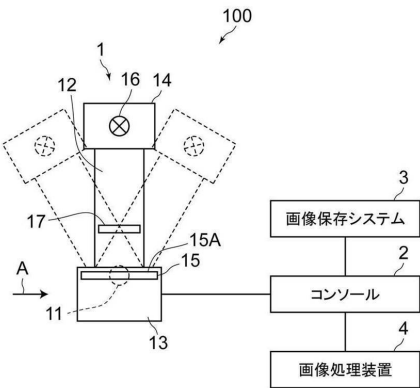
- 3 0 画像取得部
- 3 1 線構造画像導出部
- 3 2 特徴量導出部
- 3 3 関心構造検出部
- 3 4 選択部
- 3 5 合成部
- 3 6 表示制御部
- 5 0 表示画面
- 1 0 0 放射線撮影システム
- C G 1 ~ C G 3 合成 2 次元画像
- D j (j = 1 ~ m)、D j 断層画像
- D L j 低周波断層画像
- D H j 高周波断層画像
- D S j 線構造画像
- G i (i = 1 ~ n) 投影画像
- K 1 1 , K 6 1 石灰化
- K 2 1 ~ K 2 3、K 3 1 , K 3 2 , K 4 1 , K 4 2 , K 5 1 , K 5 2 線構造
- K 2 3 , K 3 3 , K 4 3 , K 5 3 低周波の構造
- M 乳房
- P 1 ~ P 1 5 画素
- S i (i = 1 ~ n) 線源位置
- S c 基準線源位置
- X 0 光軸

10

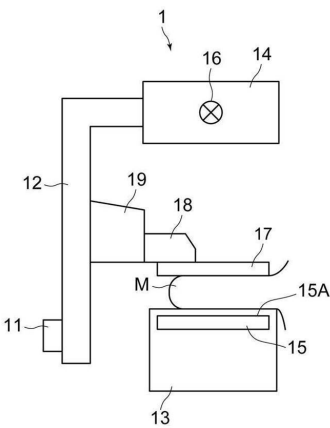
20

【図面】

【図 1】



【図 2】

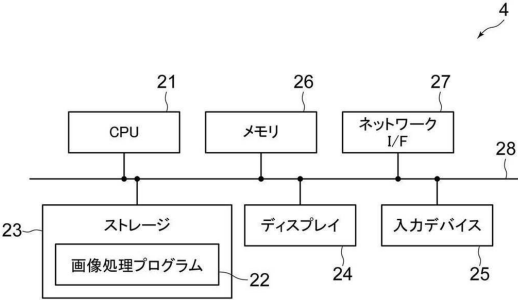


30

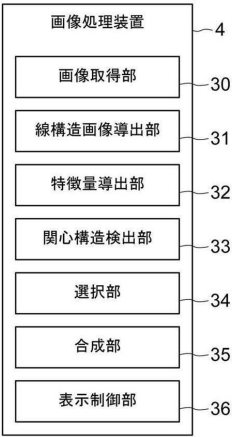
40

50

【図 3】

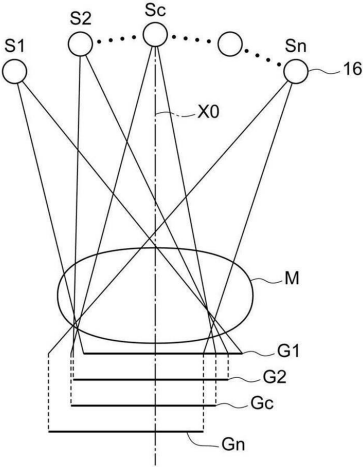


【図 4】

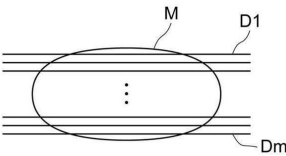


10

【図 5】



【図 6】



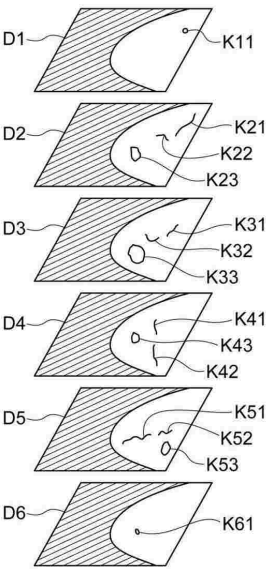
20

30

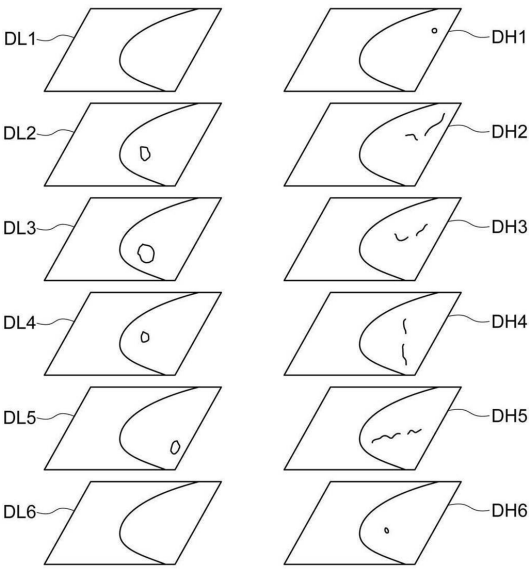
40

50

【図 7】

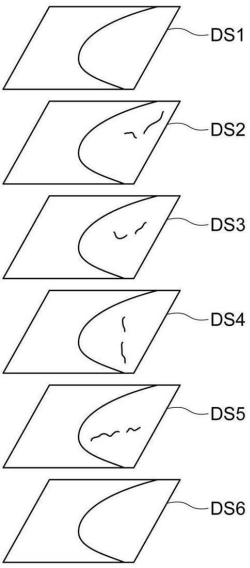


【図 8】

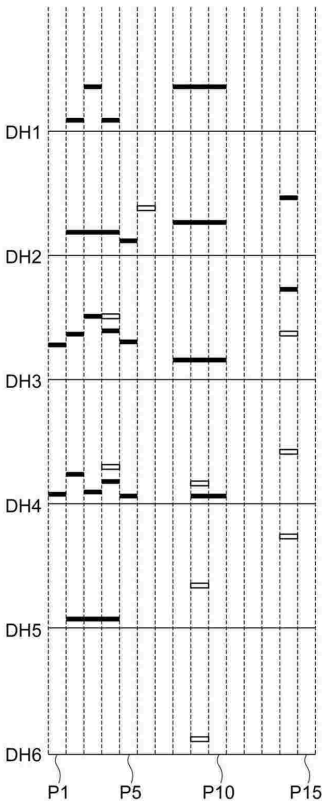


10

【図 9】



【図 10】



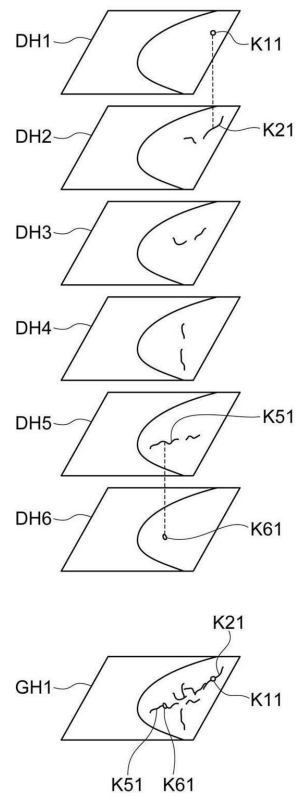
20

30

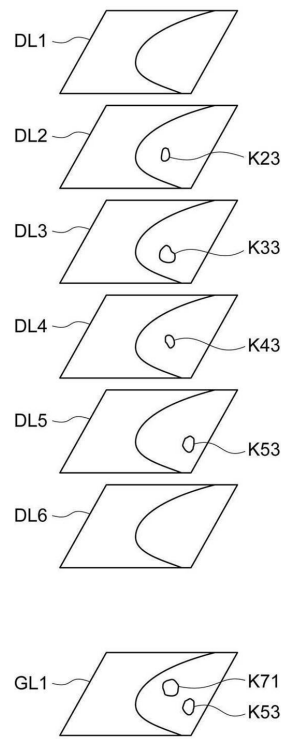
40

50

【図 1 1】



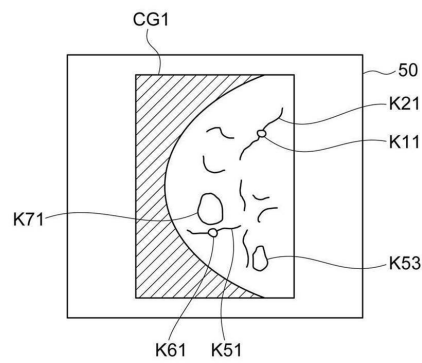
【図 1 2】



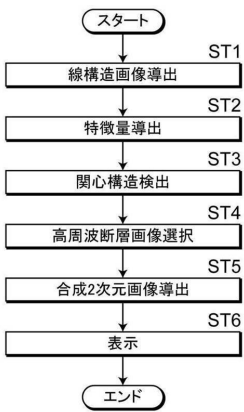
10

20

【図 1 3】



【図 1 4】

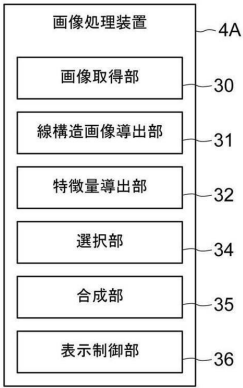


30

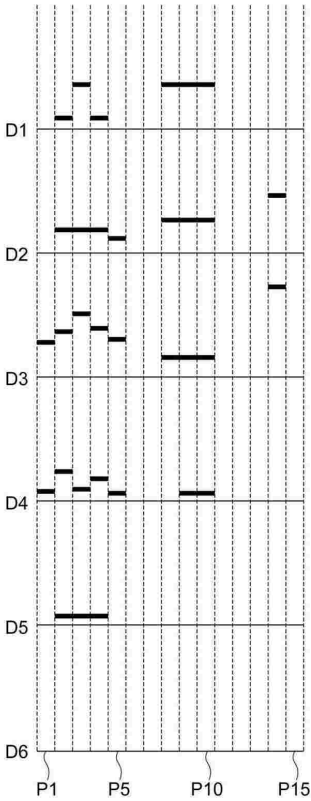
40

50

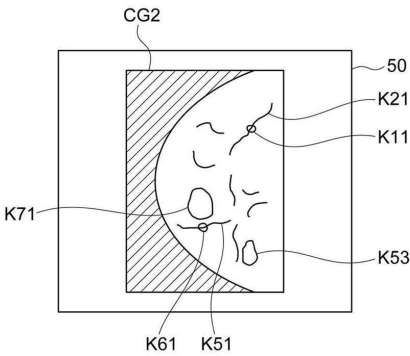
【図 1 5】



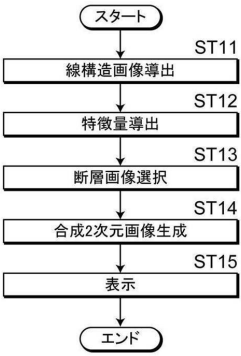
【図 1 6】



【図 1 7】



【図 1 8】



10

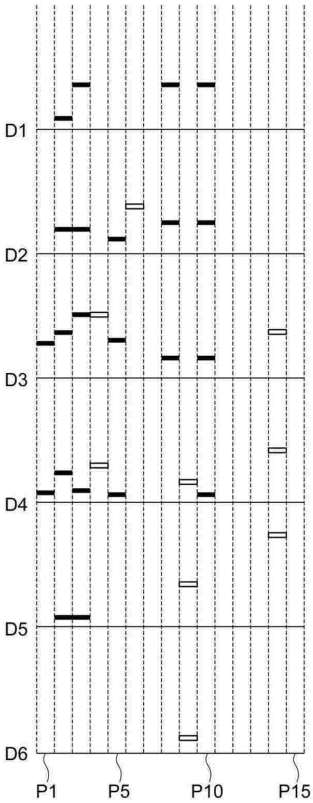
20

30

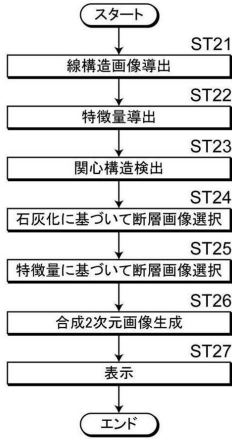
40

50

【図 19】



【図 20】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 1 8 - 0 4 7 2 5 6 (J P , A)
特表 2 0 2 0 - 5 1 2 1 3 0 (J P , A)
特開 2 0 2 0 - 0 9 6 7 5 2 (J P , A)
特表 2 0 1 6 - 5 3 3 8 0 3 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
A 6 1 B 6 / 0 0 - 6 / 5 8