

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7297628号
(P7297628)

(45)発行日 令和5年6月26日(2023.6.26)

(24)登録日 令和5年6月16日(2023.6.16)

(51)国際特許分類		F I	
G 0 6 T	1/00 (2006.01)	G 0 6 T	1/00 2 9 0
A 6 1 B	6/00 (2006.01)	A 6 1 B	6/00 3 5 0 Z
A 6 1 B	6/03 (2006.01)	A 6 1 B	6/03 3 6 0 Z
A 6 1 B	5/055(2006.01)	A 6 1 B	5/055 3 8 0
A 6 1 B	3/10 (2006.01)	A 6 1 B	3/10 1 0 0
請求項の数 22 (全105頁) 最終頁に続く			
(21)出願番号	特願2019-183346(P2019-183346)	(73)特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22)出願日	令和1年10月3日(2019.10.3)	(74)代理人	100126240 弁理士 阿部 琢磨
(65)公開番号	特開2020-166813(P2020-166813 A)	(74)代理人	100124442 弁理士 黒岩 創吾
(43)公開日	令和2年10月8日(2020.10.8)	(72)発明者	岩瀬 好彦 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キ ヤノン株式会社内
審査請求日	令和4年4月6日(2022.4.6)	(72)発明者	山添 学 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キ ヤノン株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2019-44265(P2019-44265)	(72)発明者	内田 弘樹 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キ 最終頁に続く
(32)優先日	平成31年3月11日(2019.3.11)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		
(31)優先権主張番号	特願2019-68895(P2019-68895)		
(32)優先日	平成31年3月29日(2019.3.29)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

(54)【発明の名称】 医用画像処理装置、医用画像処理方法及びプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

被検者の所定部位の医用画像である第1の画像を取得する取得部と、
被検者の所定部位の複数の深度範囲に対応する複数の医用画像のそれぞれにおける少なくとも一部の領域の画素値に関する情報に応じた大きさのノイズが該複数の深度範囲に対応する複数の医用画像のそれぞれにおける少なくとも一部の領域に付加された学習データを用いて得られた学習済みモデルを用いて、前記第1の画像から、該第1の画像と比べて高画質化された第2の画像を生成する高画質化部と、
を備える、医用画像処理装置。

【請求項2】

前記学習済みモデルは、前記複数の深度範囲に対応する複数の医用画像のそれぞれにおける少なくとも一部の領域の画素値を用いて得られた統計値の分布に応じた大きさのノイズが該複数の深度範囲に対応する複数の医用画像のそれぞれにおける少なくとも一部の領域に付加された学習データを用いて得られた学習済みモデルである、請求項1に記載の医用画像処理装置。

【請求項3】

前記取得部は、被検者の所定部位の3次元データにおける一部の深度範囲に対応する医用画像を前記第1の画像として取得する、請求項1又は2に記載の医用画像処理装置。

【請求項4】

前記学習済みモデルは、重ね合わせ処理により得られた医用画像に対して、互いに異なる

パターンのノイズを付加して得られた複数の医用画像をペア画像として含む学習データを用いて得られた学習済モデルである、請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の医用画像処理装置。

【請求項 5】

前記複数の深度範囲は、被検者の所定部位の深さ方向において一部が互いに重複する隣り合う 2 つの深度範囲を含む、請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の医用画像処理装置。

【請求項 6】

前記第 1 の画像は、医用画像における少なくとも一部の領域の画素値を上げるように又は下げるように補正して得た医用画像であり、

前記第 1 の画像が画素値を上げるように補正して得た医用画像である場合には、前記第 2 の画像の画素値を下げるように補正が行われ、前記第 1 の画像が画素値を下げるように補正して得た医用画像である場合には、前記第 2 の画像の画素値を上げるように補正が行われる、請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の医用画像処理装置。

【請求項 7】

前記学習済モデルは、高解像度化処理又は低解像度化処理によって生成された医用画像を含む学習データを用いて得られた学習済モデルである、請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の医用画像処理装置。

【請求項 8】

前記取得部は、被検者の所定部位の深度範囲のうち、検者からの指示に応じて指定された少なくとも一部の深度範囲に対応する医用画像を前記第 1 の画像として取得する、請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の医用画像処理装置。

【請求項 9】

検者からの指示に応じて、被検者の所定部位の 3 次元の医用画像データにおける該所定部位の深度範囲のうち少なくとも一部の深度範囲を指定する指定手段を更に備え、

前記取得部は、前記指定された少なくとも一部の深度範囲に対応する医用画像を前記第 1 の画像として取得する、請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の医用画像処理装置。

【請求項 10】

前記取得部は、被検者の所定部位の 3 次元データの少なくとも一部を用いて得られた医用画像であって、複数の深度範囲に対応する複数の医用画像を前記第 1 の画像として取得し、

前記高画質化部は、前記学習済モデルを用いて、前記第 1 の画像から、該第 1 の画像と比べて高画質化された複数の画像を前記第 2 の画像として生成する、請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の医用画像処理装置。

【請求項 11】

被検者の所定部位の深さ方向に交差する方向における前記所定部位の異なる位置を撮影して得られた互いに隣接する複数の医用画像を前記第 1 の画像として用いることで得られた複数の前記第 2 の画像を用いて広画角画像を生成する広画角画像生成部を更に備える、請求項 1 乃至 10 のいずれか一項に記載の医用画像処理装置。

【請求項 12】

検者からの指示に応じて、前記第 1 の画像の解析結果の表示と前記第 2 の画像の解析結果の表示とのうち一方の表示から他方の表示に切り替えるように、表示部を制御する表示制御部を更に備える、請求項 1 乃至 11 のいずれか一項に記載の医用画像処理装置。

【請求項 13】

前記第 1 の画像と前記第 2 の画像とのうち少なくとも一つの画像における少なくとも一部の領域に関する情報を用いて得られた割合により前記第 1 の画像と前記第 2 の画像とを合成して得られた合成画像を表示部に表示させる表示制御部を更に備える、請求項 1 乃至 11 のいずれか一項に記載の医用画像処理装置。

【請求項 14】

前記第 1 の画像と前記第 2 の画像とを合成する割合は、前記少なくとも一部の領域における画素値を前記情報として用いることにより得られる、請求項 13 に記載の医用画像処

10

20

30

40

50

理装置。

【請求項 15】

前記学習済モデルは、前記第1の画像のOCTA撮影に用いられるOCT撮影装置よりも高性能なOCT撮影装置によってOCTA撮影されて得た画像、又は前記第1の画像のOCTA撮影工程よりも工数の多いOCTA撮影工程で取得されて得た画像を含む学習データを用いて得られた学習済モデルである、請求項1乃至14のいずれか一項に記載の医用画像処理装置。

【請求項 16】

前記高画質化部は、前記第1の画像を複数の二次元の画像に分割して前記学習済モデルに入力し、前記学習済モデルからの複数の出力画像を統合することで、前記第2の画像を生成する、請求項1乃至15のいずれか一項に記載の医用画像処理装置。

10

【請求項 17】

前記学習済モデルは、互いの位置関係が対応する複数の医用画像をペア画像として含む学習データを用いて得られた学習済モデルであり、

前記高画質化部は、前記ペア画像の画像サイズに対応する画像サイズで、前記第1の画像を前記複数の二次元の画像に分割して前記学習済モデルに入力する、請求項16に記載の医用画像処理装置。

【請求項 18】

前記学習済モデルは、医用画像と該医用画像の外部の周辺とを含む領域に対して、隣接する部分領域の一部が互いに重複するように設定された複数の部分領域の画像を含む学習データを用いて得られた学習済モデルである、請求項16又は17に記載の医用画像処理装置。

20

【請求項 19】

前記学習済モデルは、重ね合わせ処理により得られた医用画像を含む学習データを用いて得られた学習済モデルである、請求項1乃至18のいずれか一項に記載の医用画像処理装置。

【請求項 20】

前記医用画像は、OCTAの正面画像又はOCTの断層画像である、請求項1乃至19のいずれか一項に記載の医用画像処理装置。

【請求項 21】

被検者の所定部位の医用画像である第1の画像を取得することと、
被検者の所定部位の複数の深度範囲に対応する複数の医用画像のそれぞれにおける少なくとも一部の領域の画素値に関する情報に応じた大きさのノイズが該複数の深度範囲に対応する複数の医用画像のそれぞれにおける少なくとも一部の領域に付加された学習データを用いて得られた学習済モデルを用いて、前記第1の画像から、該第1の画像と比べて高画質化された第2の画像を生成することと、

30

を含む、医用画像処理方法。

【請求項 22】

プロセッサによって実行されると、該プロセッサに請求項21に記載の医用画像処理方法の各工程を実行させる、プログラム。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、医用画像処理装置、医用画像処理方法及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

医療分野においては、被検者の疾患を特定したり、疾患の程度を観察したりするために、様々な撮影装置によって画像が取得され、医療従事者による画像診断が行われている。撮影装置の種類には、例えば放射線科分野では、X線撮影装置、X線コンピュータ断層撮影（CT）装置、磁気共鳴イメージング（MRI）装置、陽電子放出断層撮影（PET）

50

装置、及び単一光子放射断層撮影（SPECT）装置等がある。また、例えば眼科分野では、眼底カメラ、走査型レーザ検眼鏡（SLO）、光コヒーレンストモグラフィ（OCT）装置、及びOCTアンギオグラフィ（OCTA）装置がある。

【0003】

画像診断を正確に行ったり、短時間で完了したりするためには、撮影装置によって取得される画像のノイズの少なさや解像度・空間分解能の高さ、適切な階調といった画質の高さが重要となる。また、観察したい部位や病変が強調されている画像も役に立つことがある。

【0004】

しかしながら、多くの撮影装置においては、画質が高いなどの、画像診断に適した画像を取得するためになんらかの代償が必要である。例えば、画質が高い画像を取得するために高性能な撮影装置を購入する方法があるが、低性能なものよりも多くの投資が必要になる場合が多い。

【0005】

また、例えばCTでは、ノイズが少ない画像を取得するために被検者の被曝線量を増やさなければならない場合がある。また、例えばMRIでは、観察したい部位が強調された画像を取得するために副作用のリスクがある造影剤を使用する場合がある。また、例えばOCTでは、撮影する領域が広かったり、高い空間分解能が必要であったりする場合には、撮影時間がより長くなる場合がある。また、例えば、一部の撮影装置では、画質が高い画像を取得するために複数回画像を取得する必要があり、その分撮影に時間がかかる。

【0006】

特許文献1には、医用技術の急激な進歩や緊急時の簡易な撮影に対応するため、以前に取得した画像を、人工知能エンジンによって、より解像度の高い画像に変換する技術が開示されている。このような技術によれば、例えば、代償の少ない簡易な撮影によって取得された画像をより解像度の高い画像に変換することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【文献】特開2018-5841号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、解像度の高い画像であっても、画像診断に適した画像とは言えない場合もある。例えば、解像度の高い画像であっても、ノイズが多い場合やコントラストが低い場合等には観察すべき対象が適切に把握できないことがある。

【0009】

これに対し、本発明の目的の一つは、従来よりも画像診断に適した画像を生成することができる医用画像処理装置、医用画像処理方法及びプログラムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の一実施態様に係る医用画像処理装置は、
被検者の所定部位の医用画像である第1の画像を取得する取得部と、
被検者の所定部位の複数の深度範囲に対応する複数の医用画像のそれぞれにおける少なくとも一部の領域の画素値に関する情報に応じた大きさのノイズが該複数の深度範囲に対応する複数の医用画像のそれぞれにおける少なくとも一部の領域に付加された学習データを用いて得られた学習済みモデルを用いて、前記第1の画像から、該第1の画像と比べて高画質化された第2の画像を生成する高画質化部と、を備える。

【0011】

また、本発明の他の実施態様に係る医用画像処理方法は、
被検者の所定部位の医用画像である第1の画像を取得することと、

10

20

30

40

50

被検者の所定部位の複数の深度範囲に対応する複数の医用画像のそれぞれにおける少なくとも一部の領域の画素値に関する情報に応じた大きさのノイズが該複数の深度範囲に対応する複数の医用画像のそれぞれにおける少なくとも一部の領域に付加された学習データを用いて得られた学習済みモデルを用いて、前記第1の画像から、該第1の画像と比べて高画質化された第2の画像を生成することと、を含む。

【発明の効果】

【0012】

本発明の一つによれば、従来よりも画像診断に適した画像を生成することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】高画質化処理に関するニューラルネットワークの構成の一例を示す。

【図2】撮影箇所推定処理に関するニューラルネットワークの構成の一例を示す。

【図3】画像の真贋評価処理に関するニューラルネットワークの構成の一例を示す。

【図4】第1の実施形態に係る画像処理装置の概略的な構成の一例を示す。

【図5】第1の実施形態に係る画像処理の流れの一例を示すフロー図である。

【図6】第1の実施形態に係る画像処理の流れの別例を示すフロー図である。

【図7】第2の実施形態に係る画像処理の流れの一例を示すフロー図である。

【図8】第4の実施形態に係る画像処理を説明するための図である。

【図9】第4の実施形態に係る高画質化処理の流れの一例を示すフロー図である。

【図10】第5の実施形態に係る画像処理を説明するための図である。

【図11】第5の実施形態に係る高画質化処理の流れの一例を示すフロー図である。

【図12】第6の実施形態に係る画像処理を説明するための図である。

【図13】第6の実施形態に係る高画質化処理の流れの一例を示すフロー図である。

【図14】第6の実施形態に係る画像処理を説明するための図である。

【図15】第7の実施形態に係る画像処理装置の概略的な構成の一例を示す。

【図16】第7の実施形態に係る画像処理の流れの一例を示すフロー図である。

【図17】第7の実施形態に係るユーザーインターフェースの一例を示す。

【図18】第9の実施形態に係る画像処理装置の概略的な構成の一例を示す。

【図19】第9の実施形態に係る画像処理の流れの一例を示すフロー図である。

【図20】第12の実施形態に係る画像処理装置の概略的な構成の一例を示す。

【図21A】第13の実施形態に係る高画質化処理の流れの一例を示すフロー図である。

【図21B】第13の実施形態に係る高画質化処理の流れの別例を示すフロー図である。

【図22】第17の実施形態に係る画像処理装置の概略的な構成の一例を示す。

【図23】第17の実施形態に係る画像処理の流れの一例を示すフロー図である。

【図24】高画質化処理に関するニューラルネットワークの構成の一例を示す。

【図25】第19の実施形態に係る画像処理装置の概略的な構成の一例を示す。

【図26】第19の実施形態に係る画像処理の流れの一例を示すフロー図である。

【図27】第21の実施形態に係る画像処理の流れの一例を示すフロー図である。

【図28】高画質化処理に関する教師画像の一例を示す。

【図29】高画質化処理に関する入力画像の一例を示す。

【図30】第22の実施形態に係る画像処理装置の概略的な構成の一例を示す。

【図31】第22の実施形態に係る画像処理の流れの一例を示すフロー図である。

【図32】第22の実施形態に係る広画角画像を説明するための図である。

【図33】第23の実施形態に係る高画質化処理を説明するための図である。

【図34】第24の実施形態に係るユーザーインターフェースの一例を示す。

【図35】第25の実施形態に係る画像処理装置の概略的な構成の一例を示す。

【図36】変形例6に係る機械学習エンジンとして用いられるニューラルネットワークの構成の一例を示す。

【図37】変形例6に係る機械学習エンジンとして用いられるニューラルネットワークの構成の一例を示す。

10

20

30

40

50

【図 38】第 24 の実施形態に係るユーザーインターフェースの一例を示す。

【図 39】第 26 の実施形態に係る学習データの平均輝度の分布に関する一例を示す。

【図 40】第 27 の実施形態に係るヒストグラム平均化法によって、入力信号を補正するための補正曲線の一例を示す。

【図 41】第 27 の実施形態に係る高画質化処理の流れの一例を示すフロー図である。

【図 42】第 28 の実施形態に係るフィルタ係数の一例を示す。

【図 43】第 27 の実施形態に係る画像処理装置の概略的な構成の一例を示す。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、本発明を実施するための例示的な実施形態を、図面を参照して詳細に説明する。ただし、以下の実施形態で説明する寸法、材料、形状、及び構成要素の相対的な位置等は任意であり、本発明が適用される装置の構成又は様々な条件に応じて変更できる。また、図面において、同一であるか又は機能的に類似している要素を示すために図面間で同じ参照符号を用いる。

【0015】

<用語の説明>

まず、本明細書において用いられる用語について説明する。

【0016】

本明細書におけるネットワークでは、各装置は有線又は無線の回線で接続されてよい。ここで、ネットワークにおける各装置を接続する回線は、例えば、専用回線、ローカルエリアネットワーク（以下、LANと表記）回線、無線LAN回線、インターネット回線、Wi-Fi（登録商標）、及びBluetooth（登録商標）等を含む。

【0017】

医用画像処理装置は、相互に通信が可能な2以上の装置によって構成されてもよいし、単一の装置によって構成されてもよい。また、医用画像処理装置の各構成要素は、CPU（Central Processing Unit）やMPU（Micro Processing Unit）等のプロセッサによって実行されるソフトウェアモジュールにより構成されてよい。また、当該各構成要素は、ASIC等の特定の機能を果たす回路等によって構成されてもよい。また、他の任意のハードウェアと任意のソフトウェアとの組み合わせにより構成されてもよい。

【0018】

また、下記実施形態による医用画像処理装置又は医用画像処理方法によって処理される医用画像は、任意のモダリティ（撮影装置、撮影方法）を用いて取得された画像を含む。処理される医用画像は、任意の撮影装置等で取得された医用画像や下記実施形態による医用画像処理装置又は医用画像処理方法によって作成された画像を含むことができる。

【0019】

さらに、処理される医用画像は、被検者（被検体）の所定部位の画像であり、所定部位の画像は被検者の所定部位の少なくとも一部を含む。また、当該医用画像は、被検者の他の部位を含んでもよい。また、医用画像は、静止画像又は動画画像であってよく、白黒画像又はカラー画像であってよい。さらに医用画像は、所定部位の構造（形態）を表す画像でもよいし、その機能を表す画像でもよい。機能を表す画像は、例えば、OCTA画像、ドップラーOCT画像、fMRI画像、及び超音波ドップラー画像等の血流動態（血流量、血流速度等）を表す画像を含む。なお、被検者の所定部位は、撮影対象に応じて決定されてよく、人眼（被検眼）、脳、肺、腸、心臓、すい臓、腎臓、及び肝臓等の臓器、頭部、胸部、脚部、並びに腕部等の任意の部位を含む。

【0020】

また、医用画像は、被検者の断層画像であってもよいし、正面画像であってもよい。正面画像は、例えば、眼底正面画像や、前眼部の正面画像、蛍光撮影された眼底画像、OCTで取得したデータ（3次元のOCTデータ）について撮影対象の深さ方向における少なくとも一部の範囲のデータを用いて生成したEn-Face画像を含む。なお、En-F

10

20

30

40

50

a c e 画像は、3次元のOCTAデータ（3次元のモーションコントラストデータ）について撮影対象の深さ方向における少なくとも一部の範囲のデータを用いて生成したOCTAのE n - F a c e 画像（モーションコントラスト正面画像）であってもよい。また、3次元のOCTデータや3次元のモーションコントラストデータは、3次元の医用画像データの一例である。

【0021】

また、撮影装置とは、診断に用いられる画像を撮影するための装置である。撮影装置は、例えば、被検者の所定部位に光、X線等の放射線、電磁波、又は超音波等を照射することにより所定部位の画像を得る装置や、被写体から放出される放射線を検出することにより所定部位の画像を得る装置を含む。より具体的には、以下の実施形態に係る撮影装置は、少なくとも、X線撮影装置、CT装置、MRI装置、PET装置、SPECT装置、SLO装置、OCT装置、OCTA装置、眼底カメラ、及び内視鏡等を含む。

10

【0022】

なお、OCT装置としては、タイムドメインOCT（TD-OCT）装置やフーリエドメインOCT（FD-OCT）装置を含んでよい。また、フーリエドメインOCT装置はスペクトラルドメインOCT（SD-OCT）装置や波長掃引型OCT（SS-OCT）装置を含んでよい。また、SLO装置やOCT装置として、波面補償光学系を用いた波面補償SLO（AO-SLO）装置や波面補償OCT（AO-OCT）装置等を含んでよい。また、SLO装置やOCT装置として、偏光位相差や偏光解消に関する情報を可視化するための偏光SLO（PS-SLO）装置や偏光OCT（PS-OCT）装置等を含んでよい。

20

【0023】

画像管理システムは、撮影装置によって撮影された画像や画像処理された画像を受信して保存する装置及びシステムである。また、画像管理システムは、接続された装置の要求に応じて画像を送信したり、保存された画像に対して画像処理を行ったり、画像処理の要求を他の装置に要求したりすることができる。画像管理システムとしては、例えば、画像保存通信システム（PACS）を含むことができる。特に、下記実施形態に係る画像管理システムは、受信した画像とともに関連付けられた被検者の情報や撮影時間などの各種情報も保存可能なデータベースを備える。また、画像管理システムはネットワークに接続され、他の装置からの要求に応じて、画像を送受信したり、画像を変換したり、保存した画像に関連付けられた各種情報を送受信したりすることができる。

30

【0024】

撮影条件とは、撮影装置によって取得された画像の撮影時の様々な情報である。撮影条件は、例えば、撮影装置に関する情報、撮影が実施された施設に関する情報、撮影に係る検査の情報、撮影者に関する情報、及び被検者に関する情報等を含む。また、撮影条件は、例えば、撮影日時、撮影部位名、撮影領域、撮影画角、撮影方式、画像の解像度や階調、画像サイズ、適用された画像フィルタ、画像のデータ形式に関する情報、及び放射線量に関する情報等を含む。なお、撮影領域には、特定の撮影部位からずれた周辺の領域や複数の撮影部位を含んだ領域等が含まれることができる。

【0025】

撮影条件は、画像を構成するデータ構造中に保存されていたり、画像とは別の撮影条件データとして保存されていたり、撮影装置に関連するデータベースや画像管理システムに保存されたりすることができる。そのため、撮影条件は、撮影装置の撮影条件の保存手段に対応した手順により取得することができる。具体的には、撮影条件は、例えば、撮影装置が出力した画像のデータ構造を解析したり、画像に対応する撮影条件データを取得したり、撮影装置に関連するデータベースから撮影条件を取得するためのインターフェースにアクセスする等により取得される。

40

【0026】

なお、撮影装置によっては、保存されていない等の理由で取得できない撮影条件も存在する。例えば、撮影装置に特定の撮影条件を取得したり保存したりする機能が無い、又は

50

そのような機能が無効にされている場合である。また、例えば、撮影装置や撮影に関係の無い撮影条件であるとして保存しないようになっている場合もある。さらに、例えば、撮影条件が隠蔽されていたり、暗号化されていたり、権利が無いと取得できないようになっていたりする場合もある。ただし、保存されていない撮影条件であっても取得できる場合がある。例えば、画像解析を実施することによって、撮影部位名や撮影領域を特定することができる。

【0027】

機械学習モデルとは、任意の機械学習アルゴリズムに対して、事前に適切な教師データ（学習データ）を用いてトレーニング（学習）を行ったモデルである。教師データは、一つ以上の、入力データと出力データ（正解データ）とのペア群で構成される。なお、教師データを構成するペア群の入力データと出力データの形式や組み合わせは、一方が画像で他方が数値であったり、一方が複数の画像群で構成され他方が文字列であったり、双方が画像であったりする等、所望の構成に適したものであってよい。

【0028】

具体的には、例えば、OCTによって取得された画像と、該画像に対応する撮影部位ラベルとのペア群によって構成された教師データ（以下、第1の教師データ）が挙げられる。なお、撮影部位ラベルは部位を表すユニークな数値や文字列である。また、その他の教師データの例として、OCTの通常撮影によって取得されたノイズの多い低画質画像と、OCTにより複数回撮影して高画質化処理した高画質画像とのペア群によって構成されている教師データ（以下、第2の教師データ）等が挙げられる。

【0029】

機械学習モデルに入力データを入力すると、該機械学習モデルの設計に従った出力データが出力される。機械学習モデルは、例えば、教師データを用いてトレーニングされた傾向に従って、入力データに対応する可能性の高い出力データを出力する。また、機械学習モデルは、例えば、教師データを用いてトレーニングされた傾向に従って、出力データの種類のそれぞれについて、入力データに対応する可能性を数値として出力する等を行うことができる。具体的には、例えば、第1の教師データでトレーニングされた機械学習モデルにOCTによって取得された画像を入力すると、機械学習モデルは、該画像に撮影されている撮影部位の撮影部位ラベルを出力したり、撮影部位ラベル毎の確率を出力したりする。また、例えば、第2の教師データでトレーニングされた機械学習モデルにOCTの通常撮影によって取得されたノイズの多い低画質画像を入力すると、機械学習モデルは、OCTにより複数回撮影して高画質化処理された画像相当の高画質画像を出力する。なお、機械学習モデルについては、品質保持の観点から、自身が出力した出力データを教師データとして用いないように構成することができる。

【0030】

また、機械学習アルゴリズムは、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）等のディープラーニングに関する手法を含む。ディープラーニングに関する手法においては、ニューラルネットワークを構成する層群やノード群に対するパラメータの設定が異なると、教師データを用いてトレーニングされた傾向を出力データに再現可能な程度が異なる場合がある。例えば、第1の教師データを用いたディープラーニングの機械学習モデルにおいては、より適切なパラメータが設定されていると、正しい撮影部位ラベルを出力する確率がより高くなる場合がある。また、例えば、第2の教師データを用いたディープラーニングの機械学習モデルにおいては、より適切なパラメータが設定されていると、より高画質な画像を出力できる場合がある。

【0031】

具体的には、CNNにおけるパラメータは、例えば、畳み込み層に対して設定される、フィルタのカーネルサイズ、フィルタの数、ストライドの値、及びダイレーションの値、並びに全結合層の出力するノードの数等を含むことができる。なお、パラメータ群やトレーニングのエポック数は、教師データに基づいて、機械学習モデルの利用形態に好ましい値に設定することができる。例えば、教師データに基づいて、正しい撮影部位ラベルをよ

10

20

30

40

50

り高い確率で出力したり、より高画質な画像を出力したりできるパラメータ群やエポック数を設定することができる。

【0032】

このようなパラメータ群やエポック数の決定方法の一つを例示する。まず、教師データを構成するペア群の7割をトレーニング用とし、残りの3割を評価用としてランダムに設定する。次に、トレーニング用のペア群を用いて機械学習モデルのトレーニングを行い、トレーニングの各エポックの終了時に、評価用のペア群を用いてトレーニング評価値を算出する。トレーニング評価値とは、例えば、各ペアを構成する入力データをトレーニング中の機械学習モデルに入力したときの出力と、入力データに対応する出力データとを損失関数によって評価した値群の平均値である。最後に、最もトレーニング評価値が小さくなったときのパラメータ群及びエポック数を、当該機械学習モデルのパラメータ群やエポック数として決定する。なお、このように、教師データを構成するペア群をトレーニング用と評価用とに分けてエポック数の決定を行うことによって、機械学習モデルがトレーニング用のペア群に対して過学習してしまうことを防ぐことができる。

【0033】

高画質化エンジン（高画質化用の学習済モデル）とは、入力された低画質画像を高画質化した高画質画像を出力するモジュールのことである。ここで、本明細書における高画質化とは、入力された画像を画像診断により適した画質の画像に変換することをいい、高画質画像とは、画像診断により適した画質の画像に変換された画像をいう。また、低画質画像とは、例えば、X線撮影、CT、MRI、OCT、PET、若しくはSPECT等により取得された二次元画像や三次元画像、又は連続撮影したCTの三次元動画像等の特に高画質になるような設定をされずに撮影されたものである。具体的には、低画質画像は、例えば、X線撮影装置やCTによる低線量での撮影や、造影剤を使用しないMRIによる撮影、OCTの短時間撮影等によって取得される画像、及び少ない撮影回数で取得されたOCTA画像等を含む。

【0034】

また、画像診断に適した画質の内容は、各種の画像診断で何を診断したいのかということに依存する。そのため一概には言えないが、例えば、画像診断に適した画質は、ノイズが少なかったり、高コントラストであったり、撮影対象を観察しやすい色や階調で示していたり、画像サイズが大きかったり、高解像度であったりする画質を含む。また、画像生成の過程で描画されてしまった実際には存在しないオブジェクトやグラデーションが画像から除去されているような画質を含むことができる。

【0035】

また、ノイズが少なかったり、高コントラストであったりする高画質画像を、OCTA等の画像の血管解析処理や、CTやOCT等の画像の領域セグメンテーション処理等の画像解析に利用すると、低画質画像を利用するよりも精度よく解析が行えることが多い。そのため、高画質化エンジンによって出力された高画質画像は、画像診断だけでなく、画像解析にも有用である場合がある。

【0036】

下記の実施形態における高画質化手法を構成する画像処理手法では、ディープラーニング等の各種機械学習アルゴリズムを用いた処理を行う。なお、当該画像処理手法では、機械学習アルゴリズムを用いた処理に加えて、各種画像フィルタ処理、類似画像に対応する高画質画像のデータベースを用いたマッチング処理、及び知識ベース画像処理等の既存の任意の処理を行ってもよい。

【0037】

特に、二次元画像を高画質化するCNNの構成例として、図1に示す構成がある。当該CNNの構成には、複数の畳み込み処理ブロック100群が含まれる。畳み込み処理ブロック100は、畳み込み（Convolution）層101と、バッチ正規化（Batch Normalization）層102と、正規化線形関数（Rectifier Linear Unit）を用いた活性化層103とを含む。また、当該CNNの構成に

は、合成（Merger）層104と、最後の畳み込み層105が含まれる。合成層104は、畳み込み処理ブロック100の出力値群と画像を構成する画素値群とを連結したり、加算したりして合成する。最後の畳み込み層105は、合成層104で合成された、高画質画像Im120を構成する画素値群を出力する。このような構成では、入力された画像Im110を構成する画素値群が畳み込み処理ブロック100群を経て出力された値群と、入力された画像Im110を構成する画素値群とが、合成層104で合成される。その後、合成された画素値群は最後の畳み込み層105で高画質画像Im120に成形される。

【0038】

なお、例えば、畳み込み処理ブロック100の数を16とし、畳み込み層101群のパラメータとして、フィルタのカーネルサイズを幅3画素、高さ3画素、フィルタの数を64とすることで、一定の高画質化の効果を得られる。しかしながら、実際には上記の機械学習モデルの説明において述べた通り、機械学習モデルの利用形態に応じた教師データを用いて、より良いパラメータ群を設定することができる。なお、三次元画像や四次元画像を処理する必要がある場合には、フィルタのカーネルサイズを三次元や四次元に拡張してもよい。

【0039】

なお、CNNを用いた画像処理等、一部の画像処理手法を利用する場合には画像サイズについて注意する必要がある。具体的には、高画質画像の周辺部が十分に高画質化されない問題等の対策のため、入力する低画質画像と出力する高画質画像とで異なる画像サイズを要する場合があることに留意すべきである。

【0040】

明瞭な説明のため、後述の実施形態において明記はしないが、高画質化エンジンに入力される画像と出力される画像とで異なる画像サイズを要する高画質化エンジンを採用した場合には、適宜画像サイズを調整しているものとする。具体的には、機械学習モデルをトレーニングするための教師データに用いる画像や、高画質化エンジンに入力される画像といった入力画像に対して、パディングを行ったり、該入力画像の周辺の撮影領域を結合したりして、画像サイズを調整する。なお、パディングを行う領域は、効果的に高画質化できるように高画質化手法の特性に合わせて、一定の画素値で埋めたり、近傍画素値で埋めたり、ミラーパディングしたりする。

【0041】

また、高画質化手法は、一つの画像処理手法だけで実施されることもあるし、二つ以上の画像処理手法を組み合わせることもある。また、複数の高画質化手法群を並列に実施し、複数の高画質画像群を生成した上で、最も高画質な高画質画像を最終的に高画質画像として選択することもある。なお、最も高画質な高画質画像の選択は、画質評価指数を用いて自動的に行われてもよいし、任意の表示部等に備えられたユーザーインターフェースに複数の高画質画像群を表示して、検者（ユーザー）の指示に応じて行われてもよい。

【0042】

なお、高画質化していない入力画像の方が、画像診断に適している場合もあるので、最終的な画像の選択の対象には入力画像を加えてよい。また、高画質化エンジンに対して、低画質画像とともにパラメータを入力してもよい。高画質化エンジンに対して、入力画像とともに、例えば、高画質化を行う程度を指定するパラメータや、画像処理手法に用いられる画像フィルタサイズを指定するパラメータを入力してもよい。

【0043】

撮影箇所推定エンジンとは、入力された画像の撮影部位や撮影領域を推定するモジュールのことである。撮影箇所推定エンジンは、入力された画像に描画されている撮影部位や撮影領域がどこであるか、又は必要な詳細レベルの撮影部位ラベルや撮影領域ラベル毎に、該撮影部位や撮影領域である確率を出力することができる。

【0044】

撮影部位や撮影領域は、撮影装置によっては撮影条件として保存していない、又は撮影装置が取得できず保存できていない場合がある。また、撮影部位や撮影領域が保存されていても、必要な詳細レベルの撮影部位や撮影領域が保存されていない場合もある。例えば、撮影部位として“後眼部”と保存されているだけで、詳細には“黄斑部”なのか、“視神経乳頭部”なのか、又は、“黄斑部及び視神経乳頭部”なのか、“その他”なのかが分からないことがある。また、別の例では、撮影部位として“乳房”と保存されているだけで、詳細には“右乳房”なのか、“左乳房”なのか、又は、“両方”なのかが分からないことがある。そのため、撮影箇所推定エンジンを用いることで、これらの場合に入力画像の撮影部位や撮影領域を推定することができる。

【0045】

撮影箇所推定エンジンの推定手法を構成する画像及びデータ処理手法では、ディープラーニング等の各種機械学習アルゴリズムを用いた処理を行う。なお、当該画像及びデータ処理手法では、機械学習アルゴリズムを用いた処理に加えて又は代えて、自然言語処理、類似画像及び類似データのデータベースを用いたマッチング処理、知識ベース処理等の既存の任意の推定処理を行ってもよい。なお、機械学習アルゴリズムを用いて構築した機械学習モデルをトレーニングする教師データは、撮影部位や撮影領域のラベルが付けられた画像とすることができる。この場合には、教師データの画像を入力データ、撮影部位や撮影領域のラベルを出力データとする。

【0046】

特に、二次元画像の撮影箇所を推定するCNNの構成例として、図2に示す構成がある。当該CNNの構成には、畳み込み層201とバッチ正規化層202と正規化線形関数を用いた活性化層203とで構成された複数の畳み込み処理ブロック200群が含まれる。また、当該CNNの構成には、最後の畳み込み層204と、全結合(Full Connection)層205と、出力層206が含まれる。全結合層205は畳み込み処理ブロック200の出力値群を全結合する。また、出力層206は、Softmax関数を利用して、入力画像Im210に対する、想定される撮影部位ラベル毎の確率を推定結果(Result)207として出力する。このような構成では、例えば、入力画像Im210が“黄斑部”を撮影した画像であれば、“黄斑部に対応する撮影部位ラベルについて最も高い確率が出力される。

【0047】

なお、例えば、畳み込み処理ブロック200の数を16、畳み込み層201群のパラメータとして、フィルタのカーネルサイズを幅3画素、高さ3画素、フィルタの数を64とすることで、一定の精度で撮影部位を推定することができる。しかしながら、実際には上記の機械学習モデルの説明において述べた通り、機械学習モデルの利用形態に応じた教師データを用いて、より良いパラメータ群を設定することができる。なお、三次元画像や四次元画像を処理する必要がある場合には、フィルタのカーネルサイズを三次元や四次元に拡張してもよい。なお、推定手法は、一つの画像及びデータ処理手法だけで実施されることもあるし、二つ以上の画像及びデータ処理手法を組み合わせる実施されることもある。

【0048】

画質評価エンジンとは、入力された画像に対する画質評価指数を出力するモジュールのことである。画質評価指数を算出する画質評価処理手法では、ディープラーニング等の各種機械学習アルゴリズムを用いた処理を行う。なお、当該画質評価処理手法では、画像ノイズ計測アルゴリズム、及び類似画像や基底画像に対応する画質評価指数のデータベースを用いたマッチング処理等の既存の任意の評価処理を行ってもよい。なお、これらの評価処理は、機械学習アルゴリズムを用いた処理に加えて又は代えて行われてよい。

【0049】

例えば、画質評価指数は機械学習アルゴリズムを用いて構築した機械学習モデルより得ることができる。この場合、機械学習モデルをトレーニングする教師データを構成するペアの入力データは、事前に様々な撮影条件によって撮影された低画質画像群と高画質画像群とで構成される画像群である。また、機械学習モデルをトレーニングする教師データを

10

20

30

40

50

構成するペアの出力データは、例えば、画像診断を行う検者が入力データの画像群のそれぞれについて設定した画質評価指数群である。

【0050】

本発明の説明における真贋評価エンジンとは、入力された画像の描画を評価して、対象の撮影装置によって撮影され取得された画像か否かを、ある程度の精度で評価するモジュールである。真贋評価処理手法では、ディープラーニング等の各種機械学習アルゴリズムを用いた処理を行う。なお、真贋評価処理手法では、機械学習アルゴリズムを用いた処理に加えて又は代えて、知識ベース処理等の既存の任意の評価処理を行ってもよい。

【0051】

例えば、真贋評価処理は機械学習アルゴリズムを用いて構築した機械学習モデルにより実施することができる。まず、機械学習モデルの教師データについて説明する。教師データには、事前に様々な撮影条件によって撮影された高画質画像群と対象の撮影装置によって撮影され取得されたことを表すラベル（以下、真作ラベル）とのペア群が含まれる。また、教師データには、高画質化エンジン（第1レベルの高画質化エンジン）に低画質画像を入力して生成した高画質画像群と対象の撮影装置によって撮影され取得されていないことを表すラベル（以下、贋作ラベル）とのペア群が含まれる。このような教師データを用いてトレーニングした機械学習モデルは、第1レベルの高画質化エンジンが生成する高画質画像が入力されると贋作ラベルを出力する。

【0052】

特に、二次元画像の真贋評価処理を行うCNNの構成例として、図3に示す構成がある。当該CNNの構成には、畳み込み層301と、バッチ正規化層302と、正規化線形関数を用いた活性化層303とで構成された複数の畳み込み処理ブロック300群が含まれる。また、当該CNNの構成には、最後の畳み込み層304と、全結合層305と、出力層306が含まれる。全結合層305は、畳み込み処理ブロック300の出力値群を全結合する。また、出力層306は、Sigmoid関数を利用して、入力画像Im310に対して、真作ラベルを表す1の値（真）又は贋作ラベルを表す0の値（偽）を、真贋評価処理の結果（Result）307として出力する。

【0053】

なお、畳み込み処理ブロック300の数を16、畳み込み層301群のパラメータとして、フィルタのカーネルサイズを幅3画素、高さ3画素、フィルタの数を64とすることで、一定の精度で正しい真贋評価処理の結果を得られる。しかしながら、実際には上記の機械学習モデルの説明において述べた通り、機械学習モデルの利用形態に応じた教師データを用いて、より良いパラメータ群を設定することができる。なお、三次元画像や四次元画像を処理する必要がある場合には、フィルタのカーネルサイズを三次元や四次元に拡張してもよい。

【0054】

真贋評価エンジンは、第1レベルの高画質化エンジンよりも高度に高画質化する高画質化エンジン（第2レベルの高画質化エンジン）が生成する高画質画像が入力されると真作ラベルを出力することがある。つまり、真贋評価エンジンは入力された画像に対し、確実に撮影装置によって撮影され取得された画像か否かを評価できるわけではないが、撮影装置によって撮影され取得された画像らしさを持つ画像か否かを評価できる。この特性を利用して、真贋評価エンジンに高画質化エンジンが生成した高画質画像を入力することで、高画質化エンジンが生成した高画質画像が十分に高画質化されているか否かを評価できる。

【0055】

また、高画質化エンジンの機械学習モデルと真贋評価エンジンの機械学習モデルとを協調させてトレーニングすることによって、双方のエンジンの効率や精度を向上させてもよい。この場合には、まず、高画質化エンジンが生成する高画質画像を真贋評価エンジンに評価させると真作ラベルが出力されるように、該高画質化エンジンの機械学習モデルをトレーニングする。また、並行して、高画質化エンジンが生成する画像を真贋評価エンジンに評価させると贋作ラベルを出力するように、該真贋評価エンジンの機械学習モデルをト

レーニングさせる。さらに、並行して、撮影装置によって取得された画像を真贋評価エンジンに評価させると真作ラベルを出力するように、該真贋評価エンジンの機械学習モデルをトレーニングさせる。これによって、高画質化エンジンと真贋評価エンジンの効率や精度が向上する。

【0056】

＜第1の実施形態＞

以下、図4及び5を参照して、第1の実施形態による医用画像処理装置について説明する。図4は、本実施形態に係る画像処理装置の概略的な構成の一例を示す。

【0057】

画像処理装置400は、撮影装置10及び表示部20に、回路やネットワークを介して接続されている。また、撮影装置10及び表示部20が直接接続されていてもよい。なお、これらの装置は本実施形態では別個の装置とされているが、これらの装置の一部又は全部を一体的に構成してもよい。また、これらの装置は、他の任意の装置と回路やネットワークを介して接続されてもよいし、他の任意の装置と一体的に構成されてもよい。

【0058】

画像処理装置400には、取得部401と、撮影条件取得部402と、高画質化可否判定部403と、高画質化部404と、出力部405（表示制御部）とが設けられている。なお、画像処理装置400は、これら構成要素のうちの一部が設けられた複数の装置で構成されてもよい。取得部401は、撮影装置10や他の装置から各種データや画像を取得したり、不図示の入力装置を介して検者からの入力を取得したりすることができる。なお、入力装置としては、マウス、キーボード、タッチパネル及びその他任意の入力装置を採用してよい。また、表示部20をタッチパネルディスプレイとして構成してもよい。

【0059】

撮影条件取得部402は、取得部401が取得した医用画像（入力画像）の撮影条件を取得する。具体的には、医用画像のデータ形式に応じて、医用画像を構成するデータ構造に保存された撮影条件群を取得する。なお、医用画像に撮影条件が保存されていない場合には、取得部401を介して、撮影装置10や画像管理システムから撮影条件群を含む撮影情報群を取得することができる。

【0060】

高画質化可否判定部403は、撮影条件取得部402によって取得された撮影条件群を用いて高画質化部404によって医用画像が対処可能であるか否かを判定する。高画質化部404は、対処可能である医用画像について高画質化を行い、画像診断に適した高画質画像を生成する。出力部405は、高画質化部404が生成した高画質画像や入力画像、各種情報等を表示部20に表示させる。また、出力部405は、生成された高画質画像等を画像処理装置400に接続される記憶装置（記憶部）に記憶させてもよい。

【0061】

次に、高画質化部404について詳細に説明する。高画質化部404には高画質化エンジンが備えられている。本実施形態に係る高画質化エンジンの備える高画質化手法では、機械学習アルゴリズムを用いた処理を行う。

【0062】

本実施形態では、機械学習アルゴリズムに係る機械学習モデルのトレーニングに、処理対象として想定される特定の撮影条件を持つ低画質画像である入力データと、入力データに対応する高画質画像である出力データのペア群で構成された教師データを用いる。なお、特定の撮影条件には、具体的には、予め決定された撮影部位、撮影方式、撮影画角、及び画像サイズ等が含まれる。

【0063】

本実施形態において、教師データの入力データは、撮影装置10と同じ機種、撮影装置10と同じ設定により取得された低画質画像である。また、教師データの出力データは、撮影装置10と同じ機種が備える設定や画像処理により取得された高画質画像である。具体的には、出力データは、例えば、複数回撮影することにより取得した画像（元画像）群

10

20

30

40

50

に対して加算平均等の重ね合わせ処理を行うことにより得られる高画質画像（重ね合わせ画像）である。ここで、高画質画像と低画質画像についてOCTAのモーションコントラストデータを例として説明をする。ここで、モーションコントラストデータとは、OCTA等で用いられる、撮影対象の同一箇所を繰り返し撮影し、その撮影間における撮影対象の時間的な変化を検出したデータである。このとき、算出したモーションコントラストデータ（3次元の医用画像データの一例）のうち、撮影対象の深さ方向における所望の範囲のデータを用いて正面画像を生成することで、OCTAのEn-Face画像（モーションコントラスト正面画像）を生成することができる。なお、以下では同一箇所におけるOCTデータを繰り返し撮影することをNOR（Number Of Repeat）と呼ぶ。
【0064】

10

本実施形態において、重ね合わせ処理による高画質画像と低画質画像の生成例として異なる2種類の方法について図28を用いて説明をする。

【0065】

第一の方法は、高画質画像の例として、撮影対象の同一箇所を繰り返し撮影したOCTデータから生成するモーションコントラストデータに関して、図28（a）を用いて説明する。図28（a）において、Im2810は3次元のモーションコントラストデータ、Im2811は3次元のモーションコントラストデータを構成する2次元のモーションコントラストデータを示す。そして、Im2811-1～Im2811-3は、Im2811を生成するためのOCT断層画像（Bスキャン）を示している。ここで、NORとは、図28（a）においては、Im2811-1～Im2811-3におけるOCT断層画像の数の事を示し、図の例においてNORは3である。Im2811-1～Im2811-3は所定の時間間隔（ Δt ）で撮影される。なお、同一箇所とは被検眼の正面方向（X-Y）において、1ラインの事を示し、図28（a）においては、Im2811の箇所に相当する。なお、正面方向は、深さ方向に対して交差する方向の一例である。モーションコントラストデータは時間的な変化を検出したデータであるため、このデータを生成するためには、少なくともNORは2回とする必要がある。例えば、NORが2の場合には、1つのモーションコントラストデータが生成される。NORが3の場合には、隣接する時間間隔（1回目と2回目、2回目と3回目）のOCTのみでモーションコントラストデータを生成する場合には、2つのデータが生成される。離れた時間間隔（1回目と3回目）のOCTデータも用いてモーションコントラストデータを生成する場合には、合計3つのデータが生成される。すなわち、NORを3回、4回、・・・と増やしていくと、同一箇所におけるモーションコントラストのデータ数も増加する。同一箇所を繰り返し撮影して取得した複数のモーションコントラストデータを位置合わせして加算平均等の重ね合わせ処理をすることで、高画質なモーションコントラストデータを生成することが出来る。そのため、NORを少なくとも3回以上とし、5回以上とするのが望ましい。一方、これに対応する低画質画像の例としては、加算平均等の重ね合わせ処理を行う前のモーションコントラストデータとする。この場合、低画質画像は加算平均等の重ね合わせ処理を行う際の基準画像とするのが望ましい。重ね合わせ処理をする際に、基準画像に対して対象画像の位置や形状を変形して位置合わせを行っておけば、基準画像と重ね合わせ処理後の画像とでは空間的な位置ずれがほとんどない。そのため、容易に低画質画像と高画質画像のペアとすることが出来る。なお、基準画像ではなく位置合わせの画像変形処理を行った対象画像を低画質画像としてもよい。元画像群（基準画像と対象画像）のそれぞれを入力データ、対応する重ね合わせ画像を出力データとすることで、複数のペア群を生成することができる。例えば、15の元画像群から1の重ね合わせ画像を得る場合、元画像群のうちの一つ目の元画像と重ね合わせ画像とのペア、元画像群のうち二つ目の元画像と重ね合わせ画像とのペアを生成することができる。このように、15の元画像群から1の重ね合わせ画像を得る場合には、元画像群のうち一つの画像と重ね合わせ画像による15のペア群が生成可能である。なお、主走査（X）方向に同一箇所を繰り返し撮影し、それを副走査（Y）方向にずらしながらスキャンをすることで3次元の高画質データを生成することが出来る。

20

30

40

50

【0066】

第二の方法は、撮影対象の同一領域を複数回撮影したモーションコントラストデータを重ね合わせ処理することで高画質画像を生成する処理に関して、図28(b)を用いて説明する。なお、同一領域とは被検眼の正面方向(X-Y)において、 $3 \times 3 \text{ mm}$ や $10 \times 10 \text{ mm}$ のような領域の事を示し、断層画像の深さ方向を含めて3次元のモーションコントラストデータを取得することを意味する。同一領域を複数回撮影して重ね合わせ処理を行う際には、1回あたりの撮影を短くするため、NORは2回か3回とすることが望ましい。また、高画質な3次元モーションコントラストデータを生成するために、同一領域の3次元データを少なくとも2データ以上取得する。図28(b)では、複数の3次元モーションコントラストデータの例を示している。Im2820~Im2840は、図28(a)で説明したのと同様に3次元のモーションコントラストデータである。これら2データ以上の3次元モーションコントラストデータを用いて、正面方向(X-Y)と深度方向(Z)の位置合わせ処理を行い、それぞれのデータにおいてアーティファクトとなるデータを除外した後に、平均化処理を行う。それによりアーティファクトの除外された1つの高画質な3次元モーションコントラストデータを生成することが出来る。3次元モーションコントラストデータから任意の平面を生成することで高画質画像となる。一方、これに対応する低画質画像は加算平均等の重ね合わせ処理を行う際の基準データから生成する任意の平面とするのが望ましい。第一の方法で説明したように、基準画像と加算平均後の画像とでは空間的な位置ずれがほとんどないため、容易に低画質画像と高画質画像のペアとすることが出来る。なお、基準データではなく位置合わせの画像変形処理を行った対象データから生成した任意の平面を低画質画像としてもよい。

【0067】

第一の方法は、撮影自体が1回で終了するため被験者の負担は少ない。しかし、NORの回数を増やすほど1回の撮影時間が長くなってしまふ。また、撮影途中に目の混濁や睫毛などのアーティファクトが入った場合には必ずしも良い画像が得られるとは限らない。第二の方法は、複数回撮影を行うため被験者の負担は少し増えてしまふ。しかし、1回の撮影時間が短く済むのと、1回の撮影でアーティファクトが入ったとしても、別の撮影でアーティファクトが写らなければ最終的にはアーティファクトの少ないきれいな画像を得ることが出来る。これらの特徴を鑑みて、データを集める際には被験者の状況に合わせて任意の方法を選択する。

【0068】

本実施形態では、モーションコントラストデータを例として説明をしたがこれに限らない。モーションコントラストデータを生成するためにOCTデータを撮影しているため、OCTデータでも上記の方法で同じことが可能である。さらに、本実施形態においてトラッキング処理について説明を省略したが、被検眼の同一箇所や同一領域を撮影するため、被検眼のトラッキングを行いながら撮影を行うことが望ましい。

【0069】

本実施形態において、3次元の高画質データと低画質データのペアが出来ているため、ここから任意の2次元画像のペアを生成することが出来る。これに関して、図29を用いて説明をする。例えば、対象画像をOCTAのEn-Face画像とする場合、3次元データから所望の深度範囲でOCTAのEn-Face画像を生成する。所望の深度範囲とは、図28においてZ方向における範囲の事を示す。ここで生成するOCTAのEn-Face画像の例を図29(a)に示す。OCTAのEn-Face画像としては、表層(Im2910)、深層(Im2920)、外層(Im2930)、脈絡膜血管網(Im2940)など、異なる深度範囲で生成したOCTAのEn-Face画像を用いて学習を行う。なお、OCTAのEn-Face画像の種類はこれに限らず、基準となる層とオフセットの値を変えて異なる深度範囲を設定したOCTAのEn-Face画像を生成して種類を増やしてもよい。学習を行う際には、異なる深さのOCTAのEn-Face画像毎に別々に学習をしてもよいし、異なる深度範囲の画像を複数組み合わせ(例えば、表層側と深層側で分ける)学習してもよいし、全ての深度範囲のOCTAのEn-Face

画像と一緒に学習させるようにしてもよい。OCTデータから生成する輝度のEn-Face画像の場合も、OCTAのEn-Faceと同様に、任意の深度範囲から生成した複数のEn-Face画像を用いて学習を行う。例えば、高画質化エンジンが、被検眼の異なる深度範囲（複数の深度範囲）に対応する複数のモーションコントラスト正面画像を含む学習データを用いて得た機械学習エンジンを含む場合を考える。このとき、取得部は、異なる深度範囲（複数の深度範囲）を含む長い深度範囲のうち一部の深度範囲に対応するモーションコントラスト正面画像を第1の画像として取得することができる。すなわち、学習データに含まれる複数のモーションコントラスト正面画像に対応する複数の深度範囲とは異なる深度範囲に対応するモーションコントラスト正面画像を、高画質化時の入力画像とすることができる。もちろん、学習時と同じ深度範囲のモーションコントラスト正面画像を、高画質化時の入力画像としてもよい。また、一部の深度範囲は、検者がユーザーインターフェース上の任意のボタンを押す等に応じて設定されてもよいし、自動的に設定されてもよい。また、高画質化時において、複数の深度範囲に対応する複数のモーションコントラスト正面画像が共通の高画質化エンジンに対する入力画像であってもよく、このとき、入力画像に比べて高画質化された複数の画像が生成されるように構成することができる。なお、上述した内容は、モーションコントラスト正面画像に限るものではなく、例えば、輝度のEn-Face画像に対しても適用することができる。

【0070】

なお、処理対象の画像が断層画像である場合、BスキャンであるOCT断層画像やモーションコントラストデータの断層画像を用いて学習を行う。これに関して、図29（b）を用いて説明をする。図29（b）において、Im2951～Im2953はOCTの断層画像である。図29（b）において画像が異なるのは、副走査（Y）方向の位置が異なる場所の断層画像を示しているからである。断層画像においては、副走査方向の位置の違いを気にせず一緒に学習をするようにしてもよい。ただし、撮影部位（例えば、黄斑部中心、視神経乳頭部中心）が異なる場所を撮影した画像の場合には、部位ごとに別々に学習をするようにしてもよいし、撮影部位を気にせず一緒に学習をするようにしてもよい。なお、OCT断層画像と、モーションコントラストデータの断層画像においては画像特徴量が大きく異なるので別々に学習を行う方がよい。

【0071】

重ね合わせ処理を行った重ね合わせ画像は、元画像群で共通して描出された画素が強調されるため、画像診断に適した高画質画像になる。この場合には、生成される高画質画像は、共通して描出された画素が強調された結果、低輝度領域と高輝度領域との違いがはっきりした高コントラストな画像になる。また、例えば、重ね合わせ画像では、撮影毎に発生するランダムノイズが低減されたり、ある時点の元画像ではうまく描出されなかった領域が他の元画像群によって補間されたりすることができる。

【0072】

また、機械学習モデルの入力データを複数の画像で構成する必要がある場合には、元画像群から必要な数の元画像群を選択し、入力データとすることができる。例えば、15の元画像群から1の重ね合わせ画像を得る場合において、機械学習モデルの入力データとして2の画像が必要であれば、105（ $15C2 = 105$ ）のペア群を生成可能である。

【0073】

なお、教師データを構成するペア群のうち、高画質化に寄与しないペアは教師データから取り除くことができる。例えば、教師データのペアを構成する出力データである高画質画像が画像診断に適さない画質である場合には、当該教師データを用いて学習した高画質化エンジンが出力する画像も画像診断に適さない画質になってしまう可能性がある。そのため、出力データが画像診断に適さない画質であるペアを教師データから取り除くことで、高画質化エンジンが画像診断に適さない画質の画像を生成する可能性を低減させることができる。

【0074】

また、ペアである画像群の平均輝度や輝度分布が大きく異なる場合には、当該教師デー

10

20

30

40

50

タを用いて学習した高画質化エンジンが、低画質画像と大きく異なる輝度分布を持つ画像診断に適さない画像を出力する可能性がある。このため、平均輝度や輝度分布が大きく異なる入力データと出力データのペアを教師データから取り除くこともできる。

【0075】

さらに、ペアである画像群に描画される撮影対象の構造や位置が大きく異なる場合には、当該教師データを用いて学習した高画質化エンジンが、低画質画像と大きく異なる構造や位置に撮影対象を描画した画像診断に適さない画像を出力する可能性がある。このため、描画される撮影対象の構造や位置が大きく異なる入力データと出力データのペアを教師データから取り除くこともできる。また、高画質化エンジンについて、品質保持の観点から、自身が出力する高画質画像を教師データとして用いないように構成することができる。

10

【0076】

このように機械学習を行った高画質化エンジンを用いることで、高画質化部404は、一回の撮影で取得された医用画像が入力された場合に、重ね合わせ処理によって高コントラスト化やノイズ低減等が行われたような高画質画像を出力することができる。このため、高画質化部404は、入力画像である低画質画像に基づいて、画像診断に適した高画質画像を生成することができる。

【0077】

次に、図5のフロー図を参照して、本実施形態に係る一連の画像処理について説明する。図5は本実施形態に係る一連の画像処理のフロー図である。まず、本実施形態に係る一連の画像処理が開始されると、処理はステップS510に移行する。

20

【0078】

ステップS510では、取得部401が、回路やネットワークを介して接続された撮影装置10から、撮影装置10が撮影した画像を入力画像として取得する。なお、取得部401は、撮影装置10からの要求に応じて、入力画像を取得してもよい。このような要求は、例えば、撮影装置10が画像を生成した時、撮影装置10が生成した画像を撮影装置10が備える記憶装置に保存する前や保存した後、保存された画像を表示部20に表示する時、画像解析処理に高画質画像を利用する時等に発行されてよい。

【0079】

なお、取得部401は、撮影装置10から画像を生成するためのデータを取得し、画像処理装置400が当該データに基づいて生成した画像を入力画像として取得してもよい。この場合、画像処理装置400が各種画像を生成するための画像生成方法としては、既存の任意の画像生成方法を採用してよい。

30

【0080】

ステップS520では、撮影条件取得部402が、入力画像の撮影条件群を取得する。具体的には、入力画像のデータ形式に応じて、入力画像を構成するデータ構造に保存された撮影条件群を取得する。なお、上述のように、入力画像に撮影条件が保存されていない場合には、撮影条件取得部402は、撮影装置10や不図示の画像管理システムから撮影条件群を含む撮影情報群を取得することができる。

【0081】

ステップS530においては、高画質化可否判定部403が、取得された撮影条件群を用いて、高画質化部404に備える高画質化エンジンによって入力画像を高画質化可能であるか否かを判定する。具体的には、高画質化可否判定部403は、入力画像の撮影部位、撮影方式、撮影画角、及び画像サイズが、高画質化エンジンによって対処可能な条件と一致するか否かを判定する。

40

【0082】

高画質化可否判定部403が、すべての撮影条件を判定し、対処可能と判定された場合には、処理はステップS540に移行する。一方、高画質化可否判定部403が、これら撮影条件に基づいて、高画質化エンジンが入力画像を対処不可能であると判定した場合には、処理はステップS550に移行する。

【0083】

50

なお、画像処理装置 400 の設定や実装形態によっては、撮影部位、撮影方式、撮影画角、及び画像サイズのうちの一部に基づいて入力画像が処理不可能であると判定されたとしても、ステップ S 540 における高画質化処理が実施されてもよい。例えば、高画質化エンジンが、被検者のいずれの撮影部位に対しても網羅的に対応可能であると想定され、入力データに未知の撮影部位が含まれていたとしても対処可能であるように実装されている場合等には、このような処理を行ってもよい。また、高画質化可否判定部 403 は、所望の構成に応じて、入力画像の撮影部位、撮影方式、撮影画角、及び画像サイズのうちの少なくとも一つが高画質化エンジンによって対処可能な条件と一致するか否かを判定してもよい。

【0084】

ステップ S 540 においては、高画質化部 404 が、高画質化エンジンを用いて、入力画像を高画質化し、入力画像よりも画像診断に適した高画質画像を生成する。具体的には、高画質化部 404 は、入力画像を高画質化エンジンに入力し、高画質化された高画質画像を生成させる。高画質化エンジンは、教師データを用いて機械学習を行った機械学習モデルに基づいて、入力画像を用いて重ね合わせ処理を行ったような高画質画像を生成する。このため、高画質化エンジンは、入力画像よりも、ノイズ低減されたり、コントラスト強調されたりした高画質画像を生成することができる。

【0085】

なお、画像処理装置 400 の設定や実装形態によっては、高画質化部 404 が、撮影条件群に応じて、高画質化エンジンに入力画像とともにパラメータを入力して、高画質化の程度等を調節してもよい。また、高画質化部 404 は、検者の入力に応じたパラメータを高画質化エンジンに入力画像とともに入力して高画質化の程度等を調整してもよい。

【0086】

ステップ S 550 では、出力部 405 が、ステップ S 540 において高画質画像が生成されていれば、高画質画像を出力して、表示部 20 に表示させる。一方、ステップ S 530 において高画質化処理が不可能であるとされていた場合には、入力画像を出力し、表示部 20 に表示させる。なお、出力部 405 は、表示部 20 に出力画像を表示させるのに代えて、撮影装置 10 や他の装置に出力画像を表示させたり、記憶させたりしてもよい。また、出力部 405 は、画像処理装置 400 の設定や実装形態によっては、出力画像を撮影装置 10 や他の装置が利用可能なように加工したり、画像管理システム等に送信可能なようにデータ形式を変換したりしてもよい。

【0087】

上記のように、本実施形態に係る画像処理装置 400 は、取得部 401 と、高画質化部 404 とを備える。取得部 401 は、被検者の所定部位の画像である入力画像（第 1 の画像）を取得する。高画質化部 404 は、機械学習エンジンを含む高画質化エンジンを用いて、入力画像から、入力画像と比べてノイズ低減及びコントラスト強調のうちの少なくとも一つがなされた高画質画像（第 2 の画像）を生成する。高画質化エンジンは、重ね合わせ処理により得られた画像を学習データとした機械学習エンジンを含む。

【0088】

当該構成により、本実施形態に係る画像処理装置 400 は、入力画像から、ノイズが低減されていたり、コントラストが強調されていたりする高画質画像を出力することができる。このため、画像処理装置 400 は、より明瞭な画像や観察したい部位や病変が強調されている画像等の画像診断に適した画像を、従来と比べて、撮影者や被検者の侵襲性を高めたり、労力を増したりすることなく、より少ない代償で取得することができる。

【0089】

また、画像処理装置 400 は、入力画像に対して、高画質化エンジンを用いて高画質画像を生成できる否かを判定する高画質化可否判定部 403 を更に備える。高画質化可否判定部 403 は、入力画像の撮影部位、撮影方式、撮影画角、及び画像サイズの少なくとも一つに基づいて当該判定を行う。

【0090】

当該構成により、本実施形態に係る画像処理装置 400 は、高画質化部 404 が処理できない入力画像を高画質化処理から省くことができ、画像処理装置 400 の処理負荷やエラーの発生を低減させることができる。

【0091】

なお、本実施形態においては、出力部 405（表示制御部）は、生成された高画質画像を表示部 20 に表示させる構成としたが、出力部 405 の動作はこれに限られない。例えば、出力部 405 は、高画質画像を撮影装置 10 や画像処理装置 400 に接続される他の装置に出力することもできる。このため、高画質画像は、これらの装置のユーザーインターフェースに表示されたり、任意の記憶装置に保存されたり、任意の画像解析に利用されたり、画像管理システムに送信されたりすることができる。

10

【0092】

本実施形態においては、高画質化可否判定部 403 が、高画質化エンジンによって高画質化可能な入力画像であるか否かを判定して、高画質化可能な入力画像であれば高画質化部 404 が高画質化を行った。これに対し、撮影装置 10 によって、高画質化可能な撮影条件でのみ撮影が行なわれる等の場合には、撮影装置 10 から取得した画像を無条件に高画質化してもよい。この場合には、図 6 に示すように、ステップ S520 とステップ S530 の処理を省き、ステップ S510 の次にステップ S540 を実施することができる。

【0093】

なお、本実施形態においては、出力部 405 が、表示部 20 に高画質画像を表示させる構成とした。しかしながら、出力部 405 は、検者からの指示に応じて、高画質画像を表示部 20 に表示させてもよい。例えば、出力部 405 は、検者が表示部 20 のユーザーインターフェース上の任意のボタンを押すことに応じて、高画質画像を表示部 20 に表示させてもよい。この場合、出力部 405 は、入力画像と切り替えて高画質画像を表示させてもよいし、入力画像と並べて高画質画像を表示させてもよい。

20

【0094】

さらに、出力部 405 は、表示部 20 に高画質画像を表示させる際に、表示されている画像が機械学習アルゴリズムを用いた処理により生成された高画質画像であることを示す表示を高画質画像とともに表示させてもよい。この場合には、ユーザーは、当該表示によって、表示された高画質画像が撮影によって取得した画像そのものではないことが容易に識別できるため、誤診断を低減させたり、診断効率を向上させたりすることができる。なお、機械学習アルゴリズムを用いた処理により生成された高画質画像であることを示す表示は、入力画像と当該処理により生成された高画質画像とを識別可能な表示であればどのような態様のものでもよい。

30

【0095】

また、出力部 405 は、機械学習アルゴリズムを用いた処理により生成された高画質画像であることを示す表示について、機械学習アルゴリズムがどのような教師データによって学習を行ったものであるかを示す表示を表示部 20 に表示させてもよい。当該表示としては、教師データの入力データと出力データの種類の説明や、入力データと出力データに含まれる撮影部位等の教師データに関する任意の表示を含んでよい。

【0096】

本実施形態に係る高画質化エンジンでは、教師データの出力データとして、重ね合わせ画像を用いたが、教師データはこれに限られない。教師データの出力データとして、高画質画像を得る手段である、重ね合わせ処理や、後述する処理群、後述する撮影方法のうち、少なくとも一つを行うことで得られる高画質画像を用いてもよい。

40

【0097】

例えば、教師データの出力データとして、元画像群に対して最大事後確率推定処理（MAP 推定処理）を行うことで得られる高画質画像を用いてもよい。MAP 推定処理では、複数の低画質画像における各画素値の確率密度から尤度関数を求め、求めた尤度関数を用いて真の信号値（画素値）を推定する。

【0098】

50

MAP推定処理により得られた高画質画像は、真の信号値に近い画素値に基づいて高コントラストな画像となる。また、推定される信号値は、確率密度に基づいて求められるため、MAP推定処理により得られた高画質画像では、ランダムに発生するノイズが低減される。このため、MAP推定処理により得られた高画質画像を教師データとして用いることで、高画質化エンジンは、入力画像から、ノイズが低減されたり、高コントラストとなったりした、画像診断に適した高画質画像を生成することができる。なお、教師データの入力データと出力データのペアの生成方法は、重ね合わせ画像を教師データとした場合と同様の方法で行われてよい。

【0099】

また、教師データの出力データとして、元画像に平滑化フィルタ処理を適用した高画質画像を用いてもよい。この場合には、高画質化エンジンは、入力画像から、ランダムノイズが低減された高画質画像を生成することができる。さらに、教師データの出力データとして、元画像に階調変換処理を適用した画像を用いてもよい。この場合には、高画質化エンジンは、入力画像から、コントラスト強調された高画質画像を生成することができる。なお、教師データの入力データと出力データのペアの生成方法は、重ね合わせ画像を教師データとした場合と同様の方法で行われてよい。

【0100】

なお、教師データの入力データは、撮影装置10と同じ画質傾向を持つ撮影装置から取得された画像でもよい。また、教師データの出力データは、逐次近似法等の高コストな処理によって得られた高画質画像であってもよいし、入力データに対応する被検者を、撮影装置10よりも高性能な撮影装置で撮影することで取得した高画質画像であってもよい。さらに、出力データは、ルールベースによるノイズ低減処理を行うことによって取得された高画質画像であってもよい。ここで、ノイズ低減処理は、例えば、低輝度領域内に現れた明らかにノイズである1画素のみの高輝度画素を、近傍の低輝度画素値の平均値に置き換える等の処理を含むことができる。このため、高画質化エンジンは、入力画像の撮影に用いられる撮影装置よりも高性能な撮影装置によって撮影された画像、又は入力画像の撮影工程よりも工数の多い撮影工程で取得された画像を学習データとしてもよい。例えば、高画質化エンジンは、モーションコントラスト正面画像を入力画像とする場合、入力画像のOCTA撮影に用いられるOCT撮影装置よりも高性能なOCT撮影装置によってOCTA撮影されて得た画像、又は入力画像のOCTA撮影工程よりも工数の多いOCTA撮影工程で取得されて得た画像を学習データとしてもよい。

【0101】

なお、本実施形態の説明では省略したが、教師データの出力データとして用いられる、複数の画像から生成された高画質画像は、位置合わせ済みの複数の画像から生成されることができる。当該位置合わせ処理としては、例えば、複数の画像のうちの一つをテンプレートとして選択し、テンプレートの位置と角度を変えながらその他の画像との類似度を求め、テンプレートとの位置ずれ量を求め、位置ずれ量に基づいて各画像を補正してよい。また、その他の既存の任意の位置合わせ処理を行ってもよい。

【0102】

なお、三次元画像を位置合わせする場合には、三次元画像を複数の二次元画像に分解し、二次元画像毎に位置合わせしたものを統合することで、三次元画像の位置合わせを行ってもよい。また、二次元画像を一次元画像に分解し、一次元画像毎に位置合わせしたものを統合することで、二次元画像の位置合わせを行ってもよい。なお、画像ではなく、画像を生成するためのデータに対して、これら位置合わせを行ってもよい。

【0103】

また、本実施形態では、高画質化可否判定部403が高画質化部404によって入力画像が対処可能であると判断したら、処理がステップS540に移行して、高画質化部404による高画質化処理が開始された。これに対し、出力部405が高画質化可否判定部403による判定結果を表示部20に表示させ、高画質化部404が検者からの指示に応じて高画質化処理を開始してもよい。この際、出力部405は、判定結果とともに、入力画

10

20

30

40

50

像や入力画像について取得した撮影部位等の撮影条件を表示部 20 に表示させることができる。この場合には、検者によって判定結果が正しいか否かが判断された上で、高画質化処理が行われるため、誤判定に基づく高画質化処理を低減させることができる。

【0104】

また、高画質化可否判定部 403 による判定を行わず、出力部 405 が入力画像や入力画像について取得した撮影部位等の撮影条件を表示部 20 に表示させ、高画質化部 404 が検者からの指示に応じて高画質化処理を開始してもよい。

【0105】

<第2の実施形態>

次に、図 4 及び 7 を参照して、第 2 の実施形態に係る画像処理装置について説明する。第 1 の実施形態では、高画質化部 404 は、一つの高画質化エンジンを備えていた。これに対して、本実施形態では、高画質化部が、異なる教師データを用いて機械学習を行った複数の高画質化エンジンを備え、入力画像に対して複数の高画質画像を生成する。

【0106】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第 1 の実施形態に係る画像処理装置 400 と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第 1 の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第 1 の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図 4 に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

【0107】

本実施形態に係る高画質化部 404 には、それぞれ異なる教師データを用いて機械学習が行われた二つ以上の高画質化エンジンが備えられている。ここで、本実施形態に係る教師データ群の作成方法について説明する。具体的には、まず、様々な撮影部位が撮影された、入力データとしての元画像と出力データとしての重ね合わせ画像のペア群を用意する。次に、撮影部位毎にペア群をグルーピングすることで、教師データ群を作成する。例えば、第 1 の撮影部位を撮影して取得されたペア群で構成される第 1 の教師データ、第 2 の撮影部位を撮影して取得されたペア群で構成される第 2 の教師データというように、教師データ群を作成する。

【0108】

その後、各教師データを用いて別々の高画質化エンジンに機械学習を行わせる。例えば、第 1 の教師データでトレーニングされた機械学習モデルに対応する第 1 の高画質化エンジン、第 2 の教師データでトレーニングされた機械学習モデルに対応する第 2 の高画質化エンジンというように高画質化エンジン群を用意する。

【0109】

このような高画質化エンジンは、それぞれ対応する機械学習モデルのトレーニングに用いた教師データが異なるため、高画質化エンジンに入力される画像の撮影条件によって、入力画像を高画質化できる程度が異なる。具体的には、第 1 の高画質化エンジンは、第 1 の撮影部位を撮影して取得された入力画像に対しては高画質化の程度が高く、第 2 の撮影部位を撮影して取得された画像に対しては高画質化の程度が低い。同様に、第 2 の高画質化エンジンは、第 2 の撮影部位を撮影して取得された入力画像に対しては高画質化の程度が高く、第 1 の撮影部位を撮影して取得された画像に対しては高画質化の程度が低い。

【0110】

教師データのそれぞれが撮影部位によってグルーピングされたペア群で構成されることにより、該ペア群を構成する画像群の画質傾向が似る。このため、高画質化エンジンは対応する撮影部位であれば、第 1 の実施形態に係る高画質化エンジンよりも効果的に高画質化を行うことができる。なお、教師データのペアをグルーピングするための撮影条件は、撮影部位に限られず、撮影画角であったり、画像の解像度であったり、これらのうちの二つ以上の組み合わせであったりしてもよい。

【0111】

以下、図 7 を参照して、本実施形態に係る一連の画像処理について説明する。図 7 は、本実施形態に係る一連の画像処理のフロー図である。なお、ステップ S 7 1 0 及びステップ S 7 2 0 の処理は、第 1 の実施形態に係るステップ S 5 1 0 及びステップ S 5 2 0 と同様であるため、説明を省略する。なお、入力画像に対して、無条件で高画質化する場合には、ステップ S 7 2 0 の処理の後に、ステップ S 7 3 0 の処理を省き、処理をステップ S 7 4 0 に移行してよい。

【0112】

ステップ S 7 2 0 において入力画像の撮影条件が取得されると、処理はステップ S 7 3 0 に移行する。ステップ S 7 3 0 においては、高画質化可否判定部 4 0 3 が、ステップ S 7 2 0 において取得した撮影条件群を用いて、高画質化部 4 0 4 が備える高画質化エンジン群のいずれかが、入力画像を対処可能であるか否かを判定する。

10

【0113】

高画質化可否判定部 4 0 3 が、高画質化エンジン群のいずれも入力画像を対処不可能であると判定した場合には、処理はステップ S 7 6 0 に移行する。一方で、高画質化可否判定部 4 0 3 が、高画質化エンジン群のいずれかが入力画像を対処可能であると判定した場合には、処理はステップ S 7 4 0 に移行する。なお、画像処理装置 4 0 0 の設定や実装形態によっては、第 1 の実施形態と同様に、高画質化エンジンによって一部の撮影条件が対処不可能であると判定されたとしても、ステップ S 7 4 0 を実施してもよい。

【0114】

ステップ S 7 4 0 においては、高画質化部 4 0 4 が、ステップ S 7 2 0 で取得した入力画像の撮影条件及び高画質化エンジン群の教師データの情報に基づいて、高画質化エンジン群から高画質化処理を行う高画質化エンジンを選択する。具体的には、例えば、ステップ S 7 2 0 において取得した撮影条件群のうちの撮影部位に対して、同撮影部位又は周囲の撮影部位に関する教師データの情報を有し、高画質化の程度が高い高画質化エンジンを選択する。上述の例では、撮影部位が第 1 の撮影部位である場合には、高画質化部 4 0 4 は第 1 の高画質化エンジンを選択する。

20

【0115】

ステップ S 7 5 0 では、高画質化部 4 0 4 が、ステップ S 7 4 0 において選択した高画質化エンジンを用いて、入力画像を高画質化した高画質画像を生成する。その後、ステップ S 7 6 0 において、出力部 4 0 5 は、ステップ S 7 5 0 において高画質画像が生成されていれば、高画質画像を出力して、表示部 2 0 に表示させる。一方、ステップ S 7 3 0 において高画質化処理が不可能であるとされていた場合には、入力画像を出力し、表示部 2 0 に表示させる。なお、出力部 4 0 5 は、高画質画像を表示部 2 0 に表示させる際、高画質化部 4 0 4 によって選択された高画質化エンジンを用いて生成された高画質画像であることを表示させてもよい。

30

【0116】

上記のように、本実施形態に係る高画質化部 4 0 4 は、それぞれ異なる学習データを用いて学習を行った複数の高画質化エンジンを備える。ここで、複数の高画質化エンジンの各々は、それぞれ撮影部位、撮影画角、異なる深度の正面画像、及び画像の解像度のうちの少なくとも一つについての異なる学習データを用いて学習を行ったものである。高画質化部 4 0 4 は、入力画像の撮影部位、撮影画角、異なる深度の正面画像、及び画像の解像度のうちの少なくとも一つに応じた高画質化エンジンを用いて、高画質画像を生成する。

40

【0117】

このような構成により、本実施形態に係る画像処理装置 4 0 0 は、より効果的な高画質画像を生成することができる。

【0118】

本実施形態では、高画質化部 4 0 4 が、入力画像の撮影条件に基づいて高画質化処理に用いる高画質化エンジンを選択したが、高画質化エンジンの選択処理はこれに限られない。例えば、出力部 4 0 5 が、取得した入力画像の撮影条件と高画質化エンジン群を表示部 2 0 のユーザーインターフェースに表示させ、検者からの指示に応じて、高画質化部 4 0

50

4が高画質化処理に用いる高画質化エンジンを選択してもよい。なお、出力部405は、高画質化エンジン群とともに各高画質化エンジンの学習に用いた教師データの情報を表示部20に表示させてもよい。なお、高画質化エンジンの学習に用いた教師データの情報の表示態様は任意であってよく、例えば、学習に用いた教師データに関連する名称を用いて高画質化エンジン群を表示してもよい。

【0119】

また、出力部405が、高画質化部404によって選択された高画質化エンジンを表示部20のユーザーインターフェースに表示させ、検者からの指示を受け付けてもよい。この場合、高画質化部404は、検者からの指示に応じて、当該高画質化エンジンを高画質化処理に用いる高画質化エンジンとして最終的に選択するか否かを判断してもよい。

10

【0120】

なお、出力部405は、第1の実施形態と同様に、生成された高画質画像を撮影装置10や画像処理装置400に接続される他の装置に出力してもよい。また、高画質化エンジンの教師データの出力データは、第1の実施形態と同様に、重ね合わせ処理を行った高画質画像に限られない。すなわち、重ね合わせ処理やMAP推定処理、平滑化フィルタ処理、階調変換処理、高性能な撮影装置を用いた撮影、高コストな処理、ノイズ低減処理といった処理群や撮影方法のうち、少なくとも一つを行うことによって得られた高画質画像を用いてもよい。

【0121】

＜第3の実施形態＞

20

次に、図4及び7を参照して、第3の実施形態に係る画像処理装置について説明する。第1及び2の実施形態では、撮影条件取得部402は、入力画像のデータ構造等から撮影条件群を取得する。これに対して、本実施形態では、撮影条件取得部は、撮影箇所推定エンジンを用いて、入力画像の撮影部位又は撮影領域を入力画像に基づいて推定する。

【0122】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第2の実施形態に係る画像処理装置400と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第2の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第1及び2の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図4に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

30

【0123】

本実施形態に係る撮影条件取得部402には、取得部401が取得した入力画像に描画されている撮影部位又は撮影領域を推定する撮影箇所推定エンジンが備えられている。本実施形態に係る撮影箇所推定エンジンの備える撮影箇所の推定手法では、機械学習アルゴリズムを用いた推定処理を行う。

【0124】

本実施形態では、機械学習アルゴリズムを用いた撮影箇所推定手法に係る機械学習モデルのトレーニングには、画像である入力データと、入力データに対応する撮影部位ラベルや撮影領域ラベルである出力データとのペア群で構成された教師データを用いる。ここで、入力データとは、処理対象（入力画像）として想定される特定の撮影条件を持つ画像のことである。入力データとしては、撮影装置10と同じ画質傾向を持つ撮影装置から取得された画像であることが好ましく、撮影装置10と同じ設定をされた同じ機種であることによりよい。出力データである撮影部位ラベルや撮影領域ラベルの種類は、入力データに少なくとも一部が含まれている撮影部位や撮影領域であってよい。出力データである撮影部位ラベルの種類は、例えば、OCTであれば、“黄斑部”、“視神経乳頭部”、“黄斑部及び視神経乳頭部”、並びに“その他”等であってよい。

40

【0125】

本実施形態に係る撮影箇所推定エンジンは、このような教師データを用いた学習を行ったことにより、入力された画像に描画されている撮影部位や撮影領域がどこであるかを出

50

力することができる。また、撮影箇所推定エンジンは、必要な詳細レベルの撮影部位ラベルや撮影領域ラベル毎に、該撮影部位や撮影領域である確率を出力することもできる。撮影箇所推定エンジンを用いることで、撮影条件取得部402は、入力画像に基づいて、入力画像の撮影部位や撮影領域を推定し、入力画像についての撮影条件として取得することができる。なお、撮影箇所推定エンジンが撮影部位ラベルや撮影領域ラベル毎に、該撮影部位や撮影領域である確率を出力する場合には、撮影条件取得部402は、最も確率の高い撮影部位や撮影領域を入力画像の撮影条件として取得する。

【0126】

次に、第2の実施形態と同様に、図7のフロー図を参照して、本実施形態に係る一連の画像処理について説明する。なお、本実施形態に係るステップS710、及びステップS730～ステップS760の処理は、第2の実施形態におけるこれらの処理と同様であるため、説明を省略する。なお、入力画像に対して、無条件で高画質化する場合には、ステップS720の処理の後に、ステップS730の処理を省き、処理をステップS740に移行してよい。

【0127】

ステップS710において入力画像が取得されると、処理はステップS720に移行する。ステップS720では、撮影条件取得部402が、ステップS710において取得した入力画像の撮影条件群を取得する。

【0128】

具体的には、入力画像のデータ形式に応じて、入力画像を構成するデータ構造に保存された撮影条件群を取得する。また、撮影条件群に撮影部位や撮影領域に関する情報が含まれていない場合、撮影条件取得部402は撮影箇所推定エンジンに入力画像を入力し、入力画像がどの撮影部位を撮影して取得されたものなのかを推定する。具体的には、撮影条件取得部402は、撮影箇所推定エンジンに入力画像を入力し、撮影部位ラベル群のそれぞれに対して出力された確率を評価し、最も確率の高い撮影部位を入力画像の撮影条件として設定・取得する。

【0129】

なお、入力画像に撮影部位や撮影領域以外の撮影条件が保存されていない場合には、撮影条件取得部402は、撮影装置10や不図示の画像管理システムから撮影条件群を含む撮影情報群を取得することができる。

【0130】

以降の処理は、第2実施形態に係る一連の画像処理と同様であるため説明を省略する。

【0131】

上記のように、本実施形態に係る撮影条件取得部402は、入力画像の撮影部位及び撮影領域のうちの少なくとも一方を推定する推定部として機能する。撮影条件取得部402は、撮影部位や撮影領域のラベルが付けられた画像を学習データとした撮影箇所推定エンジンを含み、撮影箇所推定エンジンに入力画像を入力することで、入力画像の撮影部位や撮影領域を推定する。

【0132】

これにより、本実施形態に係る画像処理装置400は、入力画像の撮影部位や撮影領域についての撮影条件を入力画像に基づいて取得することができる。

【0133】

なお、本実施形態では、撮影条件取得部402は、撮影条件群に撮影部位や撮影領域に関する情報が含まれていない場合に撮影箇所推定エンジンを用いて入力画像の撮影部位や撮影領域について推定を行った。しかしながら、撮影箇所推定エンジンを用いて撮影部位や撮影領域について推定を行う状況はこれに限られない。撮影条件取得部402は、入力画像のデータ構造に含まれる撮影部位や撮影領域についての情報が、必要な詳細レベルの情報として不足している場合にも、撮影箇所推定エンジンを用いて撮影部位や撮影領域について推定を行ってもよい。

【0134】

また、入力画像のデータ構造に撮影部位や撮影領域についての情報が含まれているか否かとは無関係に、撮影条件取得部402が撮影箇所推定エンジンを用いて入力画像の撮影部位や撮影領域を推定してもよい。この場合、出力部405が、撮影箇所推定エンジンから出力された推定結果と入力画像のデータ構造に含まれる撮影部位や撮影領域についての情報を表示部20に表示させ、撮影条件取得部402が検者の指示に応じて、これらの撮影条件を決定してもよい。

【0135】

なお、出力部405は、第1の実施形態と同様に、生成された高画質画像を撮影装置10や画像処理装置400に接続される他の装置に出力してもよい。また、高画質化エンジンの教師データの出力データは、第1の実施形態と同様に、重ね合わせ処理を行った高画質画像に限られない。すなわち、重ね合わせ処理やMAP推定処理、平滑化フィルタ処理、階調変換処理、高性能な撮影装置を用いた撮影、高コストな処理、ノイズ低減処理といった処理群や撮影方法のうち、少なくとも一つを行うことによって得られた高画質画像を用いてもよい。

【0136】

<第4の実施形態>

次に、図4、5、8及び9を参照して、第4の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、高画質化部が、入力画像を高画質化エンジンが対処可能な画像サイズになるように、入力画像を拡大又は縮小する。また、高画質化部は、高画質化エンジンからの出力画像を、出力画像の画像サイズが入力画像の画像サイズになるように縮小又は拡大して高画質画像を生成する。

【0137】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第1の実施形態に係る画像処理装置400と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第1の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第1の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図4に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

【0138】

本実施形態に係る高画質化部404には、第1の実施形態に係る高画質化エンジンと同様の、高画質化エンジンが備えられている。ただし、本実施形態では、高画質化エンジンの学習に用いる教師データとして、入力データの画像及び出力データの画像を一定の画像サイズになるように拡大又は縮小した画像群により構成した、入力データと出力データのペア群を用いている。

【0139】

ここで、図8を参照して、本実施形態に係る高画質化エンジンの教師データについて説明する。図8に示すように、例えば、教師データについて設定された一定の画像サイズより小さな低画質画像Im810と高画質画像Im820とがある場合を考える。この場合、教師データについて設定された一定の画像サイズとなるように、低画質画像Im810及び高画質画像Im820のそれぞれを拡大する。そして、拡大した低画質画像Im811と拡大した高画質画像Im821とをペアとして、当該ペアを教師データのの一つとして用いる。

【0140】

なお、第1の実施形態と同様に、教師データの入力データには、処理対象（入力画像）として想定される特定の撮影条件を持つ画像を用いるが、当該特定の撮影条件は、予め決定された撮影部位、撮影方式、及び撮影画角である。つまり、本実施形態に係る当該特定の撮影条件には、第1の実施形態と異なり、画像サイズは含まれない。

【0141】

本実施形態に係る高画質化部404は、このような教師データで学習が行われた高画質化エンジンを用いて、入力画像を高画質化して高画質画像を生成する。この際、高画質化

10

20

30

40

50

部 4 0 4 は、入力画像を教師データについて設定された一定の画像サイズになるように拡大又は縮小した変形画像を生成し、変形画像を高画質化エンジン入力する。また、高画質化部 4 0 4 は、高画質化エンジンからの出力画像を入力画像の画像サイズになるように縮小又は拡大し、高画質画像を生成する。このため、本実施形態に係る高画質化部 4 0 4 は、第 1 の実施形態では対処できなかった画像サイズの入力画像であっても、高画質化エンジンによって高画質化して高画質画像を生成することができる。

【 0 1 4 2 】

次に、図 5 及び 9 を参照して、本実施形態に係る一連の画像処理について説明する。図 9 は、本実施形態に係る高画質化処理のフロー図である。なお、本実施形態に係るステップ S 5 1 0、ステップ S 5 2 0、及びステップ S 5 5 0 の処理は、第 1 の実施形態におけるこれらの処理と同様であるため、説明を省略する。なお、入力画像に対して、画像サイズ以外の撮影条件について無条件で高画質化する場合には、ステップ S 5 2 0 の処理の後に、ステップ S 5 3 0 の処理を省き、処理をステップ S 5 4 0 に移行してよい。

【 0 1 4 3 】

ステップ S 5 2 0 において、第 1 の実施形態と同様に、撮影条件取得部 4 0 2 が入力画像の撮影条件群を取得したら処理はステップ S 5 3 0 に移行する。ステップ S 5 3 0 では、高画質化可否判定部 4 0 3 が、取得された撮影条件群を用いて、高画質化部 4 0 4 に備える高画質化エンジンが入力画像を対処可能であるか否かを判定する。具体的には、高画質化可否判定部 4 0 3 は、入力画像の撮影条件について、高画質化エンジンが対処可能な、撮影部位、撮影方式、及び撮影画角であるか否かを判定する。高画質化可否判定部 4 0 3 は、第 1 の実施形態と異なり、画像サイズは判定しない。

【 0 1 4 4 】

高画質化可否判定部 4 0 3 が、撮影部位、撮影方式、及び撮影画角について判定し、入力画像が対処可能と判定された場合には、処理はステップ S 5 4 0 に移行する。一方、高画質化可否判定部 4 0 3 が、これら撮影条件に基づいて、高画質化エンジンが入力画像を対処不可能であると判定した場合には、処理はステップ S 5 5 0 に移行する。なお、画像処理装置 4 0 0 の設定や実装形態によっては、撮影部位、撮影方式、及び撮影画角のうちの一部に基づいて入力画像が処理不可能であると判定されたとしても、ステップ S 5 4 0 における高画質化処理が実施されてもよい。

【 0 1 4 5 】

処理がステップ S 5 4 0 に移行すると、図 9 に示される本実施形態に係る高画質化処理が開始される。本実施形態に係る高画質化処理では、まず、ステップ S 9 1 0 において、高画質化部 4 0 4 が、入力画像を教師データについて設定された一定の画像サイズに拡大又は縮小し、変形画像を生成する。

【 0 1 4 6 】

次に、ステップ S 9 2 0 において、高画質化部 4 0 4 は、生成した変形画像を高画質化エンジンに入力し高画質化された高画質な変形画像を取得する。

【 0 1 4 7 】

その後、ステップ S 9 3 0 において、高画質化部 4 0 4 は、高画質な変形画像を入力画像の画像サイズに縮小又は拡大し、高画質画像を生成する。高画質化部 4 0 4 がステップ S 9 3 0 において高画質画像を生成したら、本実施形態に係る高画質化処理は終了し、処理はステップ S 5 5 0 に移行する。ステップ S 5 5 0 の処理は、第 1 の実施形態のステップ S 5 5 0 と同様であるため説明を省略する。

【 0 1 4 8 】

上記のように、本実施形態に係る高画質化部 4 0 4 は、入力画像の画像サイズを、高画質化エンジンが対処可能な画像サイズに調整して高画質化エンジンに入力する。また、高画質化部 4 0 4 は、高画質化エンジンからの出力画像を入力画像の元の画像サイズに調整することで高画質画像を生成する。これにより、本実施形態の画像処理装置 4 0 0 は、高画質化エンジンを用いて、第 1 の実施形態では対処できなかった画像サイズの入力画像についても高画質化して、画像診断に適切な高画質画像を生成することができる。

【0149】

なお、出力部405は、第1の実施形態と同様に、生成された高画質画像を撮影装置10や画像処理装置400に接続される他の装置に出力してもよい。また、高画質化エンジンの教師データの出力データは、第1の実施形態と同様に、重ね合わせ処理を行った高画質画像に限られない。すなわち、重ね合わせ処理やMAP推定処理、平滑化フィルタ処理、階調変換処理、高性能な撮影装置を用いた撮影、高コストな処理、ノイズ低減処理といった処理群や撮影方法のうち、少なくとも一つを行うことによって得られた高画質画像を用いてもよい。

【0150】

<第5の実施形態>

次に、図4、5、10及び11を参照して、第5の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、高画質化部が、高画質化エンジンによる一定の解像度を基準とした高画質化処理により高画質画像を生成する。

【0151】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第1の実施形態に係る画像処理装置400と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第1の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第1の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図4に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

【0152】

本実施形態に係る高画質化部404には、第1の実施形態と同様の、高画質化エンジンが備えられている。ただし、本実施形態では、高画質化エンジンの学習に用いる教師データが第1の実施形態における教師データと異なる。具体的には、教師データの入力データと出力データとのペア群を構成する画像群の解像度が一定の解像度となるような画像サイズに当該画像群を拡大又は縮小した後、十分に大きい一定の画像サイズとなるようにパディングしている。ここで、画像群の解像度とは、例えば、撮影装置の空間分解能や撮影領域に対する解像度をいう。

【0153】

ここで、図10を参照して、本実施形態に係る高画質化エンジンの教師データについて説明する。図10に示すように、例えば、教師データについて設定された一定の解像度より低い解像度を持つ低画質画像Im1010と高画質画像Im1020とがある場合を考える。この場合、教師データについて設定された一定の解像度となるように、低画質画像Im1010と高画質画像Im1020のそれぞれを拡大する。さらに、拡大された低画質画像Im1010と高画質画像Im1020のそれぞれについて、教師データについて設定された一定の画像サイズとなるようにパディングする。そして、拡大及びパディングが行われた低画質画像Im1011と高画質画像Im1021とをペアとし、当該ペアを教師データの一つとして用いる。

【0154】

なお、教師データについて設定された一定の画像サイズとは、処理対象（入力画像）として想定される画像を一定の解像度となるように拡大又は縮小したときの最大となりうる画像サイズである。当該一定の画像サイズが十分に大きくない場合には、高画質化エンジンに入力された画像を拡大したときに、機械学習モデルが対処不可能な画像サイズとなる可能性がある。

【0155】

また、パディングが行われる領域は、効果的に高画質化できるように機械学習モデルの特性に合わせて、一定の画素値で埋めたり、近傍画素値で埋めたり、ミラーパディングしたりする。なお、第1の実施形態と同様に、入力データには、処理対象として想定される特定の撮影条件を持つ画像を用いるが、当該特定の撮影条件は、予め決定された撮影部位、撮影方式、撮影画角である。つまり、本実施形態に係る当該特定の撮影条件には、第1

10

20

30

40

50

の実施形態と異なり、画像サイズは含まれない。

【0156】

本実施形態に係る高画質化部404は、このような教師データで学習が行われた高画質化エンジンを用いて、入力画像を高画質化して高画質画像を生成する。この際、高画質化部404は、入力画像を教師データについて設定された一定の解像度になるように拡大又は縮小した変形画像を生成する。また、高画質化部404は、変形画像について、教師データについて設定された一定の画像サイズとなるようにパディングを行ってパディング画像を生成し、パディング画像を高画質化エンジン入力する。

【0157】

また、高画質化部404は、高画質化エンジンから出力された高画質なパディング画像について、パディングを行った領域分だけトリミングし、高画質な変形画像を生成する。その後、高画質化部404は、生成した高画質な変形画像を入力画像の画像サイズになるように縮小又は拡大し、高画質画像を生成する。

【0158】

このため、本実施形態に係る高画質化部404は、第1の実施形態では対処できなかった画像サイズの入力画像であっても、高画質化エンジンによって高画質化して高画質画像を生成することができる。

【0159】

次に、図5及び11を参照して、本実施形態に係る一連の画像処理について説明する。図11は、本実施形態に係る高画質化処理のフロー図である。なお、本実施形態に係るステップS510、ステップS520、及びステップS550の処理は、第1の実施形態におけるこれらの処理と同様であるため、説明を省略する。なお、入力画像に対して、画像サイズ以外の撮影条件について無条件で高画質化する場合には、ステップS520の処理の後に、ステップS530の処理を省き、処理をステップS540に移行してよい。

【0160】

ステップS520において、第1の実施形態と同様に、撮影条件取得部402が入力画像の撮影条件群を取得したら、処理はステップS530に移行する。ステップS530では、高画質化可否判定部403が、取得された撮影条件群を用いて、高画質化部404に備える高画質化エンジンが入力画像を対処可能であるか否かを判定する。具体的には、高画質化可否判定部403は、入力画像の撮影条件について、高画質化エンジンが対処可能な、撮影部位、撮影方式、及び撮影画角であるか否かを判定する。高画質化可否判定部403は、第1の実施形態と異なり、画像サイズは判定しない。

【0161】

高画質化可否判定部403が、撮影部位、撮影方式、及び撮影画角について判定し、入力画像が対処可能と判定された場合には、処理はステップS540に移行する。一方、高画質化可否判定部403が、これら撮影条件に基づいて、高画質化エンジンが入力画像を対処不可能であると判定した場合には、処理はステップS550に移行する。なお、画像処理装置400の設定や実装形態によっては、撮影部位、撮影方式、及び撮影画角のうちの一部に基づいて入力画像が処理不可能であると判定されたとしても、ステップS540における高画質化処理が実施されてもよい。

【0162】

処理がステップS540に移行すると、図11に示される本実施形態に係る高画質化処理が開始される。本実施形態に係る高画質化処理では、まず、ステップS1110において、高画質化部404が、入力画像を教師データについて設定された一定の解像度となるように拡大又は縮小し、変形画像を生成する。

【0163】

次に、ステップS1120において、高画質化部404は、生成した変形画像について、教師データについて設定された画像サイズとなるように、パディングを行ってパディング画像を生成する。この際、高画質化部404は、パディングを行う領域について、効果的に高画質化できるように機械学習モデルの特性に合わせて、一定の画素値で埋めたり、

10

20

30

40

50

近傍画素値で埋めたり、ミラーパディングしたりする。

【0164】

ステップS1130では、高画質化部404がパディング画像を高画質化エンジンに入力し高画質化された高画質なパディング画像を取得する。

【0165】

次に、ステップS1140において、高画質化部404は、高画質なパディング画像について、ステップS1120でパディングを行った領域分だけトリミングを行い、高画質な変形画像を生成する。

【0166】

その後、ステップS1150において、高画質化部404は、高画質な変形画像を入力画像の画像サイズに縮小又は拡大し、高画質画像を生成する。高画質化部404がステップS1130において高画質画像を生成したら、本実施形態に係る高画質化処理は終了し、処理はステップS550に移行する。ステップS550の処理は、第1の実施形態のステップS550と同様であるため説明を省略する。

【0167】

上記のように、本実施形態による高画質化部404は、入力画像の解像度が所定の解像度となるように、入力画像の画像サイズを調整する。また、高画質化部404は、画像サイズが調整された入力画像について、調整された画像サイズが高画質化エンジンによって対処可能な画像サイズとなるように、パディングを行ったパディング画像を生成し、パディング画像を高画質化エンジンに入力する。その後、高画質化部404は、高画質化エンジンからの出力画像について、パディングを行った領域分だけトリミングを行う。そして、高画質化部404は、トリミングが行われた画像の画像サイズを、入力画像の元の画像サイズに調整することで高画質画像を生成する。

【0168】

これにより、本実施形態の高画質化部404は、第1の実施形態では対処できなかった画像サイズの入力画像であっても、高画質化エンジンによって高画質化して高画質画像を生成することができる。また、解像度を基準とした教師データで学習した高画質化エンジンを用いることで、単純に同一な画像サイズの画像を処理する第4の実施形態に係る高画質化エンジンよりも、効率よく入力画像を高画質化できる場合がある。

【0169】

なお、出力部405は、第1の実施形態と同様に、生成された高画質画像を撮影装置10や画像処理装置400に接続される他の装置に出力してもよい。また、高画質化エンジンの教師データの出力データは、第1の実施形態と同様に、重ね合わせ処理を行った高画質画像に限られない。すなわち、重ね合わせ処理やMAP推定処理、平滑化フィルタ処理、階調変換処理、高性能な撮影装置を用いた撮影、高コストな処理、ノイズ低減処理といった処理群や撮影方法のうち、少なくとも一つを行うことによって得られた高画質画像を用いてもよい。

【0170】

＜第6の実施形態＞

次に、図4、5、12及び13を参照して、第6の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、高画質化部が、入力画像を一定の画像サイズの領域毎に高画質化することにより高画質画像を生成する。

【0171】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第1の実施形態に係る画像処理装置400と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第1の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第1の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図4に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

【0172】

本実施形態に係る高画質化部404には、第1の実施形態と同様の、高画質化エンジンが備えられている。ただし、本実施形態では、高画質化エンジンの学習に用いる教師データが第1の実施形態における教師データと異なる。具体的には、教師データを構成する、低画質画像である入力データと高画質画像である出力データとのペア群を、低画質画像及び高画質画像における、位置関係が対応する一定の画像サイズの矩形領域画像によって構成している。なお、矩形領域は、部分領域の一例であり、矩形である必要はなく、どのような形状であってもよい。

【0173】

ここで、図12を参照して、本実施形態に係る高画質化エンジンの教師データについて説明する。図12に示すように、教師データを構成するペア群の一つに、例えば、低画質画像である元画像Im1210と、高画質画像である重ね合わせ画像Im1220があるとした場合を考える。この場合、第1の実施形態においては、教師データの入力データをIm1210、出力データをIm1220とした。

【0174】

これに対し、本実施形態においては、元画像Im1210のうちの矩形領域画像R1211を入力データとし、重ね合わせ画像Im1220において矩形領域画像R1211と同じ撮影領域である矩形領域画像R1221を出力データとする。そして、入力データである矩形領域画像R1211と出力データである矩形領域画像R1221によって教師データのペア（以下、第1の矩形領域画像ペア）を構成する。ここで、矩形領域画像R1211と矩形領域画像R1221は、一定の画像サイズの画像とされる。なお、元画像Im1210と重ね合わせ画像Im1220は任意の方法により位置合わせされてよい。また、矩形領域画像R1211と矩形領域画像R1221の対応する位置関係はテンプレートマッチングなどの任意の方法によって特定されてよい。なお、高画質化エンジンの設計によっては、入力データと出力データの、それぞれの画像サイズや次元数は異なってもよい。例えば、処理対象がOCTの画像である場合に、入力データがBスキャン画像（二次元画像）の一部であるとき、出力データがAスキャン画像（一次元画像）の一部であってもよい。

【0175】

矩形領域画像R1211、R1221に関する一定の画像サイズは、例えば、処理対象（入力画像）として想定される画像の画像サイズ群について、対応する各次元の画素数群の公約数から決定することができる。この場合には、高画質化エンジンが出力する矩形領域画像群の位置関係が重なることを防ぐことができる。具体的に、例えば、処理対象として想定される画像が二次元画像であり、画像サイズ群のうちの第1の画像サイズが幅500画素、高さ500画素であり、第2の画像サイズが幅100画素、高さ100画素である場合を考える。ここで、各辺の公約数から、矩形領域画像R1211、R1221に関する一定の画像サイズを選択する。この場合には、例えば、一定の画像サイズを、幅100画素、高さ100画素や、幅50画素、高さ50画素や、幅25画素、高さ25画素等から選択する。

【0176】

処理対象として想定される画像が三次元である場合には、幅、高さ、奥行きに関して画素数を決定する。なお、矩形領域は、入力データに対応する低画質画像と出力データに対応する高画質画像のペアの一つに対して、複数設定可能である。このため、例えば、元画像Im1210のうちの矩形領域画像R1212を入力データ、重ね合わせ画像Im1220において矩形領域画像R1212と同じ撮影領域である矩形領域画像R1222を出力データとする。そして、入力データである矩形領域画像R1212と出力データである矩形領域画像R1222によって教師データのペアを構成する。これにより、第1の矩形領域画像ペアとは別の矩形領域画像ペアを作成できる。

【0177】

なお、矩形領域の画像を異なる座標の画像に変えながら多数の矩形領域画像のペアを作成することで教師データを構成するペア群を充実させることができ、当該教師ペアを用い

10

20

30

40

50

て学習を行った高画質化エンジンによって効率的な高画質化が期待できる。ただし、機械学習モデルの高画質化に寄与しないペアは教師データに加えないようにすることができる。例えば、ペアを構成する出力データである高画質画像から作成した矩形領域画像が診断に適さない画質である場合には、そのような教師データを用いて学習を行った高画質化エンジンが出力する画像も画像診断に適さない画質になってしまう可能性がある。そのため、そのような高画質画像を含むペアを教師データから取り除くことができる。

【0178】

また、例えば、ペアである、低画質画像から作成した矩形領域画像と高画質画像から作成した矩形領域画像の平均輝度や輝度分布が大きく異なる場合も、そのようなペアを教師データから取り除くことができる。そのような教師データを用いて学習を行うと、高画質化エンジンが入力画像と大きく異なる輝度分布を持つ画像診断に適さない画像を出力してしまう可能性がある。

【0179】

さらに、例えば、ペアである、低画質画像から作成した矩形領域画像と高画質画像から作成した矩形領域画像とに描画される撮影対象の構造や位置が大きく異なる場合を考える。この場合には、そのような教師データを用いて学習を行った高画質化エンジンが入力画像と大きく異なる構造や位置に撮影対象を描画した画像診断に適さない画像を出力してしまう可能性がある。そのため、このようなペアを教師データから取り除くこともできる。

【0180】

なお、第1の実施形態と同様に、教師データの入力データには、処理対象として想定される特定の撮影条件を持つ画像を用いるが、当該特定の撮影条件は、予め決定された撮影部位、撮影方式、及び撮影画角である。つまり、本実施形態に係る当該特定の撮影条件には、第1の実施形態と異なり、画像サイズは含まれない。

【0181】

本実施形態に係る高画質化部404は、このような教師データで学習が行われた高画質化エンジンを用いて、入力画像を高画質化して高画質画像を生成する。この際、高画質化部404は、入力された画像を、隙間なく連続する、教師データについて設定された一定の画像サイズの矩形領域画像群に分割する。高画質化部404は、分割した矩形領域画像群のそれぞれを高画質化エンジンにより高画質化し、高画質な矩形領域画像群を生成する。その後、高画質化部404は、生成した高画質な矩形領域画像群を、入力画像の位置関係に応じて配置して結合し、高画質画像を生成する。ここで、学習時には、ペア画像である入力データと出力データとの互いの位置関係が対応していれば、それぞれの矩形領域を低画質画像及び高画質画像における任意の場所から切り出して（抽出して）もよい。一方、高画質化時には、入力画像を隙間なく連続する矩形領域画像群に分割してもよい。また、学習時の各ペア画像の画像サイズと、高画質化時の各矩形領域画像の画像サイズとが互いが対応する（例えば、同一となる）ように設定されてもよい。これらにより、学習効率を上げつつ、無駄な計算や足りない所が出てくると画像にならないという問題が生じないようにすることができる。

【0182】

このように、本実施形態の高画質化部404は、入力された画像を矩形領域単位で高画質化し、高画質化した画像を結合することで、第1の実施形態では対処できなかった画像サイズの画像をも高画質化して高画質画像を生成することができる。

【0183】

次に、図5、13及び14を参照して、本実施形態に係る一連の画像処理について説明する。図13は、本実施形態に係る高画質化処理のフロー図である。なお、本実施形態に係るステップS510、ステップS520、及びステップS550の処理は、第1の実施形態におけるこれらの処理と同様であるため、説明を省略する。なお、入力画像に対して、画像サイズ以外の撮影条件について無条件で高画質化する場合には、ステップS520の処理の後に、ステップS530の処理を省き、処理をステップS540に移行してよい。

【0184】

ステップ S 5 2 0 において、第 1 の実施形態と同様に、撮影条件取得部 4 0 2 が入力画像の撮影条件群を取得したら、処理はステップ S 5 3 0 に移行する。ステップ S 5 3 0 では、高画質化可否判定部 4 0 3 が、取得された撮影条件群を用いて、高画質化部 4 0 4 に備える高画質化エンジンが入力画像を対処可能であるか否かを判定する。具体的には、高画質化可否判定部 4 0 3 は、入力画像の撮影条件について、高画質化エンジンが対処可能な、撮影部位、撮影方式、及び撮影画角であるか否かを判定する。高画質化可否判定部 4 0 3 は、第 1 の実施形態と異なり、画像サイズは判定しない。

【 0 1 8 5 】

高画質化可否判定部 4 0 3 が、撮影部位、撮影方式、及び撮影画角について判定し、入力画像が対処可能と判定された場合には、処理はステップ S 5 4 0 に移行する。一方、高画質化可否判定部 4 0 3 が、これら撮影条件に基づいて、高画質化エンジンが入力画像を対処不可能であると判定した場合には、処理はステップ S 5 5 0 に移行する。なお、画像処理装置 4 0 0 の設定や実装形態によっては、撮影部位、撮影方式、及び撮影画角のうちの一部に基づいて入力画像が処理不可能であると判定されたとしても、ステップ S 5 4 0 における高画質化処理が実施されてもよい。

【 0 1 8 6 】

処理がステップ S 5 4 0 に移行すると、図 1 3 に示される本実施形態に係る高画質化処理が開始される。これについて図 1 4 を用いて説明をする。本実施形態に係る高画質化処理では、まず、ステップ S 1 3 1 0 において、図 1 4 (a) に示すように、入力画像を隙間なく連続する、教師データについて設定された一定の画像サイズ (R 1 4 1 1 に示すサイズ) の矩形領域画像群に分割する。ここで、図 1 4 (a) は、入力画像 I m 1 4 1 0 を一定の画像サイズの矩形領域画像 R 1 4 1 1 ~ R 1 4 2 6 群に分割した一例を示す。なお、上述のように、高画質化エンジンの設計によっては、高画質化エンジンの入力画像と出力画像の、それぞれの画像サイズや次元数が異なってもよい。この場合には、ステップ S 1 3 2 0 において生成される結合された高画質画像に欠損が無いように、入力画像の分割位置を重複させたり、分離させたりして、調整することができる。図 1 4 (b) には分割位置を重複させる例を示す。図 1 4 (b) において、R 1 4 1 1 '、R 1 4 1 2 ' が重複した領域を示している。煩雑になるため図示はしないが、R 1 4 1 3 ~ R 1 4 2 6 においても同様な重複領域 R 1 4 1 3 ' ~ R 1 4 2 6 ' を持つものとする。なお、図 1 4 (b) の場合の教師データについて設定される矩形領域サイズは、R 1 4 1 1 ' に示すサイズである。入力画像 I m 1 4 1 0 の画像外部の周辺 (上下左右端) においてはデータが存在しないため、一定の画素値で埋めたり、近傍画素値で埋めたり、ミラーパディングしたりする。また、高画質化エンジンによっては、フィルタ処理により画像内部の周辺 (上下左右端) では、高画質化の精度が低下する場合がある。そのため、図 1 4 (b) のように分割位置を重複して矩形領域画像を設定し、最終的な画像としては矩形領域画像の一部をトリミングして合成するようにしてもよい。高画質化エンジンの特性に応じて、矩形領域のサイズを設定する。なお、図 1 4 (a)、(b) には O C T の断層画像を例示したが、図 1 4 (c)、(d) に示すように入力画像 (I m 1 4 5 0) は O C T A の E n - F a c e 画像のような正面画像でもよく、同様の処理が可能である。なお、矩形領域画像のサイズは、対象とする画像や高画質化エンジンの種類に応じて適切に設定を行う。

【 0 1 8 7 】

次に、ステップ S 1 3 2 0 において、高画質化部 4 0 4 は、矩形領域画像 R 1 4 1 1 ~ R 1 4 2 6 群、あるいは重複領域を設定している場合は矩形領域画像 R 1 4 1 1 ' ~ R 1 4 2 6 ' 群のそれぞれを高画質化エンジンにより高画質化し、高画質な矩形領域画像群を生成する。

【 0 1 8 8 】

そして、ステップ S 1 3 3 0 において、高画質化部 4 0 4 は、生成した高画質な矩形領域画像群のそれぞれを、入力画像について分割した矩形領域画像 R 1 4 1 1 ~ R 1 4 2 6 群のそれぞれと同様の位置関係に配置して結合し、高画質画像を生成する。重複領域を設定している場合には、矩形領域画像 R 1 4 1 1 ' ~ R 1 4 2 6 ' それぞれと同様の位置関係

に配置した後に矩形領域画像 R 1 4 1 1 ~ R 1 4 2 6 を切り出して結合し、高画質画像を生成する。なお、重複領域を利用して矩形領域画像 R 1 4 1 1 ' ~ R 1 4 2 6 ' の輝度値を補正するようにしてもよい。例えば、基準とする矩形領域画像を任意に設定する。そして、基準矩形画像と重複する領域のある隣接矩形画像において、同じ座標点の輝度値を計測することで、隣接画像間における輝度値の差（比率）が分かる。同様に、全ての画像においても重複領域における輝度値の差（比率）を求めることで、全体として輝度値のムラを無くすように補正を行うことが可能となる。なお、輝度値補正に重複領域を全て利用する必要はなく、重複領域の一部（周辺部数ピクセル）は使用しなくてもよい。

【0189】

上記のように、本実施形態に係る高画質化部 4 0 4 は、入力画像を所定の画像サイズの複数の矩形領域画像（第 3 の画像） R 1 4 1 1 ~ R 1 4 2 6 に分割する。その後、高画質化部 4 0 4 は、分割した複数の矩形領域画像 R 1 4 1 1 ~ R 1 4 2 6 を高画質化エンジンに入力して複数の第 4 の画像を生成し、複数の第 4 の画像を統合することで、高画質画像を生成する。なお、統合時に矩形領域群間で位置関係が重なる場合には、該矩形領域群の画素値群を統合したり、上書きしたりすることができる。

【0190】

これにより、本実施形態の高画質化部 4 0 4 は、第 1 の実施形態では対処できなかった画像サイズの入力画像であっても、高画質化エンジンによって高画質化して高画質画像を生成することができる。また、教師データを、低画質画像及び高画質画像を所定の画像サイズに分割した複数の画像から作成すると、少ない画像から多くの教師データを作成することができる。そのため、この場合には、教師データを作成するための低画質画像及び高画質画像の数を少なくすることができる。

【0191】

なお、出力部 4 0 5 は、第 1 の実施形態と同様に、生成された高画質画像を撮影装置 1 0 や画像処理装置 4 0 0 に接続される他の装置に出力してもよい。また、高画質化エンジンの教師データの出力データは、第 1 の実施形態と同様に、重ね合わせ処理を行った高画質画像に限られない。すなわち、重ね合わせ処理や M A P 推定処理、平滑化フィルタ処理、階調変換処理、高性能な撮影装置を用いた撮影、高コストな処理、ノイズ低減処理といった処理群や撮影方法のうち、少なくとも一つを行うことによって得られた高画質画像を用いてもよい。

【0192】

< 第 7 の実施形態 >

次に、図 1 5 ~ 1 7 を参照して、第 7 の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、画質評価部が、検者の指示に応じて、複数の高画質化エンジンから出力された複数の高画質画像のうち最も高画質な画像を選択する。

【0193】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第 1 の実施形態に係る画像処理装置 4 0 0 と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第 1 の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。

【0194】

図 1 5 は、本実施形態に係る画像処理装置 1 5 0 0 の概略的な構成を示す。本実施形態に係る画像処理装置 1 5 0 0 には、取得部 4 0 1、撮影条件取得部 4 0 2、高画質化可否判定部 4 0 3、高画質化部 4 0 4、及び出力部 4 0 5 に加えて、画質評価部 1 5 0 6 が設けられている。なお、画像処理装置 1 5 0 0 は、これら構成要素のうちの一部が設けられた複数の装置で構成されてもよい。ここで、取得部 4 0 1、撮影条件取得部 4 0 2、高画質化可否判定部 4 0 3、高画質化部 4 0 4、及び出力部 4 0 5 は、第 1 の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図 4 に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

【0195】

また、画像処理装置 1 5 0 0 は、第 1 の実施形態に係る画像処理装置 4 0 0 と同様に撮

10

20

30

40

50

影装置 10、表示部 20 及び不図示の他の装置と、任意の回路やネットワークを介して接続されてよい。また、これらの装置は、他の任意の装置と回路やネットワークを介して接続されてもよいし、他の任意の装置と一体的に構成されてもよい。なお、これらの装置は本実施形態では別個の装置とされているが、これらの装置の一部又は全部を一体的に構成してもよい。

【0196】

本実施形態に係る高画質化部 404 には、それぞれ異なる教師データを用いて機械学習が行われた二つ以上の高画質化エンジンが備えられている。ここで、本実施形態に係る教師データ群の作成方法について説明する。具体的には、まず、様々な撮影条件によって撮影された、低画質画像である入力データと高画質画像である出力データのペア群を用意する。次に、任意の撮影条件の組み合わせによってペア群をグルーピングすることで、教師データ群を作成する。例えば、第 1 の撮影条件の組み合わせによって取得されたペア群で構成される第 1 の教師データ、第 2 の撮影条件の組み合わせによって取得されたペア群で構成される第 2 の教師データというように、教師データ群として作成する。

【0197】

その後、各教師データを用いて別々の高画質化エンジンに機械学習を行わせる。例えば、第 1 の教師データでトレーニングされた機械学習モデルに対応する第 1 の高画質化エンジン、第 1 の教師データでトレーニングされた機械学習モデルに対応する第 1 の高画質化エンジンというように高画質化エンジン群を用意する。

【0198】

このような高画質化エンジンは、それぞれ対応する機械学習モデルのトレーニングに用いた教師データが異なるため、高画質化エンジンに入力される画像の撮影条件によって、入力画像を高画質化できる程度が異なる。具体的には、第 1 の高画質化エンジンは、第 1 の撮影条件の組み合わせで撮影して取得された入力画像に対しては高画質化の程度が高く、第 2 の撮影条件の組み合わせで撮影して取得された画像に対しては高画質化の程度が低い。同様に、第 2 の高画質化エンジンは、第 2 の撮影条件で撮影して取得された入力画像に対しては高画質化の程度が高く、第 1 の撮影条件で撮影して取得された画像に対しては高画質化の程度が低い。

【0199】

教師データのそれぞれが撮影条件の組み合わせによってグルーピングされたペア群で構成されることにより、該ペア群を構成する画像群の画質傾向が似る。このため、高画質化エンジンは対応する撮影条件の組み合わせであれば、第 1 の実施形態に係る高画質化エンジンよりも効果的に高画質化を行うことができる。なお、教師データのペアをグルーピングするための撮影条件の組み合わせは、任意であってよく、例えば、撮影部位、撮影画角、及び画像の解像度のうちの二つ以上の組み合わせであってよい。また、教師データのグルーピングを、第 2 の実施形態と同様に、一つの撮影条件に基づいて行ってもよい。

【0200】

画質評価部 1506 は、高画質化部 404 が、複数の高画質化エンジンを用いて生成した複数の高画質画像について、検者の指示に応じて、最も画質の高い高画質画像を選択する。

【0201】

出力部 405 は、画質評価部 1506 が選択した高画質画像を表示部 20 に表示させたり、他の装置に出力したりすることができる。なお、出力部 405 は、高画質化部 404 が生成した複数の高画質画像を表示部 20 に表示させることができ、画質評価部 1506 は、表示部 20 を確認した検者からの指示に応じて最も画質の高い高画質画像を選択することができる。

【0202】

これにより、画像処理装置 1500 は、複数の高画質化エンジンを用いて生成された複数の高画質画像のうち、検者の指示に応じた最も画質の高い高画質画像を出力することができる。

10

20

30

40

50

【0203】

以下、図16及び17を参照して、本実施形態に係る一連の画像処理について説明する。図16は、本実施形態に係る一連の画像処理のフロー図である。なお、本実施形態に係るステップS1610及びステップS1620の処理は、第1の実施形態におけるステップS510及びステップS520での処理と同様であるため、説明を省略する。なお、入力画像に対して、撮影条件について無条件で高画質化する場合には、ステップS1620の処理の後に、ステップS1630の処理を省き、処理をステップS1640に移行してよい。

【0204】

ステップS1620において、第1の実施形態と同様に、撮影条件取得部402が入力画像の撮影条件群を取得したら、処理はステップS1630に移行する。ステップS1630では、高画質化可否判定部403が、第2の実施形態と同様に、取得された撮影条件群を用いて、高画質化部404に備える高画質化エンジンのいずれかが入力画像を対処可能であるか否かを判定する。

10

【0205】

高画質化可否判定部403が、高画質化エンジン群のいずれも入力画像を対処不可能であると判定した場合には、処理はステップS1660に移行する。一方で、高画質化可否判定部403が、高画質化エンジン群のいずれかが入力画像を対処可能であると判定した場合には、処理はステップS1640に移行する。なお、画像処理装置400の設定や実装形態によっては、第1の実施形態と同様に、高画質化エンジンによって一部の撮影条件が対処不可能であると判定されたとしても、ステップS1640を実施してもよい。

20

【0206】

ステップS1640においては、高画質化部404が、高画質化エンジン群のそれぞれにステップS1610において取得した入力画像を入力し、高画質画像群を生成する。

【0207】

ステップS1650では、画質評価部1506が、ステップS1640において生成された高画質画像群のうち最も高画質な画像を選択する。具体的には、まず、出力部405が、ステップS1640で生成された高画質画像群を、表示部20のユーザーインターフェースに表示させる。

【0208】

ここで、図17に当該インターフェースの一例を示す。当該インターフェースには、入力画像Im1710、及び高画質化エンジン群のそれぞれが出力した高画質画像Im1720、Im1730、Im1740、Im1750のそれぞれが表示される。検者は不図示の任意の入力装置を操作して、画像群（高画質画像Im1720～Im1750）のうち、最も高画質、つまり、最も画像診断に適した画像を指示する。なお、高画質化エンジンによって高画質化していない入力画像の方が、画像診断に適している可能性もあるので、検者による指示の対象となる画像群に入力画像を加えてもよい。

30

【0209】

その後、画質評価部1506は、検者によって指示された高画質画像を最も高画質な画像として選択する。

40

【0210】

ステップS1660においては、出力部405が、ステップS1650において選択された画像を表示部20に表示させたり、他の装置に出力したりする。ただし、ステップS1630において、入力画像が処理不可能であると判定されている場合には、出力部405は、入力画像を出力画像として出力する。なお、出力部405は、検者によって入力画像が指示された場合や、入力画像が処理不可能であった場合には、表示部20に出力画像が入力画像と同じであることを表示させてもよい。

【0211】

上記のように、本実施形態に係る高画質化部404は、複数の高画質化エンジンを用いて、入力画像から複数の高画質画像を生成し、画像処理装置1500の出力部405は、

50

検者の指示に応じて、複数の高画質画像のうち少なくとも一つの画像を出力する。特に、本実施形態では、出力部 405 は、検者の指示に応じて、最も高画質な画像を出力する。これにより、画像処理装置 1500 は、複数の高画質化エンジンを用いて生成された複数の高画質画像のうち、検者の指示に応じた画質の高い高画質画像を出力することができる。
【0212】

なお、出力部 405 は、第 1 の実施形態と同様に、生成された高画質画像を撮影装置 10 や画像処理装置 1500 に接続される他の装置に出力してもよい。また、高画質化エンジンの教師データの出力データは、第 1 の実施形態と同様に、重ね合わせ処理を行った高画質画像に限られない。すなわち、重ね合わせ処理や M A P 推定処理、平滑化フィルタ処理、階調変換処理、高性能な撮影装置を用いた撮影、高コストな処理、ノイズ低減処理といった処理群や撮影方法のうち、少なくとも一つを行うことによって得られた高画質画像を用いてもよい。

10

【0213】

＜第 8 の実施形態＞

次に、図 15 及び 16 を参照して、第 8 の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、画質評価部が、画質評価エンジンを用いて、複数の高画質化エンジンから出力された複数の高画質画像のうち最も高画質な画像を選択する。

【0214】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第 7 の実施形態に係る画像処理装置 1500 と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第 7 の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第 7 の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図 15 に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

20

【0215】

本実施形態に係る画質評価部 1506 には、入力された画像の画質を評価する画質評価エンジンが備えられている。画質評価エンジンは入力された画像に対する画質評価指数を出力する。本実施形態に係る画質評価エンジンにおいて画質評価指数を算出する画質評価処理手法は、機械学習アルゴリズムを用いて構築した機械学習モデルを用いる。機械学習モデルをトレーニングする教師データを構成するペアの入力データは、事前に様々な撮影条件によって撮影された低画質画像群と高画質画像群とで構成される画像群である。また、機械学習モデルをトレーニングする教師データを構成するペアの出力データは、例えば、画像診断を行う検者が入力データの画像群のそれぞれについて設定した画質評価指数群である。

30

【0216】

次に図 16 を参照して、本実施形態に係る一連の画像処理について説明する。なお、本実施形態に係るステップ S 1610、ステップ S 1620、ステップ S 1630、及びステップ S 1660 の処理は、第 7 の実施形態におけるこれらの処理と同様であるため、説明を省略する。なお、入力画像に対して、撮影条件について無条件で高画質化する場合には、ステップ S 1620 の処理の後に、ステップ S 1630 の処理を省き、処理をステップ S 1640 に移行してよい。

40

【0217】

ステップ S 1630 において、第 7 の実施形態と同様に、高画質化可否判定部 403 が、高画質化エンジン群のいずれかが入力画像を対処可能であると判定した場合には、処理はステップ S 1640 に移行する。なお、画像処理装置 400 の設定や実装形態によっては、第 1 の実施形態と同様に、高画質化エンジンによって一部の撮影条件が対処不可能であると判定されたとしても、ステップ S 1640 を実施してもよい。

【0218】

ステップ S 1640 においては、高画質化部 404 が、高画質化エンジン群のそれぞれにステップ S 1610 において取得した入力画像を入力し、高画質画像群を生成する。

50

【0219】

ステップS1650では、画質評価部1506が、ステップS1640において生成された高画質画像群のうち最も高画質な画像を選択する。具体的には、まず、画質評価部1506が、ステップS1640で生成された高画質画像群を、画質評価エンジンに入力する。画質評価エンジンは、入力された各高画質画像について、学習に基づいて、画質評価指数を算出する。画質評価部1506は、算出された画質評価指数のうち最も高い画質評価指数が算出された高画質画像を選択する。なお、高画質化エンジンによって高画質化していない入力画像の方が、画像診断に適している可能性もあるので、画質評価部1506は、画質評価エンジンに入力画像も入力し、入力画像に対する画質評価指数も選択に加えてもよい。ステップS1660は、第7の実施形態のステップS1660と同様であるため説明を省略する。

10

【0220】

上記のように、本実施形態に係る画像処理装置1500は、高画質画像の画質を評価する画質評価部1506を更に備える。高画質化部404は、複数の高画質化エンジンを用いて、入力画像から複数の高画質画像を生成し、画像処理装置1500の出力部405は、画質評価部1506による評価結果に応じて、複数の高画質画像のうち少なくとも一つの画像を出力する。特に、本実施形態に係る画質評価部1506は、所定の評価手法による評価値を学習データとした画質評価エンジンを含む。画質評価部1506は、複数の高画質画像のうち、画質評価部1506による画質評価エンジンを用いた評価の結果が最も高い高画質画像を選択する。出力部405は、画質評価部1506によって選択された最も評価値が高い高画質画像を出力する。

20

【0221】

これにより、本実施形態に係る画像処理装置1500では、画質評価エンジンの出力に基づいて、複数の高画質画像から最も画像診断に適した高画質画像を容易に出力することができる。

【0222】

なお、本実施形態では、画質評価部1506が画質評価エンジンによって出力される画質評価指数のうち最も高い画質評価指数の高画質画像を選択し、出力部405が選択された高画質画像を表示部20に表示させた。しかしながら、画質評価部1506の構成はこれに限られない。例えば、画質評価部1506は画質評価エンジンによって出力される画質評価指数のうち上位いくつかの画質評価指数の高画質画像を選択し、出力部405が選択された高画質画像を表示部20に表示させてもよい。また、出力部405が、画質評価エンジンによって出力された画質評価指数に対応する高画質画像とともに表示部20に表示させ、画質評価部1506が検者の指示に応じて、最も高画質な画像を選択してもよい。

30

【0223】

なお、出力部405は、第1の実施形態と同様に、生成された高画質画像を撮影装置10や画像処理装置1500に接続される他の装置に出力してもよい。また、高画質化エンジンの教師データの出力データは、第1の実施形態と同様に、重ね合わせ処理を行った高画質画像に限られない。すなわち、重ね合わせ処理やMAP推定処理、平滑化フィルタ処理、階調変換処理、高性能な撮影装置を用いた撮影、高コストな処理、ノイズ低減処理といった処理群や撮影方法のうち、少なくとも一つを行うことによって得られた高画質画像を用いてもよい。

40

【0224】

<第9の実施形態>

次に、図18及び19を参照して、第9の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、真贋評価部が、真贋評価エンジンを用いて、高画質化部404によって生成された高画質画像が十分に高画質化されたものであるか否かを評価する。

【0225】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第1の実施形態に係る画像処理装置400と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像

50

処理装置について、第１の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。

【０２２６】

図１８は、本実施形態に係る画像処理装置１８００の概略的な構成を示す。本実施形態に係る画像処理装置１８００には、取得部４０１、撮影条件取得部４０２、高画質化可否判定部４０３、高画質化部４０４、及び出力部４０５に加えて、真贋評価部１８０７が設けられている。なお、画像処理装置１８００は、これら構成要素のうちの一部が設けられた複数の装置で構成されてもよい。ここで、取得部４０１、撮影条件取得部４０２、高画質化可否判定部４０３、高画質化部４０４、及び出力部４０５は、第１の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図４に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

10

【０２２７】

また、画像処理装置１８００は、第１の実施形態に係る画像処理装置４００と同様に撮影装置１０、表示部２０及び不図示の他の装置と、任意の回路やネットワークを介して接続されてよい。また、これらの装置は、他の任意の装置と回路やネットワークを介して接続されてもよいし、他の任意の装置と一体的に構成されてもよい。なお、これらの装置は本実施形態では別個の装置とされているが、これらの装置の一部又は全部を一体的に構成してもよい。

【０２２８】

真贋評価部１８０７には、真贋評価エンジンが備えられている。真贋評価部１８０７は、真贋評価エンジンを用いて、高画質化エンジンが生成した高画質画像が十分に高画質化されているか否かを評価する。本実施形態に係る真贋評価エンジンにおける真贋評価処理手法は、機械学習アルゴリズムを用いて構築した機械学習モデルを用いる。

20

【０２２９】

機械学習モデルをトレーニングする教師データには、事前に様々な撮影条件によって撮影された高画質画像群と対象の撮影装置によって撮影され取得されたことを表すラベル（以下、真作ラベル）とのペア群が含まれる。また、教師データには、高画質化の精度の悪い高画質化エンジンに低画質画像を入力して生成した高画質画像群と対象の撮影装置によって撮影され取得されていないことを表すラベル（以下、贋作ラベル）とのペア群が含まれる。

【０２３０】

このような教師データを用いて学習が行われた真贋評価エンジンは、入力された画像に対し、確実に撮影装置によって撮影され取得された画像か否かを評価できるわけではないが、撮影装置によって撮影され取得された画像らしさを持つ画像か否かを評価できる。この特性を利用して、真贋評価部１８０７は、真贋評価エンジンに高画質化部４０４が生成した高画質画像を入力することで、高画質化部４０４が生成した高画質画像が十分に高画質化されているか否かを評価できる。

30

【０２３１】

出力部４０５は、真贋評価部１８０７によって高画質化部４０４が生成した高画質画像が十分に高画質化されていると判断されたら、当該高画質画像を表示部２０に表示させる。一方、出力部４０５は、真贋評価部１８０７によって、高画質化部４０４が生成した高画質画像が十分に高画質化されていないと判断されたら、入力画像を表示部２０に表示させる。なお、出力部４０５は、入力画像を表示させる際に、高画質化部４０４によって生成された高画質画像が十分に高画質化されなかったことや表示されている画像が入力画像であることを表示部２０に表示させることができる。

40

【０２３２】

以下、図１９を参照して、本実施形態に係る一連の画像処理について説明する。図１９は、本実施形態に係る一連の画像処理のフロー図である。なお、本実施形態に係るステップＳ１９１０～ステップＳ１９４０の処理は、第１の実施形態におけるステップＳ５１０～ステップＳ５４０での処理と同様であるため、説明を省略する。なお、入力画像に対し、撮影条件について無条件で高画質化する場合には、ステップＳ１９２０の処理の後に

50

、ステップ S 1 9 3 0 の処理を省き、処理をステップ S 1 9 4 0 に移行してよい。

【 0 2 3 3 】

ステップ S 1 9 4 0 において、高画質化部 4 0 4 が高画質画像群を生成したら、処理はステップ S 1 9 5 0 に移行する。ステップ S 1 9 5 0 では、真贋評価部 1 8 0 7 が、ステップ S 1 9 4 0 において生成された高画質画像を真贋評価エンジンに入力し、真贋評価エンジンの出力に基づいて真贋評価を行う。具体的には、真贋評価部 1 8 0 7 は、真贋評価エンジンから真作ラベル（真）が出力された場合には、生成された高画質画像が十分に高画質化されていると評価する。一方、真贋評価エンジンから贋作ラベル（偽）が出力された場合には、真贋評価部 1 8 0 7 は、生成された高画質画像が十分に高画質化されていないと評価する。

10

【 0 2 3 4 】

ステップ S 1 9 6 0 においては、出力部 4 0 5 が、真贋評価部 1 8 0 7 によって高画質化部 4 0 4 が生成した高画質画像が十分に高画質化されていると判断されたら、当該高画質画像を表示部 2 0 に表示させる。一方、出力部 4 0 5 は、真贋評価部 1 8 0 7 によって、高画質化部 4 0 4 が生成した高画質画像が十分に高画質化されていないと判断されたら、入力画像を表示部 2 0 に表示させる。

【 0 2 3 5 】

上記のように、本実施形態に係る画像処理装置 1 8 0 0 は、高画質画像の画質を評価する真贋評価部 1 8 0 7 を更に備え、真贋評価部 1 8 0 7 は画像の真贋を評価する真贋評価エンジンを含む。真贋評価エンジンは、高画質化部 4 0 4 の高画質化エンジンよりも高画質化処理の精度が低い（悪い）高画質化エンジンによって生成された画像を学習データとした機械学習エンジンを含む。画像処理装置 1 8 0 0 の出力部 4 0 5 は、真贋評価部の真贋評価エンジンからの出力が真である場合に、高画質画像を出力する。

20

【 0 2 3 6 】

これにより、本実施形態に係る画像処理装置 1 8 0 0 では、検者は十分に高画質化された高画質画像を効率よく確認することができる。

【 0 2 3 7 】

また、高画質化エンジンの機械学習モデルと真贋評価エンジンの機械学習モデルとを協調させてトレーニングすることによって、双方のエンジンの効率や精度を向上させてもよい。

30

【 0 2 3 8 】

なお、本実施形態では、高画質化部 4 0 4 が一つの高画質画像を生成し、真贋評価部 1 8 0 7 が生成された一つの高画質画像について評価を行う構成としたが、真贋評価部 1 8 0 7 の評価はこれに限られない。例えば、第 2 の実施形態のように、高画質化部 4 0 4 が複数の高画質化エンジンを用いて複数の高画質画像を生成する場合には、真贋評価部 1 8 0 7 が生成された複数の高画質画像の少なくとも一つについて評価を行う構成としてもよい。この場合、例えば真贋評価部 1 8 0 7 は、生成された複数の高画質画像の全てについて評価を行ってもよいし、複数の高画質画像のうち検者によって指示された画像のみについて評価を行ってもよい。

【 0 2 3 9 】

さらに、出力部 4 0 5 は、真贋評価部 1 8 0 7 による高画質画像が十分に高画質化されているか否かの判断結果を表示部 2 0 に表示させ、検者の指示に応じて、高画質画像を出力してもよい。

40

【 0 2 4 0 】

なお、出力部 4 0 5 は、第 1 の実施形態と同様に、生成された高画質画像を撮影装置 1 0 や画像処理装置 1 8 0 0 に接続される他の装置に出力してもよい。また、高画質化エンジンの教師データの出力データは、第 1 の実施形態と同様に、重ね合わせ処理を行った高画質画像に限られない。すなわち、重ね合わせ処理や M A P 推定処理、平滑化フィルタ処理、階調変換処理、高性能な撮影装置を用いた撮影、高コストな処理、ノイズ低減処理といった処理群や撮影方法のうち、少なくとも一つを行うことによって得られた高画質画像

50

を用いてもよい。

【0241】

＜第10の実施形態＞

次に、図4及び5を参照して、第10の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、高画質化部が三次元の入力画像を複数の二次元画像に分割して高画質化エンジンに入力し、高画質化エンジンからの出力画像を結合することで三次元の高画質画像を生成する。

【0242】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第1の実施形態に係る画像処理装置400と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第1の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第1の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図4に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

【0243】

本実施形態に係る取得部401は、構造的に連続する二次元画像群で構成された、三次元画像を取得する。具体的には、三次元画像は、例えば、OCTのBスキャン像（断層画像）群で構成された三次元OCTボリューム画像である。また、例えば、アキシシャル断層画像群で構成された三次元CTボリューム画像である。

【0244】

高画質化部404には、第1の実施形態と同様に、高画質化エンジンが備えられている。なお、高画質化エンジンの教師データである入力データと出力データのペア群は二次元画像の画像群により構成されている。高画質化部404は、取得された三次元画像を複数の二次元画像に分割し、二次元画像毎に高画質化エンジンに入力する。これにより、高画質化部404は、複数の二次元の高画質画像を生成することができる。

【0245】

出力部405は、高画質化部404によって、三次元画像の各二次元画像について生成された複数の二次元の高画質画像を結合し、三次元の高画質画像を出力する。

【0246】

次に、図5を参照して、本実施形態に係る一連の画像処理について説明する。なお、本実施形態に係るステップS510～ステップS530、及びステップS550の処理は、第1の実施形態におけるこれらの処理と同様であるため、説明を省略する。ただし、ステップS510では、取得部401は三次元画像を取得する。なお、入力画像に対して、撮影条件について無条件で高画質化する場合には、ステップS520の処理の後に、ステップS530の処理を省き、処理をステップS540に移行してよい。

【0247】

ステップS530において、高画質化可否判定部403が、高画質化エンジンによって入力画像を対処可能と判定した場合には、処理はステップS540に移行する。なお、高画質化可否判定部403は、三次元画像の撮影条件に基づいて当該判定を行ってもよいし、三次元画像を構成する複数の二次元画像に関する撮影条件に基づいて当該判定を行ってもよい。ステップS540では、高画質化部404が、取得された三次元画像を複数の二次元画像に分割する。高画質化部404は、分割した複数の二次元画像のそれぞれを高画質化エンジンに入力し、複数の二次元の高画質画像を生成する。高画質化部404は、取得した三次元画像に基づいて、生成した複数の二次元の高画質画像を結合し、三次元の高画質画像を生成する。

【0248】

ステップS550では、出力部405は、生成された三次元の高画質画像を表示部20に表示させる。なお、三次元の高画質画像の表示態様は任意であってよい。

【0249】

上記のように、本実施形態に係る高画質化部404は、三次元の入力画像を複数の二次

10

20

30

40

50

元の画像に分割して高画質化エンジンに入力する。高画質化部 404 は、高画質化エンジンから出力された複数の二次元の高画質画像を結合し、三次元の高画質画像を生成する。

【0250】

これにより、本実施形態に係る高画質化部 404 は、二次元画像の教師データを用いて学習が行われた高画質化エンジンを用いて、三次元画像を高画質化することができる。

【0251】

なお、出力部 405 は、第 1 の実施形態と同様に、生成された高画質画像を撮影装置 10 や画像処理装置 400 に接続される他の装置に出力してもよい。また、高画質化エンジンの教師データの出力データは、第 1 の実施形態と同様に、重ね合わせ処理を行った高画質画像に限られない。すなわち、重ね合わせ処理やMAP推定処理、平滑化フィルタ処理、階調変換処理、高性能な撮影装置を用いた撮影、高コストな処理、ノイズ低減処理といった処理群や撮影方法のうち、少なくとも一つを行うことによって得られた高画質画像を用いてもよい。

【0252】

＜第 11 の実施形態＞

次に、図 4 及び 5 を参照して、第 11 の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、高画質化部が三次元の入力画像を複数の二次元画像に分割し、複数の二次元画像を複数の高画質化エンジンによって並列に高画質化し、高画質化エンジンからの出力画像を結合することで三次元の高画質画像を生成する。

【0253】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第 10 の実施形態に係る画像処理装置 400 と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第 10 の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第 1 及び 10 の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図 4 に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

【0254】

本実施形態に係る高画質化部 404 には、第 10 の実施形態と同様の高画質化エンジンが、複数備えられている。なお、高画質化部 404 に備えられた複数の高画質化エンジン群は、回路やネットワークを介して、二つ以上の装置群に分散処理可能なように実装されていてもよいし、単一の装置に実装されていてもよい。

【0255】

高画質化部 404 は、第 10 の実施形態と同様に、取得された三次元画像を複数の二次元画像に分割する。高画質化部 404 は、複数の二次元画像を複数の高画質化エンジンを用いて、分担して（並列的に）高画質化を行い、複数の二次元の高画質画像を生成する。高画質化部 404 は、複数の高画質化エンジンから出力された複数の二次元の高画質画像を、処理対象である三次元画像に基づいて結合し、三次元の高画質画像を生成する。

【0256】

次に、図 5 を参照して、本実施形態に係る一連の画像処理について説明する。なお、本実施形態に係るステップ S510 ～ステップ S530、及びステップ S550 の処理は、第 10 の実施形態におけるこれらの処理と同様であるため、説明を省略する。なお、入力画像に対して、撮影条件について無条件で高画質化する場合には、ステップ S520 の処理の後に、ステップ S530 の処理を省き、処理をステップ S540 に移行してよい。

【0257】

ステップ S530 において、高画質化可否判定部 403 が、高画質化エンジンによって入力画像を対処可能と判定した場合には、処理はステップ S540 に移行する。なお、高画質化可否判定部 403 は、三次元画像の撮影条件に基づいて当該判定を行ってもよいし、三次元画像を構成する複数の二次元画像に関する撮影条件に基づいて当該判定を行ってもよい。

【0258】

ステップ S 5 4 0 では、高画質化部 4 0 4 が、取得された三次元画像を複数の二次元画像に分割する。高画質化部 4 0 4 は、分割した複数の二次元画像のそれぞれを複数の高画質化エンジンに入力し、並列的に高画質化処理して、複数の二次元の高画質画像を生成する。高画質化部 4 0 4 は、取得した三次元画像に基づいて、生成した複数の二次元の高画質画像を結合し、三次元の高画質画像を生成する。

【 0 2 5 9 】

ステップ S 5 5 0 では、出力部 4 0 5 は、生成された三次元の高画質画像を表示部 2 0 に表示させる。なお、三次元の高画質画像の表示態様は任意であってよい。

【 0 2 6 0 】

上記のように、本実施形態に係る高画質化部 4 0 4 は、複数の高画質化エンジンを含む。高画質化部 4 0 4 は、三次元の入力画像を複数の二次元の画像に分割し、複数の高画質化エンジンを並列的に用いて、複数の二次元の高画質画像を生成する。高画質化部 4 0 4 は複数の二次元の高画質画像を統合することで、三次元の高画質画像を生成する。

【 0 2 6 1 】

これにより、本実施形態に係る高画質化部 4 0 4 は、二次元画像の教師データを用いて学習が行われた高画質化エンジンを用いて、三次元画像を高画質化することができる。また、第 1 0 の実施形態と比べて、より効率的に三次元画像を高画質化することができる。

【 0 2 6 2 】

なお、複数の高画質化エンジンの教師データは、各高画質化エンジンで処理を行う処理対象に応じて異なる教師データであってもよい。例えば、第 1 の高画質化エンジンは第 1 の撮影領域についての教師データで学習を行い、第 2 の高画質化エンジンは第 2 の撮影領域についての教師データで学習を行ってもよい。この場合には、それぞれの高画質化エンジンが、より精度良く二次元画像の高画質化を行うことができる。

【 0 2 6 3 】

また、出力部 4 0 5 は、第 1 の実施形態と同様に、生成された高画質画像を撮影装置 1 0 や画像処理装置 4 0 0 に接続される他の装置に出力してもよい。また、高画質化エンジンの教師データの出力データは、第 1 の実施形態と同様に、重ね合わせ処理を行った高画質画像に限られない。すなわち、重ね合わせ処理や M A P 推定処理、平滑化フィルタ処理、階調変換処理、高性能な撮影装置を用いた撮影、高コストな処理、ノイズ低減処理といった処理群や撮影方法のうち、少なくとも一つを行うことによって得られた高画質画像を用いてもよい。

【 0 2 6 4 】

< 第 1 2 の実施形態 >

次に、図 5 及び 2 0 を参照して、第 1 2 の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、取得部 4 0 1 が撮影装置ではなく画像管理システム 2 0 0 0 から入力画像を取得する。

【 0 2 6 5 】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第 1 の実施形態に係る画像処理装置 4 0 0 と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第 1 の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は第 1 の実施形態に係る画像処理装置 4 0 0 の構成と同様であるため、図 4 に示す構成について同じ参照符号を用いて説明を省略する。

【 0 2 6 6 】

図 2 0 は、本実施形態に係る画像処理装置 4 0 0 の概略的な構成を示す。本実施形態に係る画像処理装置 4 0 0 は画像管理システム 2 0 0 0、及び表示部 2 0 と任意の回路やネットワークを介して接続されている。画像管理システム 2 0 0 0 は、任意の撮影装置によって撮影された画像や画像処理された画像を受信して保存する装置及びシステムである。また、画像管理システム 2 0 0 0 は、接続された装置の要求に応じて画像を送信したり、保存された画像に対して画像処理を行ったり、画像処理の要求を他の装置に要求したりすることができる。画像管理システムとしては、例えば、画像保存通信システム (P A C S

10

20

30

40

50

)を含むことができる。

【0267】

本実施形態に係る取得部401は、画像処理装置400に接続される画像管理システム2000から入力画像を取得することができる。また、出力部405は、高画質化部404によって生成された高画質画像を、画像管理システム2000に出力することができる。

【0268】

次に、図5を参照して、本実施形態に係る一連の画像処理について説明する。なお、本実施形態に係るステップS520～ステップS540の処理は、第1の実施形態におけるこれらの処理と同様であるため、説明を省略する。なお、入力画像に対して、撮影条件について無条件で高画質化する場合には、ステップS520の処理の後に、ステップS530の処理を省き、処理をステップS540に移行してよい。

10

【0269】

ステップS510において、取得部401は、回路やネットワークを介して接続された画像管理システム2000から、画像管理システム2000が保存している画像を入力画像として取得する。なお、取得部401は、画像管理システム2000からの要求に応じて、入力画像を取得してもよい。このような要求は、例えば、画像管理システム2000が画像を保存した時や、保存した画像を他の装置に送信する前、保存された画像を表示部20に表示する時に発行されてよい。また、当該要求は、例えば、画像管理システム2000を利用者が操作して高画質化処理の要求を行った時や、画像管理システム2000が備える画像解析機能に高画質画像を利用する時等に発行されてよい。

20

【0270】

ステップS520～ステップS540の処理は、第1の実施形態における処理と同様である。ステップS540において高画質化部404が高画質画像を生成したら、処理はステップS550に移行する。ステップS550において、出力部405は、ステップS540において高画質画像が生成されていれば、該高画質画像を画像管理システム2000に出力画像として出力する。ステップS540において高画質画像が生成されていなければ、上記入力画像を画像管理システム2000に出力画像として出力する。なお、出力部405は、画像処理装置400の設定や実装によっては、出力画像を画像管理システム2000が利用可能なように加工したり、出力画像のデータ形式を変換したりしてもよい。

【0271】

上記のように、本実施形態に係る取得部401は、画像管理システム2000から入力画像を取得する。このため、本実施形態の画像処理装置400は、画像管理システム2000が保存している画像を元に、画像診断に適した高画質画像を、撮影者や被検者の侵襲性を高めたり、労力を増したりすることなく出力することができる。また、出力された高画質画像は画像管理システム2000に保存されたり、画像管理システム2000が備えるユーザーインターフェースに表示されたりすることができる。また、出力された高画質画像は、画像管理システム2000が備える画像解析機能に利用されたり、画像管理システム2000に接続された他の装置に画像管理システム2000を介して送信されたりすることができる。

30

【0272】

なお、画像処理装置400や画像管理システム2000、表示部20は、不図示の他の装置と回路やネットワークを介して接続されていてもよい。また、これらの装置は本実施形態では別個の装置とされているが、これらの装置の一部又は全部を一体的に構成してもよい。

40

【0273】

また、出力部405は、第1の実施形態と同様に、生成された高画質画像を画像管理システム2000や画像処理装置400に接続される他の装置に出力してもよい。

【0274】

<第13の実施形態>

次に、図4、5、21A、及び21Bを参照して、第13の実施形態に係る画像処理装

50

置について説明する。本実施形態では、高画質化部が複数の画像を入力画像とし、一枚の高画質画像を生成する。

【0275】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第1の実施形態に係る画像処理装置400と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第1の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第1の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図4に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

【0276】

本実施形態に係る取得部401は、撮影装置10や他の装置から、処理対象である入力データとして、複数の画像を取得する。

【0277】

本実施形態に係る高画質化部404には、第1の実施形態と同様の、高画質化エンジンが備えられている。また、教師データも第1の実施形態と同様であってよい。高画質化部404は、取得部401で取得された複数の画像のそれぞれを高画質化エンジンに入力し、出力された複数の高画質画像を重ね合わせ処理して、最終的な高画質画像を生成する。なお、高画質化部404は、複数の高画質画像を重ね合わせ処理する前に、任意の手法により複数の高画質画像を位置合わせしてよい。

【0278】

出力部405は、高画質化部404が生成した最終的な高画質画像を表示部20に表示させる。なお、出力部405は、最終的な高画質画像とともに、複数の入力画像を表示部20に表示させてもよい。また、出力部405は、生成された複数の高画質画像を最終的な高画質画像や入力画像とともに表示部20に表示してもよい。

【0279】

次に、図5及び図21Aを参照して、本実施形態に係る一連の画像処理について説明する。図21Aは本実施形態に係る高画質化処理のフロー図である。なお、本実施形態に係るステップS510～ステップS530の処理は、第1の実施形態におけるこれらの処理と同様であるため、説明を省略する。

【0280】

ただし、ステップS510では、取得部401は複数の画像を取得し、ステップS520及びS530では、複数の画像のそれぞれについて、撮影条件が取得されるとともに、高画質化エンジンによって対処可能か否かが判断される。なお、入力画像に対して、撮影条件について無条件で高画質化する場合には、ステップS520の処理の後に、ステップS530の処理を省き、処理をステップS540に移行してよい。また、複数の画像の一部の画像が、高画質化エンジンによって対処不可能であると判断された場合には、当該画像を以降の処理から除外することができる。

【0281】

ステップS530において、高画質化可否判定部403が、複数の入力画像について高画質化エンジンによって対処可能と判定した場合には、処理はステップS540に移行する。処理がステップS540に移行すると、図21Aに示される本実施形態に係る高画質化処理が開始される。本実施形態に係る高画質化処理では、まず、ステップS2110において、高画質化部404が、複数の入力画像のそれぞれを高画質化エンジンに入力し、高画質画像群を生成する。

【0282】

次に、ステップS2120では、高画質化部404は、生成した高画質画像群を重ね合わせ処理して最終的な一枚の高画質画像を生成する。なお、重ね合わせ処理は加算平均等平均化の処理やその他の既存の任意の処理によって行われてよい。また、重ね合わせに際しては、高画質化部404は複数の高画質画像を任意の手法により位置合わせした上で重ね合わせしてよい。高画質化部404が最終的な高画質画像を生成したら、処理はステッ

10

20

30

40

50

プロセス 550 に移行する。

【0283】

ステップ 550 では、出力部 405 が生成された最終的な高画質画像を表示部 20 に表示させる。

【0284】

上記のように、本実施形態に係る高画質化部 404 は、複数の入力画像から一つの最終的な高画質画像を生成する。高画質化エンジンによる高画質化は入力画像に基づくため、例えば、病変部等が、ある入力画像において適切に表示されていない場合、当該入力画像を高画質化した高画質画像では低い画素値となってしまう。一方で、同一箇所を撮影した他の入力画像では病変部等が適切に表示されており、当該他の入力画像を高画質化した高画質画像では高い画素値となっている場合もある。そこで、これらの高画質画像を重ね合わせることで、当該低い又は高い画素値となっている箇所を適切に表示できるようになり、高コントラストな高画質画像を生成することができる。なお、入力画像の数は、従来の重ね合わせに必要な枚数よりも少ない数とすることで、従来のような撮影時間の長期化等の代償をより少なくすることができる。

【0285】

なお、当該作用については、例えば、OCTA 等のモーションコントラストデータを用いた入力画像を用いる場合に顕著となる。

【0286】

モーションコントラストデータは、撮影対象の同一箇所を繰り返し撮影した時間間隔における、撮影対象の時間的な変化を検出したものであるため、例えば、ある時間間隔では撮影対象の動きについて僅かな動きしか検出できない場合がある。これに対して、別の時間間隔撮影を行った場合には、撮影対象の動きをより大きな動きとして検出できる場合もある。そのため、それぞれの場合のモーションコントラスト画像を高画質化した画像を重ね合わせることで、特定のタイミングでは生じていなかった又は僅かにしか検出されていなかったモーションコントラストを補間することができる。そのため、このような処理によれば、撮影対象のより多くの動きについてコントラスト強調が行われたモーションコントラスト画像を生成することができ、検者は、撮影対象のより正確な状態を把握することができる。

【0287】

従って、OCTA 画像のように時間的に変化している箇所を描出する画像を入力画像として用いる場合には、異なる時間で取得した高画質画像を重ね合わせることによって、被検者の所定部位をより詳細に画像化することができる。

【0288】

なお、本実施形態では、複数の入力画像からそれぞれ高画質画像を生成し、高画質画像を重ね合わせることで、最終的な一枚の高画質画像を生成したが、複数の入力画像から一枚の高画質画像を生成する方法はこれに限られない。例えば、図 21B に示す本実施形態の高画質化処理の別例では、ステップ 540 において高画質化処理が開始されると、ステップ 2130 において、高画質化部 404 が入力画像群を重ね合わせし、一枚の重ね合わせされた入力画像を生成する。

【0289】

その後、ステップ 2140 において、高画質化部 404 が、一枚の重ね合わせされた入力画像を高画質化エンジンに入力し、一枚の高画質画像を生成する。このような、高画質化処理であっても、上述の高画質化処理と同様に、複数の入力画像について低い又は高い画素値となっている箇所を適切に表示できるようになり、高コントラストな高画質画像を生成することができる。当該処理も、上記 OCTA 画像等のモーションコントラスト画像を入力画像とした場合に、顕著な作用を奏することができる。

【0290】

なお、当該高画質処理を行う場合には、高画質化エンジンの教師データの入力データとして、処理対象とされる複数の入力画像と同数の入力画像の重ね合わせ画像を用いる。こ

10

20

30

40

50

れにより、高画質化エンジンにより適切な高画質化処理を行うことができる。

【0291】

また、本実施形態による高画質化処理及び上述の別の高画質化処理について、高画質画像群又は入力画像群を組み合わせる処理は、重ね合わせに限られない。例えば、これらの画像群にMAP推定処理を適用することで一枚の画像を生成してもよい。また、高画質画像群又は入力画像群を合成して一枚の画像を生成してもよい。

【0292】

高画質画像群又は入力画像群を合成して一枚の画像を生成する場合としては、例えば、入力画像として高輝度領域について広い階調を有する画像と低輝度領域に広い階調を有する画像を用いる場合がある。この場合には、例えば、高輝度領域について広い階調を有する画像を高画質化した画像と、低輝度領域について広い階調を有する画像を高画質化した画像とを合成する。これにより、より広い明るさの幅（ダイナミックレンジ）を表現できる画像を生成することができる。なお、この場合には、高画質化エンジンの教師データの入力データは、処理対象とされる、高輝度領域について広い階調を有する画像や低輝度領域について広い階調を有する低画質画像とすることができる。また、高画質化エンジンの教師データの出力データは、入力データに対応する高画質画像とすることができる。

【0293】

また、高輝度領域について広い階調を有する画像と、低輝度領域について広い階調を有する画像とを合成し、合成した画像を高画質化エンジンによって高画質化してもよい。この場合にも、より広い明るさの幅を表現できる画像を生成することができる。なお、この場合には、高画質化エンジンの教師データの入力データは、処理対象とされる、高輝度領域について広い階調を有する低画質画像と低輝度領域について広い階調を有する低画質画像を合成した画像とすることができる。また、高画質化エンジンの教師データの出力データは、入力データに対応する高画質画像とすることができる。

【0294】

これらの場合には、高画質化エンジンを用いて、より広い明るさの幅を表現できる画像を高画質化することができ、従来と比べてより少ない枚数の画像等で処理を行うことができ、より少ない代償で、画像解析に適した画像を提供することができる。

【0295】

なお、高輝度領域について広い階調を有する画像と、低輝度領域について広い階調を有する画像の撮影方法としては、撮影装置の露光時間をより短く又はより長くする等の、任意の方法を採用してよい。また、階調の幅の分け方は、低輝度領域及び高輝度領域に限らず、任意であってよい。

【0296】

また、本実施形態に係る高画質化処理において、複数の高画質化エンジンを用いて、複数の入力画像を並列的に処理してもよい。なお、出力部405は、第1の実施形態と同様に、生成された高画質画像を撮影装置10や画像処理装置400に接続される他の装置に出力してもよい。また、高画質化エンジンの教師データの出力データは、第1の実施形態と同様に、重ね合わせ処理を行った高画質画像に限られない。すなわち、重ね合わせ処理やMAP推定処理、平滑化フィルタ処理、階調変換処理、高性能な撮影装置を用いた撮影、高コストな処理、ノイズ低減処理といった処理群や撮影方法のうち、少なくとも一つを行うことによって得られた高画質画像を用いてもよい。

【0297】

＜第14の実施形態＞

次に、図4及び5を参照して、第14の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、高画質化部が複数の低画質画像から生成された中画質画像を入力画像とし、高画質画像を生成する。

【0298】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第1の実施形態に係る画像処理装置400と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像

10

20

30

40

50

処理装置について、第1の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第1の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図4に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

【0299】

本実施形態に係る取得部401は、撮影装置10や他の装置から、処理対象である入力データとして、複数の低画質画像を重ね合わせ処理した中画質画像を取得する。なお、低画質画像の重ね合わせに際しては、任意の位置合わせ処理が行われてよい。

【0300】

本実施形態に係る高画質化部404には、第1の実施形態と同様の、高画質化エンジンが備えられている。ただし、本実施形態の高画質化エンジンは、中程度の画質である中画質画像を入力し、高画質画像を出力するように設計されている。中画質画像とは複数の低画質画像群を重ね合わせして生成された重ね合わせ画像である。また、高画質画像は中画質画像よりも高画質な画像である。また、高画質化エンジンのトレーニングに用いられた教師データを構成するペア群についても、各ペアを構成する入力データは中画質画像と同様に生成された中画質画像であり、出力データは高画質画像である。

【0301】

出力部405は、高画質化部404が生成した高画質画像を表示部20に表示させる。なお、出力部405は、高画質画像とともに、入力画像を表示部20に表示させてもよく、この場合に、出力部405は、入力画像が複数の低画質画像から生成された画像であることを表示部20に表示してもよい。

【0302】

次に、図5を参照して、本実施形態に係る一連の画像処理について説明する。なお、本実施形態に係るステップS520～ステップS550の処理は、第1の実施形態におけるこれらの処理と同様であるため、説明を省略する。

【0303】

ステップS510においては、取得部401は、撮影装置10や他の装置から、入力画像として中画質画像を取得する。なお、取得部401は撮影装置10からの要求に応じて、撮影装置10が生成した中画質画像を入力画像として取得してもよい。このような要求は、例えば、撮影装置10が画像を生成した時、撮影装置10が生成した画像を撮影装置10が備える記憶装置に保存する前や保存した後、保存された画像を表示部20に表示する時、画像解析処理に高画質画像を利用する時等に発行されてよい。

【0304】

以降の処理は、第1の実施形態における処理と同様であるため、説明を省略する。

【0305】

上記のように、本実施形態に係る取得部401は、被検者の所定部位の複数の画像を用いて生成された画像である中画質画像を入力画像として取得する。この場合、入力画像がより明瞭な画像となるため、高画質化エンジンは高画質画像をより精度良く生成することができる。なお、中画質画像を生成するために用いる低画質画像の枚数は、従来の重ね合わせ画像を生成するために用いられる画像の枚数より少なくてもよい。

【0306】

なお、中画質画像は、複数の低画質画像を重ね合わせた画像に限られず、例えば、複数の低画質画像にMAP推定処理を適用した画像でもよいし、複数の低画質画像を合成した画像であってもよい。複数の低画質画像を合成する場合には、それぞれの画像の階調が異なっている画像同士を合成してもよい。

【0307】

また、出力部405は、第1の実施形態と同様に、生成された高画質画像を撮影装置10や画像処理装置400に接続される他の装置に出力してもよい。また、高画質化エンジンの教師データの出力データは、第1の実施形態と同様に、重ね合わせ処理を行った高画質画像に限られない。すなわち、重ね合わせ処理やMAP推定処理、平滑化フィルタ処理

、階調変換処理、高性能な撮影装置を用いた撮影、高コストな処理、ノイズ低減処理といった処理群や撮影方法のうち、少なくとも一つを行うことによって得られた高画質画像を用いてもよい。

【0308】

＜第15の実施形態＞

次に、図4及び5を参照して、第15の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、高画質化部が第1の実施形態等に係る高画質化とともに入力画像の高画像サイズ化（高サイズ化）を行う。

【0309】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第1の実施形態に係る画像処理装置400と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第1の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第1の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図4に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

【0310】

本実施形態に係る取得部401は、入力画像として低画像サイズの画像（低サイズ画像）を取得する。なお、低サイズ画像とは、後述する高画質化エンジンによって出力される高画像サイズの画像（高サイズ画像）よりも、画像を構成する画素数が少ない画像である。具体的には、例えば、高サイズ画像の画像サイズが幅1024画素、高さ1024画素、奥行き1024画素の場合に、低サイズ画像の画像サイズが512画素、高さ512画素、奥行き512画素である場合等である。これに関連して、本明細書における、高画像サイズ化とは、一画像あたりの画素数を増加させ、画像サイズを拡大する処理をいう。

【0311】

本実施形態に係る高画質化部404には、第1の実施形態と同様に、高画質化エンジンが備えられている。ただし、本実施形態の高画質化エンジンは、入力画像についてノイズ低減やコントラスト強調するとともに、入力画像の画像サイズを高画像サイズ化するように構成されている。そのため、本実施形態の高画質化エンジンは、低サイズ画像を入力し、高サイズ画像を出力するように構成されている。

【0312】

これに関連して、高画質化エンジンの教師データを構成するペア群について、各ペアを構成する入力データは低サイズ画像であり、出力データは高サイズ画像である。なお、出力データ用として用いる高サイズ画像は、低サイズ画像を取得した撮影装置よりも高性能な装置から取得したり、撮影装置の設定を変更することによって取得したりすることができる。また、高サイズ画像群が既にある場合には、当該高サイズ画像群を撮影装置10からの取得が想定される画像の画像サイズに縮小することで、入力データとして用いる低サイズ画像群を取得してもよい。また、高サイズ画像については、第1の実施形態等と同様に低サイズ画像を重ね合わせたものが用いられる。

【0313】

なお、本実施形態に係る高画質化部404による入力画像の画像サイズの拡大については、教師データとして撮影装置10よりも高性能な装置から取得したり、撮影装置10の設定を変更したりすることで取得しているため、単純な画像の拡大とは異なる。具体的には、本実施形態に係る高画質化部404による入力画像の画像サイズの拡大処理は、単純に画像を拡大した場合と比べ、解像度の劣化を低減することができる。

【0314】

このような構成により、本実施形態に係る高画質化部404は、入力画像に対して、ノイズ低減やコントラスト強調がなされるとともに高画像サイズ化された高画質画像を生成することができる。

【0315】

次に、図5を参照して、本実施形態に係る一連の画像処理について説明する。なお、本

10

20

30

40

50

実施形態に係るステップ S 5 2 0、ステップ S 5 3 0、及びステップ S 5 5 0 の処理は、第 1 の実施形態におけるこれらの処理と同様であるため、説明を省略する。なお、入力画像に対して、撮影条件について無条件で高画質化する場合には、ステップ S 5 2 0 の処理の後に、ステップ S 5 3 0 の処理を省き、処理をステップ S 5 4 0 に移行してよい。

【 0 3 1 6 】

ステップ S 5 1 0 において、取得部 4 0 1 は、撮影装置 1 0 や他の装置から、処理対象である入力データとして、低サイズ画像を取得する。なお、取得部 4 0 1 は撮影装置 1 0 からの要求に応じて、撮影装置 1 0 が生成した低サイズ画像を入力画像として取得してもよい。このような要求は、例えば、撮影装置 1 0 が画像を生成した時、撮影装置 1 0 が生成した画像を撮影装置 1 0 が備える記憶装置に保存する前や保存した後、保存された画像を表示部 2 0 に表示する時、画像解析処理に高画質画像を利用する時等に発行されてよい。

10

【 0 3 1 7 】

ステップ S 5 2 0 及びステップ S 5 3 0 の処理は第 1 の実施形態での処理と同様であるため説明を省略する。ステップ S 5 4 0 では、高画質化部 4 0 4 が、入力画像を高画質化エンジンに入力し、高画質画像としてノイズ低減やコントラスト強調がなされるとともに高画像サイズ化された画像を生成する。以降の処理は、第 1 の実施形態と同様であるため説明を省略する。

【 0 3 1 8 】

上記のように、本実施形態に係る高画質化部 4 0 4 は、入力画像と比べてノイズ低減及びコントラスト強調のうちの少なくとも一つがなされるとともに、画像サイズの拡大がなされた高画質画像を生成する。これにより、本実施形態に係る画像処理装置 4 0 0 は、画像診断に適した高画質画像を、撮影者や被検者の侵襲性を高めたり、労力を増したりすることなく出力することができる。

20

【 0 3 1 9 】

なお、本実施形態では、一つの高画質化エンジンにより、第 1 の実施形態等による高画質化処理と高分解能化の処理を行った高画質画像を生成したが、これらの処理を行う構成はこれに限られない。例えば、高画質化部は、第 1 の実施形態等による高画質化処理を行う高画質化エンジン及び高画像サイズ化処理を行う別の高画質化エンジンを備えてもよい。

【 0 3 2 0 】

この場合には、第 1 の実施形態等に係る高画質化処理を行う高画質化エンジンは第 1 の実施形態等に係る高画質化エンジンと同様に学習を行った機械学習モデルを用いることができる。また、高画像サイズ化処理を行う高画質化エンジンの教師データの入力データとしては、第 1 の実施形態等に係る高画質化エンジンが生成した高画質画像を用いる。また、当該高画質化エンジンの教師データの出力データとしては、高性能な撮影装置で取得された画像について第 1 の実施形態等に係る高画質化エンジンが生成した高画質画像を用いる。これにより、高画像サイズ化処理を行う高画質化エンジンは、第 1 の実施形態等に係る高画質化処理を行った高画質画像について高画像サイズ化した最終的な高画質画像を生成することができる。

30

【 0 3 2 1 】

また、当該高画質化エンジンによる高画像サイズ化処理を、第 1 の実施形態等に係る高画質化処理エンジンによる高画質化処理の前に行ってもよい。この場合には、高画像サイズ化処理を行う高画質化エンジンについての教師データは、撮影装置で取得した低サイズ画像である入力データと高サイズ画像である出力データのペア群により構成する。また、第 1 の実施形態等に係る高画質化処理を行う高画質化エンジンの教師データとしては、高サイズ画像を入力データと、高サイズ画像を重ね合わせた画像を出力データのペア群により構成する。

40

【 0 3 2 2 】

このような構成によっても、画像処理装置 4 0 0 は、入力画像と比べてノイズ低減及びコントラスト強調のうちの少なくとも一つがなされるとともに、画像サイズの拡大がなされた画像を高画質画像として生成することができる。

50

【0323】

なお、本実施形態では、第1の実施形態等に係る高画質化処理について、重ね合わせ画像を教師データの出力データとして用いる構成について述べたが、第1の実施形態と同様に当該出力データはこれに限られない。すなわち、重ね合わせ処理やMAP推定処理、平滑化フィルタ処理、階調変換処理、高性能な撮影装置を用いた撮影、高コストな処理、ノイズ低減処理といった処理群や撮影方法のうち、少なくとも一つを行うことによって得られた高画質画像を用いてもよい。

【0324】

なお、出力部405は、第1の実施形態と同様に、生成された高画質画像を撮影装置10や画像処理装置400に接続される他の装置に出力してもよい。

【0325】

<第16の実施形態>

次に、図4及び5を参照して、第16の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、高画質化部が第1の実施形態等に係る高画質化とともに高空間分解能化を行う。

【0326】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第1の実施形態に係る画像処理装置400と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第1の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第1の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図4に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

【0327】

本実施形態に係る取得部401は、入力画像として低空間分解能画像を取得する。なお、低空間分解能画像とは、高画質化部404が出力する高空間分解能画像よりも、空間分解能が低い画像である。

【0328】

高画質化部404には、第1の実施形態と同様に、高画質化エンジンが備えられている。ただし、本実施形態の高画質化エンジンは、入力画像についてノイズ低減やコントラスト強調するとともに、入力画像の空間分解能を高空間分解能化するように構成されている。そのため、本実施形態に係る高画質化エンジンは、低空間分解能画像を入力し、高空間分解能画像を出力するように構成されている。

【0329】

これに関連して、高画質化エンジンの教師データを構成するペア群についても、各ペアを構成する入力データは低空間分解能画像であり、出力データは高空間分解能画像である。なお、高空間分解能画像は、低空間分解能画像を取得した撮影装置よりも高性能な装置から取得したり、撮影装置の設定を変更することによって取得したりすることができる。また、高空間分解能画像については、第1の実施形態等と同様に低空間分解能画像を重ね合わせたものが用いられる。

【0330】

このような構成により、本実施形態に係る高画質化部404は、入力画像に対して、ノイズ低減やコントラスト強調がなされるとともに高空間分解能化された高画質画像を生成することができる。

【0331】

次に、図5を参照して、本実施形態に係る一連の画像処理について説明する。なお、本実施形態に係るステップS520、ステップS530、及びステップS550の処理は、第1の実施形態におけるこれらの処理と同様であるため、説明を省略する。なお、入力画像に対して、撮影条件について無条件で高画質化する場合には、ステップS520の処理の後に、ステップS530の処理を省き、処理をステップS540に移行してよい。

【0332】

ステップS510において、取得部401は、撮影装置10や他の装置から、処理対象である入力データとして、低空間分解能画像を取得する。なお、取得部401は撮影装置10からの要求に応じて、撮影装置10が生成した低空間分解能画像を入力画像として取得してもよい。このような要求は、例えば、撮影装置10が画像を生成した時、撮影装置10が生成した画像を撮影装置10が備える記憶装置に保存する前や保存した後、保存された画像を表示部20に表示する時、画像解析処理に高画質画像を利用する時等に発行されてよい。

【0333】

ステップS520及びステップS530の処理は第1の実施形態での処理と同様であるため説明を省略する。ステップS540では、高画質化部404が、入力画像を高画質化エンジンに入力し、高画質画像としてノイズ低減やコントラスト強調がなされるとともに高空間分解能化された画像を生成する。以降の処理は、第1の実施形態と同様であるため説明を省略する。

【0334】

上記のように、本実施形態に係る高画質化部404は、入力画像と比べてノイズ低減及びコントラスト強調のうちの少なくとも一つがなされるとともに、空間分解能が向上された画像を高画質画像として生成する。これにより、本実施形態に係る画像処理装置400は、画像診断に適した高画質画像を、撮影者や被検者の侵襲性を高めたり、労力を増したりすることなく出力することができる。

【0335】

なお、本実施形態では、一つの高画質化エンジンにより、第1の実施形態等による高画質化処理と高分解能化の処理を行った高画質画像を生成したが、これらの処理を行う構成はこれに限られない。例えば、高画質化部は、第1の実施形態等による高画質化処理を行う高画質化エンジン及び高分解能化処理を行う別の高画質化エンジンを備えてもよい。

【0336】

この場合には、第1の実施形態等に係る高画質化処理を行う高画質化エンジンは第1の実施形態等に係る高画質化エンジンと同様に学習を行った機械学習モデルを用いることができる。また、高分解能化処理を行う高画質化エンジンの教師データの入力データとしては、第1の実施形態等に係る高画質化エンジンが生成した高画質画像を用いる。また、当該高画質化エンジンの教師データの出力データとしては、高性能な撮影装置で取得された画像について第1の実施形態等に係る高画質化エンジンが生成した高画質画像を用いる。これにより、高空間分解能化処理を行う高画質化エンジンは、第1の実施形態等に係る高画質化処理を行った高画質画像について高空間分解能化した最終的な高画質画像を生成することができる。

【0337】

また、当該高画質化エンジンによる高空間分解能化処理を、第1の実施形態等に係る高画質化処理エンジンによる高画質化処理の前に行ってもよい。この場合には、高空間分解能化処理を行う高画質化エンジンについての教師データは、撮影装置で取得した低空間分解能画像である入力データと高空間分解能画像である出力データのペア群により構成する。また、第1の実施形態等に係る高画質化処理を行う高画質化エンジンの教師データとしては、高空間分解能画像を入力データと、高空間分解能画像を重ね合わせした画像を出力データのペア群により構成する。

【0338】

このような構成によっても、画像処理装置400は、入力画像と比べてノイズ低減及びコントラスト強調のうちの少なくとも一つがなされるとともに、空間分解能が向上された画像を高画質画像として生成することができる。

【0339】

なお、本実施形態では、第1の実施形態等に係る高画質化処理について、重ね合わせ画像を教師データの出力データとして用いる構成について述べたが、第1の実施形態と同様に当該出力データはこれに限られない。すなわち、重ね合わせ処理やMAP推定処理、平

10

20

30

40

50

滑化フィルタ処理、階調変換処理、高性能な撮影装置を用いた撮影、高コストな処理、ノイズ低減処理といった処理群や撮影方法のうち、少なくとも一つを行うことによって得られた高画質画像を用いてもよい。

【0340】

また、高画質化部404は、高画質化エンジンを用いて、高空間分解能化処理に加えて第15の実施形態に係る高画質化処理を行ってもよい。この場合には、入力画像と比べてノイズ低減及びコントラスト強調のうちの少なくとも一つがなされるとともに、入力画像と比べて高画像サイズ化及び高空間分解能化された画像を高画質画像として生成することができる。これにより、本実施形態に係る画像処理装置400は、画像診断に適した高画質画像を、撮影者や被検者の侵襲性を高めたり、労力を増したりすることなく出力することができる。

10

【0341】

なお、出力部405は、第1の実施形態と同様に、生成された高画質画像を撮影装置10や画像処理装置400に接続される他の装置に出力してもよい。

【0342】

<第17の実施形態>

次に、図22及び23を参照して、第17の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、解析部が高画質化部によって生成された高画質画像を画像解析する。

【0343】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第1の実施形態に係る画像処理装置400と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第1の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。

20

【0344】

図22は、本実施形態に係る画像処理装置2200の概略的な構成を示す。本実施形態に係る画像処理装置2200には、取得部401、撮影条件取得部402、高画質化可否判定部403、高画質化部404、及び出力部405に加えて、解析部2208が設けられている。なお、画像処理装置2200は、これら構成要素のうちの一部が設けられた複数の装置で構成されてもよい。ここで、取得部401、撮影条件取得部402、高画質化可否判定部403、高画質化部404、及び出力部405は、第1の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図4に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

30

【0345】

解析部2208は、高画質化部404が生成した高画質画像に対して所定の画像解析処理を適用する。画像解析処理は、例えば、眼科分野では、OCTにより取得された画像に対する、網膜層のセグメンテーション、層厚計測、乳頭三次元形状解析、篩状板解析、OCTA画像の血管密度計測、及び角膜形状解析等の既存の任意の画像解析処理を含む。また、画像解析処理は眼科分野の解析処理に限られず、例えば、拡散テンソル解析やVBL (Voxel-based Morphometry) 解析等の放射線分野における既存の任意の解析処理も含む。

40

【0346】

出力部405は、高画質化部404によって生成された高画質画像を表示部20に表示させるとともに、解析部2208による画像解析処理の解析結果を表示させることができる。なお、出力部405は解析部2208による画像解析結果のみを表示部20に表示させてもよいし、当該画像解析結果を撮影装置10や画像管理システム、その他の装置等に出力してもよい。なお、解析結果の表示形態は、解析部2208で行った画像解析処理に応じて任意であってよく、例えば、画像、数値又は文字として表示されてもよい。また、解析結果の表示形態は、高画質画像を解析処理して得た解析結果を、任意の透明度により高画質画像に重畳表示させたものであってもよい。すなわち、解析結果の表示形態は、高画質画像を解析処理して得た解析結果と高画質画像とを任意の透明度によりブレンド処理

50

して得た画像（例えば、２次元マップ）であってもよい。

【０３４７】

以下、図２３を参照して、本実施形態に係る一連の画像処理について、ＯＣＴＡのＥｎ－Ｆａｃｅ画像を例として説明する。図２３は、本実施形態に係る一連の画像処理のフロー図である。なお、本実施形態に係るステップＳ２３１０～ステップＳ２３４０の処理は、第１の実施形態におけるステップＳ５１０～ステップＳ５４０での処理と同様であるため、説明を省略する。なお、入力画像に対して、撮影条件について無条件で高画質化する場合には、ステップＳ２３２０の処理の後に、ステップＳ２３３０の処理を省き、処理をステップＳ２３４０に移行してよい。

【０３４８】

ステップＳ２３４０において、高画質化部４０４はＯＣＴＡのＥｎ－Ｆａｃｅ画像の高画質化を行い、処理はステップＳ２３５０に移行する。ステップＳ２３５０で、解析部２２０８が、ステップＳ２３４０において生成された高画質画像を画像解析する。高画質化したＯＣＴＡのＥｎ－Ｆａｃｅ画像における画像解析としては、任意の２値化処理を適用することで、画像から血管相当の箇所（血管領域）を検出することが出来る。検出した血管相当の箇所が画像に対して占める割合を求めることで面積密度を解析することが出来る。また、２値化処理した血管相当の箇所を細線化することで、線幅１画素の画像とし、太さに依存しない血管が占める割合（スケルトン密度ともいう）を求めることも出来る。これらの画像を用いて、無血管領域（ＦＡＺ）の面積や形状（円形度など）を解析するようにしてもよい。解析の方法として、画像全体から上述した数値を計算するようにしてもよいし、不図示のユーザーインターフェースを用いて、検者（ユーザー）の指示に基づいて、指定された関心領域（ＲＯＩ）に対して数値を計算するようにしてもよい。ＲＯＩの設定は必ずしも検者に指定されるだけではなく、自動的に所定の領域が指定されるものであってもよい。ここで、上述した各種パラメータは、血管に関する解析結果の一例であって、血管に関するパラメータであれば、何でもよい。なお、解析部２２０８は複数の画像解析処理を行ってもよい。すなわち、ここではＯＣＴＡのＥｎ－Ｆａｃｅ画像に関して解析する例を示したが、これだけではなく、同時にＯＣＴにより取得された画像に対する、網膜層のセグメンテーション、層厚計測、乳頭三次元形状解析、篩状板解析などを行ってもよい。これに関連して、解析部２２０８は、任意の入力装置を介した検者からの指示に応じて、複数の画像解析処理のうちの一部又は全部を行ってもよい。

【０３４９】

ステップＳ２３６０では、出力部４０５が、高画質化部４０４によって生成された高画質画像及び解析部２２０８による解析結果を表示部２０に表示させる。なお、出力部４０５は高画質画像及び解析結果を別々の表示部や装置に出力してもよい。また、出力部４０５は、解析結果のみを表示部２０に表示させてもよい。さらに、解析部２２０８が複数の解析結果を出力する場合には、出力部４０５は、複数の解析結果の一部又は全部を表示部２０やその他の装置に出力してもよい。例えば、ＯＣＴＡのＥｎ－Ｆａｃｅ画像における血管に関する解析結果を２次元マップとして表示部２０に表示させてもよい。また、ＯＣＴＡのＥｎ－Ｆａｃｅ画像における血管に関する解析結果を示す値をＯＣＴＡのＥｎ－Ｆａｃｅ画像に重畳して表示部２０に表示させてもよい。

【０３５０】

上記のように、本実施形態に係る画像処理装置２２００は、高画質画像を画像解析する解析部２２０８を更に備え、出力部４０５は解析部２２０８による解析結果を表示部２０に表示させる。このように、本実施形態に係る画像処理装置２２００では、画像解析に高画質画像を用いるため、解析の精度を向上させることができる。

【０３５１】

また、出力部４０５は、第１の実施形態と同様に、生成された高画質画像を撮影装置１０や画像処理装置２２００に接続される他の装置に出力してもよい。また、高画質化エンジンの教師データの出力データは、第１の実施形態と同様に、重ね合わせ処理を行った高画質画像に限られない。すなわち、重ね合わせ処理やＭＡＰ推定処理、平滑化フィルタ処

理、階調変換処理、高性能な撮影装置を用いた撮影、高コストな処理、ノイズ低減処理といった処理群や撮影方法のうち、少なくとも一つを行うことによって得られた高画質画像を用いてもよい。

【0352】

<第18の実施形態>

次に、図4を参照して、第18の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、学習時の画像にノイズを付加しノイズ成分を学習することで高画質化部が高画質画像を生成する例について説明をする。

【0353】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第1の実施形態に係る画像処理装置400と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第1の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第1の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図4に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

【0354】

本実施形態に係る取得部401は、撮影装置10や他の装置から、処理対象である入力データとして画像を取得する。本実施形態に係る高画質化部におけるCNNの構成例として、図24を用いて説明をする。図24は、高画質化部404における機械学習モデル構成の一例を示している。図24で示す構成は、入力値群を加工して出力する処理を担う、複数の層群によって構成される。なお、前記構成に含まれる層の種類としては、図24に示すように、畳み込み（Convolution）層、ダウンサンプリング（Downsampling）層、アップサンプリング（Upsampling）層、合成（Merge）層がある。畳み込み層は、設定されたフィルタのカーネルサイズ、フィルタの数、ストライドの値、ダイレーションの値等のパラメータに従い、入力値群に対して畳み込み処理を行う層である。なお、入力される画像の次元数に応じて、前記フィルタのカーネルサイズの次元数も変更してもよい。ダウンサンプリング層は、入力値群を間引いたり、合成したりすることによって、出力値群の数を入力値群の数よりも少なくする処理である。具体的には、例えば、Max Pooling処理がある。アップサンプリング層は、入力値群を複製したり、入力値群から補間した値を追加したりすることによって、出力値群の数を入力値群の数よりも多くする処理である。具体的には、例えば、線形補間処理がある。合成層は、ある層の出力値群や画像を構成する画素値群といった値群を、複数のソースから入力し、それらを連結したり、加算したりして合成する処理を行う層である。このような構成では、入力された画像Im2410を構成する画素値群が畳み込み処理ブロックを経て出力された値群と、入力された画像Im2410を構成する画素値群が、合成層で合成される。その後、合成された画素値群は最後の畳み込み層で高画質画像Im2420に成形される。なお、図示はしないが、CNNの構成の変更例として、例えば、畳み込み層の後にバッチ正規化（Batch Normalization）層や、正規化線形関数（Rectifier Linear Unit）を用いた活性化層を組み込む等をしてよい。

【0355】

本実施形態の高画質化エンジンは、撮影装置10や他の装置から得た画像に第一のノイズ成分を付加した低画質画像を入力し、出力データとしては、撮影装置10や他の装置から得た画像に第二のノイズ成分を付加した画像を高画質画像としてトレーニングしている。すなわち、本実施形態の学習時の教師画像は、低画質画像と高画質画像とが共通の画像を用いており、それぞれの画像におけるノイズ成分が異なるものとなる。画像としては同じものを用いているため、ペア画像とする際の位置合わせは不要である。

【0356】

ノイズ成分としては、ガウシアンノイズ、対象画像特有のノイズをモデル化したもの等をノイズとして付加する。ただし、第一と第二のノイズはそれぞれ異なるノイズとする。

異なるノイズとは、ノイズを付加する空間的な場所（画素の位置）が異なる、あるいはノイズの値が異なるなどを意味する。対象画像特有のノイズとしては、例えばOCTの場合、模型眼や被検眼を置かない状態で撮影したデータを基にノイズを推定し、それらをノイズモデルとして使用することが出来る。OCTAの場合では、無血管領域（FAZ）の範囲に現れるノイズや、血液の流れを模式的に再現した模型眼を撮影した画像に現れるノイズを基に、ノイズモデルとして使用することが出来る。

【0357】

ガウシアンノイズの場合は、ノイズの大きさとして標準偏差、あるいは分散値を定義し、それらの数値に基づいて画像にランダムにノイズを与える。ランダムノイズを与えた結果として、全体としての平均値は変わらないようにしてもよい。すなわち、1画像の各画素に付加されるノイズの平均値は0となるようにする。ここで、平均値は0となるようにする必要はなく、入力データと出力データとに対して互いに異なるパターンのノイズが付加できればよい。また、入力データと出力データとの両方にノイズを付加する必要はなく、いずれか一方にノイズを付加してもよい。ここで、ノイズを付加しない場合、例えば、高画質化後の画像では血管の偽像が生じる場合があったが、これは、高画質化前後の画像の差異が比較的大きい場合に生じると考えることも可能である。このため、高画質化前後の画像の差異が低減されるようにしてもよい。このとき、学習時において、低画質画像と高画質画像とに対して異なるパターンのノイズを付加して得た2つの画像をペア画像としてもよいし、また、高画質画像に対して異なるパターンのノイズを付加して得た2つの画像をペア画像としてもよい。

【0358】

出力部405は、高画質化部404が生成した高画質画像を表示部20に表示させる。なお、出力部405は、高画質画像とともに、入力画像を表示部20に表示させてもよい。

【0359】

以降の処理は、第1の実施形態における処理と同様であるため、説明を省略する。

【0360】

なお、本実施形態では、撮影装置10や他の装置から入手した低画質画像に第一のノイズ成分と第一のノイズ成分とは異なる第二のノイズ成分を付加した画像を用いて高画質画像を生成したが、これらの処理を行う構成はこれに限られない。例えば、ノイズを付加する画像は、第一の実施形態で示した重ね合わせ処理をした高画質画像に対して第一および第二のノイズ成分を付加するようにしてもよい。すなわち、重ね合わせ処理画像に第一のノイズ成分を付加した画像を低画質画像、重ね合わせ処理画像に第二のノイズ成分を付加した画像を高画質画像として学習する構成としてもよい。

【0361】

さらには、本実施形態では、第一と第二のノイズ成分を用いて学習する例について説明したがこれに限らない。例えば、低画質画像とする方にのみ第一のノイズ成分を付加し、高画質画像とする方にはノイズ成分を付加せずに学習を行う構成としてもよい。その際の画像としては、撮影装置10や他の装置から入手した画像でもよいし、その画像を重ね合わせ処理した画像を対象とするようにしてもよい。

【0362】

さらには、ノイズ成分の大きさを入力画像の種類、あるいは、学習する矩形領域画像毎に動的に変更するようにしてもよい。具体的には、値の大きなノイズを付加するとノイズ除去の効果が大きくなり、値の小さなノイズを付加するとノイズ除去の効果は小さい。そのため、例えば、暗い画像の時には付加するノイズ成分の値を小さくして、明るい画像の時には付加するノイズ成分の値を大きくするなど、画像全体あるいは矩形領域画像の条件や種類に応じて付加するノイズを調整して学習をするようにしてもよい。

【0363】

なお、本実施形態において、画像の撮影条件については明記しなかったが、様々な撮影範囲とスキャン数の異なる画像、異なる撮影部位や異なる深度の正面画像などを用いて学習しておく。

【0364】

上記では、撮影装置10や他の装置から入手した画像、その画像にノイズを付加したノイズ画像、重ね合わせ処理画像、重ね合わせ処理画像にノイズを付加した画像について説明をした。しかし、これらの組み合わせは上述したものに限らず、どのように低画質画像と高画質画像とを組み合わせてもよい。

【0365】

<第19の実施形態>

次に、図25、26を参照して、第19の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、高画質化部が複数の高画質化エンジンを備え、入力画像に対して複数の高画質画像を生成する。そして、合成部2505が複数の高画質化エンジンから出力される複数の高画質画像を合成する例について説明をする。

10

【0366】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第1の実施形態に係る画像処理装置400と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第1の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第1の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図4に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

【0367】

本実施形態に係る取得部401は、撮影装置10や他の装置から、処理対象である入力データとして画像を取得する。

20

【0368】

本実施形態に係る高画質化部404には、第2の実施形態と同様に複数の高画質化エンジンが備えられている。ここで、複数の高画質化エンジンの各々は、それぞれ撮影部位、撮影画角、異なる深度の正面画像、ノイズ成分、及び画像の解像度のうちの少なくとも一つについての異なる学習データを用いて学習を行ったものである。高画質化部404は、入力画像の撮影部位、撮影画角、異なる深度の正面画像、ノイズ成分、及び画像の解像度のうちの少なくとも一つに応じた高画質化エンジンを複数用いて、高画質画像を生成する。

【0369】

図26は、本実施形態に係る一連の画像処理のフロー図である。なお、本実施形態に係るステップS2610及びステップS2620の処理は、第1の実施形態におけるステップS510及びステップS520での処理と同様であるため、説明を省略する。なお、入力画像に対して、撮影条件について無条件で高画質化する場合には、ステップS2620の処理の後に、ステップS2630の処理を省き、処理をステップS2640に移行してよい。

30

【0370】

ステップS2620において、第1の実施形態と同様に、撮影条件取得部402が入力画像の撮影条件群を取得したら、処理はステップS2630に移行する。ステップS2630では、高画質化可否判定部403が、第2の実施形態と同様に、取得された撮影条件群を用いて、高画質化部404に備える高画質化エンジンのいずれかが入力画像を対処可能であるか否かを判定する。

40

【0371】

高画質化可否判定部403が、高画質化エンジン群のいずれも入力画像を対処不可能であると判定した場合には、処理はステップS2660に移行する。一方で、高画質化可否判定部403が、高画質化エンジン群のいずれかが入力画像を対処可能であると判定した場合には、処理はステップS2640に移行する。なお、画像処理装置400の設定や実装形態によっては、第1の実施形態と同様に、高画質化エンジンによって一部の撮影条件が対処不可能であると判定されたとしても、ステップS2640を実施してもよい。

【0372】

ステップS2640においては、高画質化部404が、高画質化エンジン群のそれぞれ

50

にステップ S 2 6 1 0 において取得した入力画像を入力し、高画質画像群を生成する。

【 0 3 7 3 】

ステップ S 2 6 5 0 では、合成部 2 4 0 5 が、ステップ S 2 6 4 0 において生成された高画質画像群のうちいくつかの高画質な画像を合成する。具体的には、例えば、第 1 の実施形態で示したように撮影装置 1 0 から取得した低画質画像と、低画質画像を複数回撮影することにより取得した画像群に対して加算平均等の重ね合わせ処理をして得た高画質画像とのペア画像を用いて学習した第一の高画質化エンジンと、第 1 8 の実施形態で示したような画像にノイズを付加したペア画像を用いて学習した第二の高画質化エンジンとの 2 つの高画質画像の結果を合成する。合成方法としては、加算平均や重み付き加算平均などを用いて合成することが出来る。

10

【 0 3 7 4 】

ステップ S 2 6 6 0 においては、出力部 4 0 5 が、ステップ S 2 6 5 0 において合成された画像を表示部 2 0 に表示させたり、他の装置に出力したりする。ただし、ステップ S 2 6 3 0 において、入力画像が処理不可能であると判定されている場合には、出力部 4 0 5 は、入力画像を出力画像として出力する。なお、出力部 4 0 5 は、検者によって入力画像が指示された場合や、入力画像が処理不可能であった場合には、表示部 2 0 に出力画像が入力画像と同じであることを表示させてもよい。

【 0 3 7 5 】

< 第 2 0 の実施形態 >

次に、図 4 を参照して、第 2 0 の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、高画質化部が第一の高画質化エンジンの出力結果を用いて第二の高画質化エンジンが高画質画像を生成する例について説明をする。

20

【 0 3 7 6 】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第 1 の実施形態に係る画像処理装置 4 0 0 と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第 1 の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第 1 の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図 4 に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

【 0 3 7 7 】

本実施形態に係る取得部 4 0 1 は、撮影装置 1 0 や他の装置から、処理対象である入力データとして画像を取得する。

30

【 0 3 7 8 】

本実施形態に係る高画質化部 4 0 4 には、第 1 の実施形態と同様の、高画質化エンジンが複数備えられている。本実施形態の高画質化部は、撮影装置 1 0 や他の装置から入力データとして取得した低画質画像と、複数の低画質画像から生成された中画質画像を出力データとして学習した第一の高画質化エンジンを備える。さらに、第一の高画質化エンジンから出力された画像と、中画質画像よりも高画質な画像を出力データとして学習した第二の高画質化エンジンを備える。なお、中画質画像に関しては、第 1 4 の実施形態と同様であるため、説明を省略する。

40

【 0 3 7 9 】

出力部 4 0 5 は、高画質化部 4 0 4 が生成した高画質画像を表示部 2 0 に表示させる。なお、出力部 4 0 5 は、高画質画像とともに、入力画像を表示部 2 0 に表示させてもよく、この場合に、出力部 4 0 5 は、入力画像が複数の低画質画像から生成された画像であることを表示部 2 0 に表示してもよい。

【 0 3 8 0 】

次に、図 5 を参照して、本実施形態に係る一連の画像処理について説明する。なお、本実施形態に係るステップ S 5 1 0 ～ステップ S 5 3 0 の処理は、第 1 の実施形態におけるこれらの処理と同様であるため、説明を省略する。

【 0 3 8 1 】

50

ステップ S 5 4 0 においては、高画質化部 4 0 4 が、高画質化エンジンを用いて、入力画像を高画質化し、入力画像よりも画像診断に適した高画質画像を生成する。具体的には、高画質化部 4 0 4 は、入力画像を第一の高画質化エンジンに入力し、高画質化された第一の高画質画像を生成させる。さらに、第一の高画質画像を第二の高画質化エンジンに入力し、第二の高画質画像を得る。高画質化エンジンは、教師データを用いて機械学習を行った機械学習モデルに基づいて、入力画像を用いて重ね合わせ処理を行ったような高画質画像を生成する。このため、高画質化エンジンは、入力画像よりも、ノイズ低減されたり、コントラスト強調されたりした高画質画像を生成することができる。

【 0 3 8 2 】

以降の処理は、第 1 の実施形態における処理と同様であるため、説明を省略する。

10

【 0 3 8 3 】

なお、本実施形態では、撮影装置 1 0 や他の装置から入手した低画質画像と中画質画像とをペアで学習した第一の高画質化エンジンと第一の高画質画像と高画質画像とをペアで学習した第二の高画質エンジンを用いて高画質画像を生成したが、これらの処理を行う構成はこれに限られない。例えば、第一の高画質化エンジンで学習する画像のペアは、第 1 8 の実施形態で説明をしたノイズを学習するエンジンとし、第二の高画質化エンジンは第一の高画質画像と高画質画像とをペアで学習するようにしてもよい。逆の構成として、低画質画像と中画質画像とをペアで学習した第一の高画質化エンジンと、第二の高画質化エンジンは第一の高画質画像に対してノイズを付加した画像を学習したエンジンとしてもよい。

20

【 0 3 8 4 】

さらに、第一の高画質化エンジンと第二の高画質化エンジン共に、第 1 8 の実施形態で説明をしたノイズを学習するエンジンとしてもよい。この場合、例えば、第一の高画質化エンジンは、重ね合わせ処理画像により生成した高画質画像に第一および第二のノイズを付加した画像をペアで学習し、第二の高画質化エンジンは、第一の高画質化エンジンにより生成された第一の高画質画像に対して第一および第二のノイズを付加した画像をペアで学習する。なお、本実施形態では、二つの高画質化エンジンについて説明を行ったが、これに限らず、第三、第四と、さらに連結して処理をする構成としてもよい。学習に用いる画像をきれいにしていくことで、より滑らかでシャープな画像を生成しやすいネットワークが構成される。

30

【 0 3 8 5 】

< 第 2 1 の実施形態 >

次に、図 4 及び 2 7 を参照して、第 2 1 の実施形態に係る画像処理装置について説明する。第 1 の実施形態では、高画質化部 4 0 4 は、一つの高画質化エンジンを備えていた。これに対して、本実施形態では、高画質化部が、異なる教師データを用いて機械学習を行った複数の高画質化エンジンを備え、入力画像に対して複数の高画質画像を生成する。

【 0 3 8 6 】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第 2 の実施形態に係る画像処理装置 4 0 0 と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第 1、第 2 の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第 1、第 2 の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図 4 に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

40

【 0 3 8 7 】

本実施形態に係る高画質化部 4 0 4 には、それぞれ異なる教師データを用いて機械学習が行われた二つ以上の高画質化エンジンが備えられている。ここで、本実施形態に係る教師データ群の作成方法について説明する。まず、様々な撮影範囲とスキャン数の異なる画像で撮影された、入力データとしての元画像と出力データとしての重ね合わせ画像のペア群を用意する。O C T や O C T A を例に説明すると、例えば、 3×3 mm の範囲を 3 0 0 本の A スキャンと 3 0 0 枚の B スキャンで撮影した第一の画像群のペアと、 10×10 m

50

mの範囲を500本のAスキャンと500枚のBスキャンで撮影した第二の画像群のペアとする。この時、第一の画像群のペアと第二の画像群のペアとでは、スキャン密度が2倍異なる。そのため、これらの画像群は別としてグルーピングしておく。そして、6×6mmの範囲を600本のAスキャンと600枚のBスキャンで撮影した画像群がある場合には、第一の画像群と同一のグループとする。すなわち、ここではスキャン密度が同じか、ほぼ同じ（1割程度の誤差）の画像群を同一のグループでグルーピングをする。

【0388】

次に、スキャン密度毎にペア群をグルーピングすることで、教師データ群を作成する。例えば、第一のスキャン密度で撮影して取得されたペア群で構成される第一の教師データ、第二のスキャン密度で撮影して取得されたペア群で構成される第二の教師データというように、教師データ群を作成する。

10

【0389】

その後、各教師データを用いて別々の高画質化エンジンに機械学習を行わせる。例えば、第一の教師データでトレーニングされた機械学習モデルに対応する第一の高画質化エンジン、第二の教師データでトレーニングされた機械学習モデルに対応する第二の高画質化エンジンというように高画質化エンジン群を用意する。

【0390】

このような高画質化エンジンは、それぞれ対応する機械学習モデルのトレーニングに用いた教師データが異なるため、高画質化エンジンに入力される画像の撮影条件によって、入力画像を高画質化できる程度が異なる。具体的には、第一の高画質化エンジンは、第一のスキャン密度で取得された入力画像に対しては高画質化の程度が高く、第二のスキャン密度で取得された画像に対しては高画質化の程度が低い。同様に、第二の高画質化エンジンは、第二のスキャン密度で取得された入力画像に対しては高画質化の程度が高く、第一のスキャン密度で取得された画像に対しては高画質化の程度が低い。

20

【0391】

一方、学習時に様々な撮影範囲とスキャン密度の異なる画像を教師データとして十分の数を集められない場合がある。その場合、それらの画像群に対しては、第18の実施形態で示したように、ノイズ成分を学習した高画質化エンジンを用意する。

【0392】

ノイズ成分を学習した高画質化エンジンは、撮影時のスキャン密度の影響を受けにくい
ため、学習していないスキャン密度の画像が入力された際には、こちらを適用する。

30

【0393】

教師データのそれぞれがスキャン密度によってグルーピングされたペア群で構成されることにより、該ペア群を構成する画像群の画質傾向が似る。このため、高画質化エンジンは対応するスキャン密度であれば、第一の実施形態に係る高画質化エンジンよりも効果的に高画質化を行うことができる。なお、教師データのペアをグルーピングするための撮影条件は、スキャン密度に限られず、撮影部位であったり、正面画像においては異なる深度の画像であったり、これらのうちの二つ以上の組み合わせであったりしてもよい。

【0394】

以下、図27を参照して、本実施形態に係る一連の画像処理について説明する。図27は、本実施形態に係る一連の画像処理のフロー図である。なお、ステップS2710及びステップS2720の処理は、第1の実施形態に係るステップS510及びステップS520と同様であるため、説明を省略する。

40

【0395】

ステップS2720において入力画像の撮影条件が取得されると、処理はステップS2730に移行する。ステップS2730においては、高画質化可否判定部403が、ステップS2720において取得した撮影条件群を用いて、高画質化部404が備える高画質化エンジン群のいずれかが、入力画像を対処可能であるか否かを判定する。

【0396】

高画質化可否判定部403が、撮影条件外であると判定した場合には、処理はステップ

50

S 2 7 7 0に移行する。一方で、高画質化可否判定部 4 0 3 が、撮影条件内であると判定した場合には、処理はステップ S 2 7 4 0に移行する。

【0 3 9 7】

ステップ S 2 7 4 0においては、高画質化部 4 0 4 が、ステップ S 2 7 2 0で取得した入力画像の撮影条件及び高画質化エンジン群の教師データの情報に基づいて、高画質化エンジン群から高画質化処理を行う高画質化エンジンを選択する。具体的には、例えば、ステップ S 2 7 2 0において取得した撮影条件群のうちのスキャン密度に対して、スキャン密度に関する教師データの情報を有し、高画質化の程度が高い高画質化エンジンを選択する。上述の例では、スキャン密度が第一のスキャン密度である場合には、高画質化部 4 0 4 は第一の高画質化エンジンを選択する。

10

【0 3 9 8】

一方、ステップ S 2 7 7 0においては、高画質化部 4 0 4 は、ノイズ成分を学習した高画質化エンジンを選択する。

【0 3 9 9】

ステップ S 2 7 5 0では、高画質化部 4 0 4 が、ステップ S 2 7 4 0、ステップ S 2 7 7 0において選択した高画質化エンジンを用いて、入力画像を高画質化した高画質画像を生成する。その後、ステップ S 2 7 6 0において、出力部 4 0 5 は、ステップ S 2 7 5 0において高画質画像を出力して、表示部 2 0に表示させる。なお、出力部 4 0 5 は、高画質画像を表示部 2 0に表示させる際、高画質化部 4 0 4 によって選択された高画質化エンジンを用いて生成された高画質画像であることを表示させてもよい。

20

【0 4 0 0】

上記のように、本実施形態に係る高画質化部 4 0 4 は、それぞれ異なる学習データを用いて学習を行った複数の高画質化エンジンを備える。ここで、複数の高画質化エンジンの各々は、それぞれ撮影部位、撮影画角、異なる深度の正面画像、及び画像の解像度のうちの少なくとも一つについての異なる学習データを用いて学習を行ったものである。さらに、正解データ（出力データ）を十分に集められなかったデータについては、ノイズ成分を用いて学習を行ったものである。高画質化部 4 0 4 は、これらのうちの少なくとも一つに応じた高画質化エンジンを用いて、高画質画像を生成する。

【0 4 0 1】

このような構成により、本実施形態に係る画像処理装置 4 0 0 は、より効果的な高画質画像を生成することができる。

30

【0 4 0 2】

＜第 2 2 の実施形態＞

次に、図 3 0 から 3 2 を参照して、第 2 2 の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、広画角画像生成部が高画質化部によって生成された複数の高画質画像を用いて広画角画像（パノラマ画像）を生成する。

【0 4 0 3】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第 1 の実施形態に係る画像処理装置 4 0 0 と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第 1 の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第 1 の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図 4 に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

40

【0 4 0 4】

図 3 1 (a) は、本実施形態に係る一連の画像処理のフロー図である。ステップ S 3 1 1 0において、取得部 4 0 1 は撮影装置 1 0 や他の装置から入力データとして複数の画像（少なくとも 2 枚）を取得する。複数の画像は、同一の被写体（被検眼など）の異なる位置を撮影した画像であり、被写体に対して完全には重複せずに、画像の一部が重複する場所を撮影した画像とする。被検眼を撮影する場合を例に説明すると、撮影時に固視灯の位置を変更し、被検眼がその固視灯に注視することで、同一の被検眼において異なる場所を

50

撮影した画像を取得することが出来る。なお、画像撮影時には、隣接する画像同士の重複領域が少なくとも2割程度が同じ場所となるように固視灯の位置を変更して撮影しておくことが望ましい。図32(a)に、隣接する画像の一部が重複するように固視灯の位置を変更して撮影したOCTAのEn-Face画像の例を示す。図32(a)では、固視灯の位置を変更して異なる場所を5回撮影する場合の例を示している。なお、図32には例として5枚の画像を示しているが、5枚に限らず2枚以上であればよい。

【0405】

なお、本実施形態に係るステップS3120の処理は、第1の実施形態におけるステップS520での処理と同様であるため、説明を省略する。なお、入力画像に対して、撮影条件について無条件で高画質化する場合には、ステップS3120の処理の後に、ステップS3130の処理を省き、処理をステップS3140に移行してよい。

【0406】

ステップS3120において、第1の実施形態と同様に、撮影条件取得部402が入力画像の撮影条件群を取得したら、処理はステップS3130に移行する。ステップS3130では、高画質化可否判定部403が、第1の実施形態と同様に、取得された撮影条件群を用いて、高画質化部404に備える高画質化エンジンが入力画像を対処可能であるか否かを判定する。

【0407】

高画質化可否判定部403が、高画質化エンジンが複数の入力画像を対処不可能であると判定した場合には、処理はステップS3160に移行する。一方で、高画質化可否判定部403が、高画質化エンジンが複数の入力画像を対処可能であると判定した場合には、処理はステップS3140に移行する。なお、画像処理装置400の設定や実装形態によっては、第1の実施形態と同様に、高画質化エンジンによって一部の撮影条件が対処不可能であると判定されたとしても、ステップS3140を実施してもよい。

【0408】

ステップS3140においては、高画質化部404が、ステップS3110において取得した複数の入力画像に対して処理を実行し複数の高画質画像を生成する。

【0409】

ステップS3150では、広画角画像生成部3005が、ステップS3140において生成された高画質画像群のうちいくつかの高画質な画像を合成する。具体的には、OCTAのEn-Face画像を例に説明をする。複数の画像は完全には重複しないが、隣接する画像同士は一部の領域が互いに重複するように撮影されたOCTAのEn-Face画像である。そのため、広画角画像生成部3005は複数のOCTAのEn-Face画像から重複した領域を検出し、重複領域を用いて位置合わせを実施する。位置合わせパラメータに基づいてOCTAのEn-Face画像を変形して画像を合成することで、1枚のOCTAのEn-Face画像よりも広範囲なOCTAのEn-Face画像を生成することが出来る。この時、入力となる複数のOCTAのEn-Face画像はステップS3140において高画質化されているため、ステップS3150において出力される広画角なOCTAのEn-Face画像は既に高画質化されている。図32(b)に広画角画像生成部3005によって生成される広画角なOCTAのEn-Face画像の例を示す。図32(b)は図32(a)で示した5枚の画像を位置合わせして生成した例である。図32(c)には、図32(a)と図32(b)との位置の対応関係を示す。図32(c)に示すように、Im3210を中心に、その周辺にIm3220~3250が配置される。なお、OCTAのEn-Face画像は、3次元のモーションコントラストデータから異なる深度範囲を設定することで、複数のOCTAのEn-Face画像を生成することが出来る。そのため、図32には広画角の表層画像の例を示したが、これに限らない。例えば、図29で示した表層のOCTAのEn-Face画像(Im2910)を用いて位置合わせをして、その他の深度範囲のOCTAのEn-Face画像は、そこで求めたパラメータを用いて変形させるようにしてもよい。あるいは、位置合わせの入力画像をカラー画像とし、RGB成分のRG成分に表層のOCTAのEn-Face、B成分に位置合

10

20

30

40

50

わせの対象となるOCTAのEn-Face画像とした合成カラー画像を生成する。そして、複数の深度範囲の層を1枚に合成した合成カラーOCTAのEn-Face画像の位置合わせを実施してもよい。それにより、位置合わせ済みのカラーOCTAのEn-Face画像からB成分のみを抽出すれば、対象となるOCTAのEn-Face画像の位置合わせが済んだ広画角のOCTAのEn-Face画像を得ることが出来る。なお、高画質化を行う対象として、2次元のOCTAのEn-Face画像に限らず、3次元のOCT、3次元のモーションコントラストデータそのものでもよい。その場合、3次元データで位置合わせを行い、広範囲の3次元データを生成するようにしてもよい。広範囲の3次元データから任意の断面(XYZのどの面でも可能)や任意の深度範囲(Z方向での範囲)を切り出すことで、高画質な広画角画像を生成することが出来る。

10

【0410】

ステップS3160においては、出力部405が、ステップS3150において複数の画像から合成された画像を表示部20に表示させたり、他の装置に出力したりする。ただし、ステップS3130において、入力画像が処理不可能であると判定されている場合には、出力部405は、入力画像を出力画像として出力する。なお、出力部405は、検者によって入力画像が指示された場合や、入力画像が処理不可能であった場合には、表示部20に出力画像が入力画像と同じであることを表示させてもよい。

【0411】

なお、本実施形態では、複数の入力画像からそれぞれ高画質画像を生成し、高画質画像を位置合わせすることで、最終的な一枚の高画質な広画角画像を生成したが、複数の入力画像から一枚の高画質画像を生成する方法はこれに限られない。例えば、図31(b)に示す本実施形態の高画質化処理の別例では、先に一枚の広画角画像を生成し、広画角画像に対して高画質化処理を実行して最終的に一枚の高画質な広画角画像を生成するようにしてもよい。

20

【0412】

この処理に関して、図31(b)を用いて説明を行うが、図31(a)と同様な処理の部分に関しては説明を省略する。

【0413】

ステップS3121では、広画角画像生成部3005が、ステップS3110において取得した複数の画像を合成する。広画角画像生成に関しては、ステップS3150での説明と同様であるが、入力画像が撮影装置10や他の装置から取得した画像であり、高画質化される前の画像である点が異なる。

30

【0414】

ステップS3151では、高画質化部404が、広画角画像生成部3005が生成した高画質画像に対して処理を実行し一枚の高画質な広画角画像を生成する。

【0415】

このような構成により、本実施形態に係る画像処理装置400は、広画角な高画質画像を生成することができる。

【0416】

上記第1～22の実施形態に関しては、出力部405による表示部20への高画質画像の表示は基本的に高画質化部404による高画質画像の生成や解析部2208による解析結果の出力に応じて自動で行われる。しかしながら、高画質画像の表示は、検者からの指示に応じてなされてもよい。例えば、出力部405は、高画質化部404によって生成された高画質画像と入力画像のうち、検者からの指示に応じて選択された画像を表示部20に表示させてもよい。また、出力部405は、検者からの指示に応じて、表示部20上の表示を撮影画像(入力画像)から高画質画像に切り替えてもよい。すなわち、出力部405は、検者からの指示に応じて、低画質画像の表示を高画質画像の表示に変更してもよい。また、出力部405は、検者からの指示に応じて、高画質画像の表示を低画質画像の表示に変更してもよい。さらに、高画質化部404が、高画質化エンジンによる高画質化処理の開始(高画質化エンジンへの画像の入力)を検者からの指示に応じて実行し、出力部

40

50

405が、高画質化部404によって生成された高画質画像を表示部20に表示させてもよい。これに対し、撮影装置10によって入力画像が撮影されると、高画質化エンジンが自動的に入力画像に基づいて高画質画像を生成し、出力部405が、検者からの指示に応じて高画質画像を表示部20に表示させてもよい。なお、これらの処理は解析結果の出力についても同様に行うことができる。すなわち、出力部405は、検者からの指示に応じて、低画質画像の解析結果の表示を高画質画像の解析結果の表示に変更してもよい。また、出力部405は、検者からの指示に応じて、高画質画像の解析結果の表示を低画質画像の解析結果の表示に変更してもよい。もちろん、出力部405は、検者からの指示に応じて、低画質画像の解析結果の表示を低画質画像の表示に変更してもよい。また、出力部405は、検者からの指示に応じて、低画質画像の表示を低画質画像の解析結果の表示に変更してもよい。また、出力部405は、検者からの指示に応じて、高画質画像の解析結果の表示を高画質画像の表示に変更してもよい。また、出力部405は、検者からの指示に応じて、高画質画像の解析結果の表示を高画質画像の解析結果の表示に変更してもよい。また、出力部405は、検者からの指示に応じて、低画質画像の解析結果の表示を低画質画像の他の種類の解析結果の表示に変更してもよい。また、出力部405は、検者からの指示に応じて、高画質画像の解析結果の表示を高画質画像の他の種類の解析結果の表示に変更してもよい。ここで、高画質画像の解析結果の表示は、高画質画像の解析結果を任意の透明度により高画質画像に重畳表示させたものであってもよい。また、低画質画像の解析結果の表示は、低画質画像の解析結果を任意の透明度により低画質画像に重畳表示させたものであってもよい。このとき、解析結果の表示への変更は、例えば、表示されている画像に対して任意の透明度により解析結果を重畳させた状態に変更したものであってもよい。また、解析結果の表示への変更は、例えば、解析結果と画像とを任意の透明度によりブレンド処理して得た画像（例えば、2次元マップ）の表示への変更であってもよい。さらに、撮影箇所推定エンジンや画質評価エンジン、真贋評価エンジン、評価部による処理を検者からの指示に応じて開始するように、画像処理装置が構成されてもよい。なお、上記第1～22の実施形態に関し、出力部405が高画質画像を表示部20に表示させる表示態様は任意であってよい。例えば、出力部405は、入力画像と高画質画像を並べて表示させてもよいし、切り替えて表示させてもよい。また、出力部405は、入力画像や高画質画像を、撮影部位や撮影日時、撮影が行われた施設等に応じて順番に表示させてもよい。同様に、出力部405は高画質画像を用いた画像解析結果等を、高画質画像や高画質画像に対応する入力画像の任意の撮影条件に応じて順番に表示させてもよい。さらに、出力部405は高画質画像を用いた画像解析結果を、解析項目ごとに順番に表示させてもよい。

【0417】

<第23の実施形態>

次に、図4、図29と図33を参照して、第23の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、入力データに対応する高画質画像である出力データのペア群で構成される教師データを用いて学習を行う。その際、複数の高画質化エンジンによって生成する複数の高画質な出力データを用いて、1つの高画質化エンジンを生成する。

【0418】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第1の実施形態に係る画像処理装置400と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第1の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第1の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図4に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

【0419】

本実施形態に係る取得部401は、撮影装置10や他の装置から、処理対象である入力データとして画像を取得する。本実施形態に係る高画質化部404における高画質化エンジンの生成に関して、図29と図33を用いて説明をする。まず、図33(a)を用いて本実施形態における第1の学習について説明をする。図33(a)は、複数の入力データ

と出力データのペア群と複数の高画質化エンジンの一例を示している。Im3311とIm3312は、入力データと出力データのペア群を示している。例えば、このペアは図29で示した表層（Im2910）のペア群とする。そして、3313はIm3311とIm3312のペア群を用いて学習を行った高画質化エンジンを示している。なお、図33（a）での学習には、第1の実施形態で説明したような重ね合わせ処理により生成する高画質画像を用いる方法でもよいし、第18の実施形態で説明したようなノイズ成分を学習する方法でもよい。あるいはそれらの組み合わせでもよい。Im3321とIm3322は、入力データと出力データのペア群で、例えば、図29で示した深層（Im2920）のペア群とする。そして、3323はIm3321とIm3322のペア群で学習を行った高画質化エンジンを示している。同様に、Im3331とIm3332は、入力データと出力データのペア群で、例えば、図29で示した外層（Im2930）のペア群とする。そして、3333はIm3331とIm3332のペア群で学習を行った高画質化エンジンを示している。すなわち、図33（a）ではそれぞれの画像毎に学習を行う。そのため、例えば、第18の実施形態で説明したノイズ成分の場合は、それぞれの画像に適したノイズパラメータで学習を行うことが出来る。このとき、高画質化エンジンは、医用画像の少なくとも一部の領域の状態に応じたノイズが該少なくとも一部の領域に付加された学習データを用いて得た機械学習エンジンを含むことができる。ここで、上記状態に応じたノイズとは、例えば、少なくとも一部の領域の画素値に応じた大きさのノイズであってもよい。また、上記状態に応じたノイズとは、例えば、少なくとも一部の領域における特徴が少ない（例えば、画素値が小さい、コントラストが低い等）場合には、小さいノイズであってもよい。また、上記状態に応じたノイズとは、例えば、少なくとも一部の領域における特徴が多い（例えば、画素値が大きい、コントラストが高い等）場合には、大きなノイズであってもよい。また、高画質化エンジンは、複数の深度範囲のうち少なくとも2つの深度範囲それぞれに対して異なる大きさのノイズが付加された複数の正面画像を含む学習データを用いて得た機械学習エンジンを含むことができる。このとき、例えば、特徴が少ない（例えば、画素値が小さい）正面画像に対応する深度範囲においては、小さいノイズが付加された正面画像を学習データとしてもよい。また、例えば、特徴が多い（例えば、画素値が大きい）正面画像に対応する深度範囲においては、大きいノイズが付加された正面画像を学習データとしてもよい。なお、特徴が中程度である正面画像に対応する深度範囲においては、中程度の大きさのノイズが付加された正面画像を学習データとしてもよい。ここで、複数の深度範囲は、深さ方向において隣り合う2つの深度範囲の一部が互いに重複していてもよい。

【0420】

次に、図33（b）を用いて本実施形態における画像の推論について説明をする。図33（b）は、図33（a）で学習をした高画質化エンジン3313～3333を用いて画像を生成する。例えば、複数の表層画像を用いて学習を行った高画質化エンジン3313に対して、低画質な表層画像Im3310を入力すると高画質な表層画像Im3315を出力する。また、複数の深層画像を用いて学習を行った高画質化エンジン3323に対して、低画質な深層画像Im3320を入力すると高画質な深層画像Im3325を出力する。複数の外層画像を用いて学習を行った高画質化エンジン3333も同様に、低画質な外層画像Im3330を入力すると高画質な外層画像Im3335を出力する。

【0421】

次に、図33（c）を用いて本実施形態における第2の学習について説明をする。図33（c）は、異なる種類の複数の画像ペア群を用いて、1つの高画質化エンジン3300を学習する様子を示している。Im3310は低画質な表層画像、Im3315は高画質な表層画像のペア群、Im3320は低画質な深層画像、Im3325は高画質な深層画像のペア群、Im3330は低画質な外層画像、Im3335は高画質な外層画像のペア群を示す。すなわち、第1の学習で学習した高画質化エンジンを用いて生成した高画質画像である出力データと低画質な入力データとのペア群で構成された教師データを用いて高画質化エンジン3300を生成する。以上により、高画質化エンジン3300は、様々な

種類の入力画像から、ノイズが低減されたり、高コントラストとなったりした、画像診断に適した高画質画像を生成することができる。

【0422】

出力部405は高画質化部404が生成した高画質画像を表示部20に表示させる。なお、出力部405は高画質画像とともに、入力画像を表示部20に表示させてもよい。

【0423】

以降の処理は、第1の実施形態における処理と同様であるため、説明を省略する。

【0424】

なお、本実施形態では、OCTAのEn-Face画像は異なる深さの3層を用いて説明をしたが、画像の種類はこれに限らず、基準となる層とオフセットの値を変えて異なる深度範囲を設定したOCTAのEn-Face画像を生成して種類を増やしてもよい。画像の種類は深さ方向の違いに限らず、部位毎の違いでもよい。例えば、前眼部と後眼部など、異なる撮影場所であってもよい。さらに画像は、OCTAのEn-Face画像に限らず、OCTデータから生成する輝度のEn-Face画像であってもよい。そして、第1の学習では別々に学習を行っておき、第2の学習において、これらOCTAのEn-Face画像と輝度のEn-Face画像とをまとめて学習してもよい。さらには、En-Face画像だけではなく、断層画像やSLO画像、眼底写真、蛍光眼底写真など、異なる撮影装置であっても構わない。

【0425】

なお、第2の学習によって高画質化エンジンは1つとなる例を説明したが、必ずしも1つである必要はない。第1の学習で生成する高画質化エンジンの出力データと低画質な入力データとのペア群で学習をする高画質化エンジンの構成であればよい。さらに、第2の学習において、図33(c)では、異なる種類の複数の画像ペア群を用いて同時に学習をする例を示したが、これに限らず転移学習でもよい。例えば、Im3310とIm3315の表層画像のペア群で学習した後に、そのネットワークを使ってIm3320とIm3325の深層画像のペア群を学習するというようにして、最終的に高画質化エンジン3300を生成するようにしてもよい。

【0426】

このような構成により、本実施形態に係る高画質化部404は様々な種類の画像に対して、より効果的な高画質画像を生成することができる。

【0427】

＜第24の実施形態＞

次に、図34を参照して、第24の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、高画質化部404での処理結果を出力部405が表示部20に表示を行う例について説明を行う。なお、本実施形態では、図34を用いて説明を行うが表示画面はこれに限らない。経過観察のように、異なる日時で得た複数の画像を並べて表示する表示画面においても同様に高画質化処理は適用可能である。また、撮影確認画面のように、検者が撮影直後に撮影成否を確認する表示画面においても同様に高画質化処理は適用可能である。

【0428】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第1の実施形態に係る画像処理装置400と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第1の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。

【0429】

出力部405は、高画質化部404が生成した複数の高画質画像や高画質化を行っていない低画質画像を表示部20に表示させることができる。これにより、検者の指示に応じて低画質画像、高画質画像をそれぞれ出力することができる。

【0430】

以下、図34(a)及び(b)を参照して、当該インターフェース3400の一例を示す。3400は画面全体、3401は患者タブ、3402は撮影タブ、3403はレポー

10

20

30

40

50

トタブ、3404は設定タブを表し、3403のレポートタブにおける斜線は、レポート画面のアクティブ状態を表している。本実施形態においては、レポート画面を表示する例について説明をする。Im3405はSLO画像、Im3406は、Im3407に示すOCTAのEn-Face画像をSLO画像Im3405に重畳表示している。ここでSLO画像とは、不図示のSLO（Scanning Laser Ophthalmoscope：走査型検眼鏡）光学系によって取得した眼底の正面画像である。Im3407とIm3408はOCTAのEn-Face画像、Im3409は輝度のEn-Face画像、Im3411とIm3412は断層画像を示している。3413と3414は、それぞれIm3407とIm3408に示したOCTAのEn-Face画像の上下範囲の境界線を断層画像に重畳表示している。ボタン3420は、高画質化処理の実行を指定するためのボタンである。もちろん、後述するように、ボタン3420は、高画質画像の表示を指示するためのボタンであってもよい。

10

【0431】

本実施形態において、高画質化処理の実行はボタン3420を指定して行うか、データベースに保存（記憶）されている情報に基づいて実行の有無を判断する。初めに、検者からの指示に応じてボタン3420を指定することで高画質画像の表示と低画質画像の表示を切り替える例について説明をする。なお、高画質化処理の対象画像はOCTAのEn-Face画像として説明する。検者がレポートタブ3403を指定してレポート画面に遷移した際には、低画質なOCTAのEn-Face画像Im3407とIm3408を表示する。その後、検者がボタン3420を指定することで、高画質化部404は画面に表示している画像Im3407とIm3408に対して高画質化処理を実行する。高画質化処理が完了後、出力部405は高画質化部404が生成した高画質画像をレポート画面に表示する。なお、Im3406は、Im3407をSLO画像Im3405に重畳表示しているものであるため、Im3406も高画質化処理した画像を表示する。そして、ボタン3420の表示をアクティブ状態に変更し、高画質化処理を実行したことが分かるような表示をする。ここで、高画質化部404における処理の実行は、検者がボタン3420を指定したタイミングに限る必要はない。レポート画面を開く際に表示するOCTAのEn-Face画像Im3407とIm3408の種類は事前に分かっているため、レポート画面に遷移する際に高画質化処理を実行してもよい。そして、ボタン3420が押下されたタイミングで、出力部405が高画質画像をレポート画面に表示するようにしてもよい。さらに、検者からの指示に応じて、又はレポート画面に遷移する際に高画質化処理を行う画像の種類は2種類である必要はない。表示する可能性の高い画像、例えば、図29（a）で示したような表層（Im2910）、深層（Im2920）、外層（Im2930）、脈絡膜血管網（Im2940）などの複数のOCTAのEn-Face画像に対して処理を行うようにしてもよい。この場合、高画質化処理をして得た画像を一時的にメモリに記憶、あるいはデータベースに記憶しておくようにしてもよい。

20

30

【0432】

このとき、高画質化処理の対象画像は、（複数の深度範囲に対応する）複数のOCTAのEn-Face画像（Im3407とIm3408）ではなく、例えば、1つの深度範囲に対応する1つのOCTAのEn-Face画像であってもよい。また、高画質化処理の対象画像は、OCTAのEn-Face画像の代わりに、例えば、輝度のEn-Face画像（Im3409）、あるいはBスキャンであるOCT断層画像やモーションコントラストデータの断層画像（Im3411とIm3412）であってもよい。また、高画質化処理の対象画像は、OCTAのEn-Face画像だけでなく、例えば、輝度のEn-Face画像（Im3409）及びBスキャンであるOCT断層画像やモーションコントラストデータの断層画像（Im3411とIm3412）等の種々の医用画像であってもよい。すなわち、高画質化処理の対象画像は、例えば、表示部20の表示画面上に表示されている種々の医用画像の少なくとも一つであればよい。このとき、例えば、画像の種類毎に画像の特徴量が異なる場合があるため、高画質化処理の対象画像の各種類に対応する高画質化エンジンが用いられてもよい。例えば、ボタン3420が押下されると、OCT

40

50

AのEn-Face画像に対応する高画質化エンジンを用いてOCTAのEn-Face画像を高画質化処理するだけでなく、断層画像に対応する高画質化エンジンを用いて断層画像も高画質化処理するように構成されてもよい。また、例えば、ボタン3420が押下されると、OCTAのEn-Face画像に対応する高画質化エンジンを用いて生成された高画質なOCTAのEn-Face画像の表示に変更されるだけでなく、断層画像に対応する高画質化エンジンを用いて生成された高画質な断層画像の表示に変更されるように構成されてもよい。このとき、断層画像の位置を示すラインがOCTAのEn-Face画像に重畳表示されるように構成されてもよい。また、上記ラインは、検者からの指示に応じてOCTAのEn-Face画像上で移動可能に構成されてもよい。また、ボタン3420の表示がアクティブ状態である場合には、上記ラインが移動された後に、現在のラインの位置に対応する断層画像を高画質化処理して得た高画質な断層画像の表示に変更されるように構成されてもよい。また、高画質化処理の対象画像毎にボタン3420に相当する高画質化ボタンが表示されることで、画像毎に独立して高画質化処理可能に構成されてもよい。

【0433】

次に、データベースに保存（記憶）されている情報に基づいて高画質化処理を実行する場合について説明をする。データベースに高画質化処理の実行を行う状態が保存されている場合、レポート画面に遷移した際に、高画質化処理を実行して得た高画質画像をデフォルトで表示する。そして、ボタン3420がアクティブ状態としてデフォルトで表示されることで、検者に対しては高画質化処理を実行して得た高画質画像が表示されていることが分かるように構成することができる。検者は、高画質化処理前の低画質画像を表示したい場合には、ボタン3420を指定してアクティブ状態を解除することで、低画質画像を表示することが出来る。高画質画像に戻したい場合、検者はボタン3420を指定する。データベースへの高画質化処理の実行有無は、データベースに保存されているデータ全体に対して共通、及び撮影データ毎（検査毎）など、階層別に指定するものとする。例えば、データベース全体に対して高画質化処理を実行する状態を保存してある場合において、個別の撮影データ（個別の検査）に対して、検者が高画質化処理を実行しない状態を保存した場合、その撮影データを次回表示する際には高画質化処理を実行しない状態で表示を行う。撮影データ毎（検査毎）に高画質化処理の実行状態を保存するために、不図示のユーザーインターフェース（例えば、保存ボタン）を用いてもよい。また、他の撮影データ（他の検査）や他の患者データに遷移（例えば、検者からの指示に応じてレポート画面以外の表示画面に変更）する際に、表示状態（例えば、ボタン3420の状態）に基づいて、高画質化処理の実行を行う状態が保存されるようにしてもよい。これにより、撮影データ単位（検査単位）で高画質化処理実行の有無が指定されていない場合、データベース全体に対して指定されている情報に基づいて処理を行い、撮影データ単位（検査単位）で指定されている場合には、その情報に基づいて個別に処理を実行することが出来る。

【0434】

本実施形態におけるOCTAのEn-Face画像として、Im3407とIm3408を表示する例を示しているが、表示するOCTAのEn-Face画像は検者の指定により変更することが可能である。そのため、高画質化処理の実行が指定されている時（ボタン3420がアクティブ状態）における画像の変更について説明をする。

【0435】

画像の変更は、不図示のユーザーインターフェース（例えば、コンボボックス）を用いて変更を行う。例えば、検者が画像の種類を表層から脈絡膜血管網に変更した時に、高画質化部404は脈絡膜血管網画像に対して高画質化処理を実行し、出力部405は高画質化部404が生成した高画質な画像をレポート画面に表示する。すなわち、出力部405は、検者からの指示に応じて、第1の深度範囲の高画質画像の表示を、第1の深度範囲とは少なくとも一部が異なる第2の深度範囲の高画質画像の表示に変更してもよい。このとき、出力部405は、検者からの指示に応じて第1の深度範囲が第2の深度範囲に変更されることにより、第1の深度範囲の高画質画像の表示を、第2の深度範囲の高画質画像の

10

20

30

40

50

表示に変更してもよい。なお、上述したようにレポート画面遷移時に表示する可能性の高い画像に対しては、既に高画質画像が生成済みである場合、出力部405は生成済みの高画質な画像を表示すればよい。なお、画像の種類の変更方法は上記したものに限らず、基準となる層とオフセットの値を変えて異なる深度範囲を設定したOCTAのEn-Face画像を生成することも可能である。その場合、基準となる層、あるいはオフセット値が変更された時に、高画質化部404は任意のOCTAのEn-Face画像に対して高画質化処理を実行し、出力部405は高画質な画像をレポート画面に表示する。基準となる層、オフセット値の変更は、不図示のユーザーインターフェース（例えば、コンボボックスやテキストボックス）を用いて行われることができる。また、断層画像Im3411とIm3412に重畳表示している境界線3413と3414のいずれかをドラッグ（層境界を移動）することで、OCTAのEn-Face画像の生成範囲を変更することが出来る。境界線をドラッグによって変更する場合、高画質化処理の実行命令が連続的に実施される。そのため、高画質化部404は実行命令に対して常に処理を行ってもよいし、ドラッグによる層境界の変更後に実行するようにしてもよい。あるいは、高画質化処理の実行は連続的に命令されるが、次の命令が来た時点で前回の命令をキャンセルし、最新の命令を実行するようにしてもよい。なお、高画質化処理には比較的時間がかかる場合がある。このため、上述したどのようなタイミングで命令が実行されたとしても、高画質画像が表示されるまでに比較的時間がかかる場合がある。そこで、検者からの指示に応じてOCTAのEn-Face画像を生成するための深度範囲が設定されてから、高画質画像が表示されるまでの間、該設定された深度範囲に対応するOCTAのEn-Face画像（低画質画像）が表示されてもよい。すなわち、上記深度範囲が設定されると、該設定された深度範囲に対応するOCTAのEn-Face画像（低画質画像）が表示され、高画質化処理が終了すると、該OCTAのEn-Face画像（該低画質画像）の表示が高画質画像の表示に変更されるように構成されてもよい。また、上記深度範囲が設定されてから、高画質画像が表示されるまでの間、高画質化処理が実行されていることを示す情報が表示されてもよい。なお、これらは、高画質化処理の実行が既に指定されている状態（ボタン3420がアクティブ状態）を前提とする場合だけでなく、例えば、検者からの指示に応じて高画質化処理の実行が指示された際に、高画質画像が表示されるまでの間においても、適用することが可能である。

【0436】

本実施形態では、OCTAのEn-Face画像として、Im3407とIm3408に異なる層を表示し、低画質と高画質な画像は切り替えて表示する例を示したが、これに限らない。例えば、Im3407には低画質なOCTAのEn-Face画像、Im3408には高画質なOCTAのEn-Face画像を並べて表示するようにしてもよい。画像を切り替えて表示する場合には、同じ場所で画像を切り替えるので変化がある部分の比較を行いやすく、並べて表示する場合には、同時に画像を表示することが出来るので画像全体を比較しやすい。

【0437】

次に、図34(a)と(b)を用いて、画面遷移における高画質化処理の実行について説明を行う。図34(b)は、図34(a)におけるOCTAのEn-Face画像Im3407を拡大表示した画面例である。図34(b)においても、図34(a)と同様にボタン3420を表示する。図34(a)から図34(b)への画面遷移は、例えば、OCTAのEn-Face画像Im3407をダブルクリックすることで遷移し、図34(b)から図34(a)へは閉じるボタン3430で遷移する。なお、画面遷移に関しては、ここで示した方法に限らず、不図示のユーザーインターフェースを用いてもよい。画面遷移の際に高画質化処理の実行が指定されている場合（ボタン3420がアクティブ）、画面遷移時においてもその状態を保つ。すなわち、図34(a)の画面で高画質画像を表示している状態で図34(b)の画面に遷移する場合、図34(b)の画面においても高画質画像を表示する。そして、ボタン3420はアクティブ状態にする。図34(b)から図34(a)へ遷移する場合にも同様である。図34(b)において、ボタン3420

を指定して低画質画像に表示を切り替えることも出来る。画面遷移に関して、ここで示した画面に限らず、経過観察用の表示画面、又はパノラマ画像用の表示画面など同じ撮影データを表示する画面への遷移であれば、高画質画像の表示状態を保ったまま遷移を行う。すなわち、遷移後の表示画面において、遷移前の表示画面におけるボタン3420の状態に対応する画像が表示される。例えば、遷移前の表示画面におけるボタン3420がアクティブ状態であれば、遷移後の表示画面において高画質画像が表示される。また、例えば、遷移前の表示画面におけるボタン3420のアクティブ状態が解除されていれば、遷移後の表示画面において低画質画像が表示される。なお、経過観察用の表示画面におけるボタン3420がアクティブ状態になると、経過観察用の表示画面に並べて表示される異なる日時（異なる検査日）で得た複数の画像が高画質画像に切り換わるようにしてもよい。すなわち、経過観察用の表示画面におけるボタン3420がアクティブ状態になると、異なる日時で得た複数の画像に対して一括で反映されるように構成してもよい。なお、経過観察用の表示画面の例を、図38に示す。検者からの指示に応じてタブ3801が選択されると、図38のように、経過観察用の表示画面が表示される。このとき、En-Face画像の深度範囲を、リストボックスに表示された既定の深度範囲セット（3802及び3803）から検者が選択することで変更できる。例えば、リストボックス3802では網膜表層が選択され、また、リストボックス3803では網膜深層が選択されている。上側の表示領域には網膜表層のEn-Face画像の解析結果が表示され、また、下側の表示領域には網膜深層のEn-Face画像の解析結果が表示されている。すなわち、深度範囲が選択されると、異なる日時の複数の画像について、選択された深度範囲の複数のEn-Face画像の解析結果の並列表示に一括して変更される。このとき、解析結果の表示を非選択状態にすると、異なる日時の複数のEn-Face画像の並列表示に一括して変更されてもよい。そして、検者からの指示に応じてボタン3420が指定されると、複数のEn-Face画像の表示が複数の高画質画像の表示に一括して変更される。また、解析結果の表示が選択状態である場合には、検者からの指示に応じてボタン3420が指定されると、複数のEn-Face画像の解析結果の表示が複数の高画質画像の解析結果の表示に一括して変更される。ここで、解析結果の表示は、解析結果を任意の透明度により画像に重畳表示させたものであってもよい。このとき、解析結果の表示への変更は、例えば、表示されている画像に対して任意の透明度により解析結果を重畳させた状態に変更したものであってもよい。また、解析結果の表示への変更は、例えば、解析結果と画像とを任意の透明度によりブレンド処理して得た画像（例えば、2次元マップ）の表示への変更であってもよい。また、深度範囲の指定に用いる層境界の種類とオフセット位置をそれぞれ、3805、3806のようなユーザーインターフェースから一括して変更することができる。なお、断層画像も一緒に表示させ、断層画像上に重畳された層境界データを検者からの指示に応じて移動させることにより、異なる日時の複数のEn-Face画像の深度範囲を一括して変更されてもよい。このとき、異なる日時の複数の断層画像を並べて表示し、1つの断層画像上で上記移動が行われると、他の断層画像上でも同様に層境界データが移動されてもよい。また、画像投影法やプロジェクションアーティファクト抑制処理の有無を例えばコンテキストメニューのようなユーザーインターフェースから選択することにより変更してもよい。また、選択ボタン3807を選択して選択画面を表示させ、該選択画面上に表示された画像リストから選択された画像が表示されてもよい。なお、図38の上部に表示されている矢印3804は現在選択されている検査であることを示す印であり、基準検査（Baseline）はFollow-up撮影の際に選択した検査（図38の一番左側の画像）である。もちろん、基準検査を示すマークを表示部に表示させてもよい。また、「Show Difference」チェックボックス3808が指定された場合には、基準画像上に基準画像に対する計測値分布（マップもしくはセクタマップ）を表示する。さらに、この場合には、それ以外の検査日に対応する領域に基準画像に対して算出した計測値分布と当該領域に表示される画像に対して算出した計測分布との差分計測値マップを表示する。計測結果としてはレポート画面上にトレンドグラフ（経時変化計測によって得られた各検査日の画像に対する計測値のグラフ）を表示させてもよい。

10

20

30

40

50

すなわち、異なる日時の複数の画像に対応する複数の解析結果の時系列データ（例えば、時系列グラフ）が表示されてもよい。このとき、表示されている複数の画像に対応する複数の日時以外の日時に関する解析結果についても、表示されている複数の画像に対応する複数の解析結果と判別可能な状態で（例えば、時系列グラフ上の各点の色が画像の表示の有無で異なる）時系列データとして表示させてもよい。また、該トレンドグラフの回帰直線（曲線）や対応する数式をレポート画面に表示させてもよい。

【0438】

本実施形態においては、OCTAのEn-Face画像に関して説明を行ったが、これに限らない。本実施形態に係る表示、高画質化、及び画像解析等の処理に関する画像は、輝度のEn-Face画像でもよい。さらには、En-Face画像だけではなく、断層画像やSLO画像、眼底写真、又は蛍光眼底写真など、異なる画像であっても構わない。その場合、高画質化処理を実行するためのユーザーインターフェースは、種類の異なる複数の画像に対して高画質化処理の実行を指示するもの、種類の異なる複数の画像から任意の画像を選択して高画質化処理の実行を指示するものがあってもよい。

【0439】

このような構成により、本実施形態に係る高画質化部404が処理した画像を出力部405が表示部20に表示することができる。このとき、上述したように、高画質画像の表示、解析結果の表示、表示される正面画像の深度範囲等に関する複数の条件のうち少なくとも1つが選択された状態である場合には、表示画面が遷移されても、選択された状態が維持されてもよい。また、上述したように、複数の条件のうち少なくとも1つが選択された状態である場合には、他の条件が選択された状態に変更されても、該少なくとも1つが選択された状態が維持されてもよい。例えば、出力部405は、解析結果の表示が選択状態である場合に、検者からの指示に応じて（例えば、ボタン3420が指定されると）、低画質画像の解析結果の表示を高画質画像の解析結果の表示に変更してもよい。また、出力部405は、解析結果の表示が選択状態である場合に、検者からの指示に応じて（例えば、ボタン3420の指定が解除されると）、高画質画像の解析結果の表示を低画質画像の解析結果の表示に変更してもよい。また、出力部405は、高画質画像の表示が非選択状態である場合に、検者からの指示に応じて（例えば、解析結果の表示の指定が解除されると）、低画質画像の解析結果の表示を低画質画像の表示に変更してもよい。また、出力部405は、高画質画像の表示が非選択状態である場合に、検者からの指示に応じて（例えば、解析結果の表示が指定されると）、低画質画像の表示を低画質画像の解析結果の表示に変更してもよい。また、出力部405は、高画質画像の表示が選択状態である場合に、検者からの指示に応じて（例えば、解析結果の表示の指定が解除されると）、高画質画像の解析結果の表示を高画質画像の表示に変更してもよい。また、出力部405は、高画質画像の表示が選択状態である場合に、検者からの指示に応じて（例えば、解析結果の表示が指定されると）、高画質画像の表示を高画質画像の解析結果の表示に変更してもよい。また、高画質画像の表示が非選択状態で且つ第1の種類の解析結果の表示が選択状態である場合を考える。この場合には、出力部405は、検者からの指示に応じて（例えば、第2の種類の解析結果の表示が指定されると）、低画質画像の第1の種類の解析結果の表示を低画質画像の第2の種類の解析結果の表示に変更してもよい。また、高画質画像の表示が選択状態で且つ第1の種類の解析結果の表示が選択状態である場合を考える。この場合には、出力部405は、検者からの指示に応じて（例えば、第2の種類の解析結果の表示が指定されると）、高画質画像の第1の種類の解析結果の表示を高画質画像の第2の種類の解析結果の表示に変更してもよい。なお、経過観察用の表示画面においては、上述したように、これらの表示の変更が、異なる日時で得た複数の画像に対して一括で反映されるように構成してもよい。ここで、解析結果の表示は、解析結果を任意の透明度により画像に重畳表示させたものであってもよい。このとき、解析結果の表示への変更は、例えば、表示されている画像に対して任意の透明度により解析結果を重畳させた状態に変更したものであってもよい。また、解析結果の表示への変更は、例えば、解析結果と画像とを任意の透明度によりブレンド処理して得た画像（例えば、2次元マップ）の表示への変更で

10

20

30

40

50

あってもよい。

【0440】

＜第25の実施形態＞

次に、図35を参照して、第25の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、処理判定部3506について説明を行う。

【0441】

特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第1の実施形態に係る画像処理装置400と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る処理判定部3506について説明する。

【0442】

処理判定部3506は、高画質化部404における高画質化処理をGPU（Graphics Processing Unit）で処理をするか、CPUで処理をするか判定を行う。

【0443】

処理判定部3506は高画質化部404の処理を実行する装置に搭載されているGPUのGPU名、GPUドライバ、GPU搭載のメモリサイズなど、機械学習を用いる高画質化処理を実行するのに十分な環境であるか否かを判定する。処理判定部3506により、GPUを使用可能であると判定された場合、高画質化部404はGPUを用いて処理を行う。処理判定部3506により、GPUを使用不可能であると判定された場合、高画質化部404はCPUを用いて処理を行う。処理判定部3506によりGPUを使用不可能であると判定された場合、GPUと比較してCPUの方が処理に時間がかかるため、出力部405はGPUではなくCPUで処理を行うことを表示部20に表示する。なお、GPUを使用可能な場合にGPUを用いて処理する表示をしてもよい。表示部20への表示の仕方として、メッセージを表示してもよいし、GPU、CPUなど単語だけを表示するようにしてもよい。なお、高画質化部404の処理をCPUとすることで処理に時間がかかる場合（例えば、数10秒～数分以上）、高画質化処理の実行を不可として、例えば、図34で示したボタン3420を非表示とすることもよい。高画質化処理を実行するためのユーザーインターフェースを非表示とすることで、その機能を使用することが出来ない。使用を不可とする場合は、使用不可であることを表示部20へ表示してもよい。

【0444】

処理判定部3506はGPUとCPUの判定を行うだけに限らず、高画質化処理自体の実行判定も行うことが出来る。例えば、高画質化処理を実行するためにライセンス登録が必要である場合について説明をする。処理判定部3506はライセンス登録がされているか否かの判定を行い、ライセンス登録がされている場合には高画質化処理の実行可として、例えば、図34で示したボタン3420を表示する。ライセンス登録がされていない場合には、図34で示したボタン3420を非表示とすることで使用が出来ないものとする。なお、高画質化処理を実行するためにライセンス登録が必要である場合は、上述したGPU処理とCPU処理判定の前に実行をする。

【0445】

処理判定部3506は処理の実行判定を自動的に行うだけではなく、検者の指示に基づいて行うようにしてもよい。例えば、不図示のユーザーインターフェースを用いて、検者からCPU実行を指定されている場合、GPUではなくCPUで処理をするように判定する。その場合、処理判定部3506は装置に搭載されているGPUを調べる必要はなく、高画質化部404はCPUを用いて処理を行う。

【0446】

上述した処理判定部3506の処理は、高画質化部404の処理を行う度に毎回実施する必要はなく、画像処理装置を起動時に行えばよい。あるいは、定期的（例えば、1日に1度）に判定を行うようにしてもよい。

【0447】

さらに、GPU処理を行う判定になっている場合でも、他のGPUプロセスが走ってい

10

20

30

40

50

る場合には、GPUデバイスメモリなどを確認することで、CPU処理に切り替えてもよい。このとき本実施形態に係る画像処理装置が行う画像処理として他のGPUプロセスとの競合を考慮してもよいし、他のプログラムによるGPUプロセスを考慮してもよい。

【0448】

なお、本実施形態に係る画像処理装置が行う他のGPUプロセスである場合には、他のGPUプロセスがCPU処理可能であるならば、互いに優先度をあらかじめ設定するなどして、GPU処理かCPU処理を切り替えてもよい。

【0449】

このような構成により、本実施形態に係る処理判定部3506が高画質化処理を実行可能か否か判定する。そして、適切な環境を選択して機械学習の処理を実行することが可能となる。

【0450】

＜第26の実施形態＞

次に、図4を参照して、第26の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、まず、学習時の画像にノイズが付加され、高画質化エンジンがノイズ成分を学習することにより、高画質化部が高画質画像を生成する場合を考える。この場合において、適応的なノイズ成分の付加方法について説明をする。特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第1の実施形態に係る画像処理装置400と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第1の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第1の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図4に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

【0451】

第18の実施形態で、付加するノイズ成分の大きさによって、高画質化エンジンのノイズ除去効果が異なることを記載している。撮影装置10や他の装置から取得する入力画像は、種々の要因（例えば、電気的なノイズ）によるノイズが含まれている。特に、OCTA画像の場合、ノイズを含んだ複数のOCT間の変化量を利用した血管抽出を行うため、OCTの明るさに基づく画質劣化要因を持つ。これは画像全体の場合もあれば、まつ毛などが写りこむことで一部分に影響する場合もある。

【0452】

図39(a)は、本実施形態における学習データの平均輝度の分布に関する一例を示したものである。図39(b)は、本実施形態における学習データの平均輝度の分布に関する別の例を示したものである。ここで、平均輝度とは、1つの画像における複数の画素値の平均値等の統計値のことである。また、平均輝度の分布とは、複数の画像に対応する複数の統計値の分布のことである、なお、平均輝度は、画像全体から算出してもよいし、一部領域から算出してもよい。例えば、周辺部などの領域は省いてもよいし、不適切な領域（まつ毛などが写りこんだ部分）はあらかじめ省いてもよい。いずれにしても学習時の教師画像の明るさは、ばらつきがあることが分かる。そこで、図39(a)あるいは図39(b)のようにノイズパラメータ制御曲線（図中の点線）を設定し、教師画像ごとに付加するノイズの大きさを決定する。すなわち、学習データの入力画像（入力データ）として用いられる複数の医用画像に対応する複数の統計値の分布に応じた大きさのノイズが該複数の医用画像に付加されることで、教師画像（正解データ）を得ることができる。このとき、ノイズの大きさは、該分布を用いて、該複数の医用画像それぞれにおいて得られるものである。なお、このノイズパラメータ制御曲線は、直線であってもよいし、付加するノイズ成分の大きさに上限または下限（または両方）を設定してもよい。また、学習データセットごとにノイズパラメータ制御曲線を変更してもよい。図39(b)のように全体的に暗い教師画像に対しては、付加するノイズ成分の大きさがより小さくなるように設定してもよい。ここで、OCTA正面画像は、表層、深層、外層等の深度範囲に応じて、画像の見え方や明るさが異なる。このため、ノイズパラメータ制御曲線は、深度範囲毎に設定されてもよい。例えば、第1の深度範囲に対応する第1の分布を用いて得られる大きさの

10

20

30

40

50

ノイズが該第1の深度範囲に対応する複数のOCTA正面画像に付加される。さらに、第2の深度範囲に対応する第2の分布を用いて得られる大きさのノイズが該第2の深度範囲に対応する複数のOCTA正面画像に付加される。このように、深度範囲毎に得られる上記分布を用いて得た大きさのノイズを付加して得た複数の医用画像が教師画像として得られるように構成されてもよい。

【0453】

ノイズパラメータ制御曲線は関数として定義してもよいし、LUT (Look-Up Table) として定義してもよい。すなわち、本実施形態において、学習時に適応的に付加されたノイズ成分で教師画像が構成されるため本実施形態に係る高画質化部404は、取得部401で取得する様々な明るさの入力画像に対して、よりロバスト性の高い高画質画像を生成することができる。

10

【0454】

また、教師画像として、画像の一部領域を利用する場合には、元の画像全体の明るさから付加するノイズ成分の大きさを決定してもよいし、教師画像ごとに付加するノイズ成分の大きさを決定してもよい。さらに、眼科画像のように、黄斑部や乳頭部など特定の領域の明るさに基づいて付加するノイズ成分の大きさを決定してもよい。

【0455】

以上、付加するノイズ成分の大きさに関して、教師画像の明るさに基づいて制御する方法を説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。すなわち、画像のフラクタル次元を算出するなどすることによって、画像の形状に基づいて、ノイズ量を適応的に付加しても構わない。具体的には、教師画像全体でフラクタル次元を算出してもよいし、部分領域ごとにフラクタル次元を算出して、領域ごとにノイズ成分の大きさを調整してもよい。

20

【0456】

さらに、入力画像の画質劣化の要因としてノイズについて説明したが、本発明は、これに限定されるものでもない。例えば、撮影装置のレンズ収差による劣化やレンズ特性(MTFなど)によるボケなど、劣化要因は他にもあり、それぞれの劣化要因に基づいた教師画像で学習を行った高画質化エンジンを構成してもよい。

【0457】

<第27の実施形態>

次に、図40、図41および図43を参照して、第27の実施形態に係る画像処理装置について説明する。第26の実施形態では、教師画像の明るさに基づいて付加するノイズ成分の大きさを制御し学習を行う方法を説明したが、本実施形態では、適応的に明るさ補正を行った教師画像で学習を行うことで高画質化エンジンを構成する。特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第1の実施形態に係る画像処理装置400と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第1の実施形態に係る画像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第1の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図4に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

30

【0458】

図40は入力画像の輝度ヒストグラムを作成し、既知のヒストグラム平均化(平坦化)法によって、入力画像の入力信号を補正して出力信号に変換するための補正曲線の例を示したものである。図40(a)は入力画像の輝度に関する累積ヒストグラムに基づき、入力信号と出力信号と対応付ける補正曲線371の一例を示している。また、図40(b)は後述する補正曲線371の逆補正曲線372である。すなわち、高画質化処理において、高画質化エンジンに対する入力画像が、医用画像における少なくとも一部の領域の画素値を上げるように又は下げるように補正されたものである場合を考える。このとき、例えば、入力画像が画素値を上げるように補正して得た医用画像である場合には、高画質画像の画素値を下げるように補正が行われる。また、例えば、入力画像が画素値を下げるように補正して得た医用画像である場合には、高画質画像の画素値を上げるように補正が行われる。それぞれの補正曲線は、一般的にはLUTとして定義されトーンカーブとも呼ばれ

40

50

ており、トーンカーブによる入力画像の補正はトーンカーブ補正と呼ばれている。ヒストグラム平均化法は、入力画像の輝度に関する累積ヒストグラムに基づいて明るさ補正を行うものである。具体的には、累積ヒストグラムの形状に基づいてトーンカーブを設定する。ここで、明るさ補正は、例えば、図43の明るさ補正部4006により実行される。ここで、図43は、本実施形態に係る画像処理装置の概略的な構成の一例を示す。

【0459】

本実施形態では、教師画像とする学習データセットを上記ヒストグラム平均化法で補正して、所定のノイズ成分の大きさで学習を行った高画質化エンジンを構成する。ここで、ヒストグラム平滑化法によるトーンカーブを適用しても、すべての明るさが統一されるわけではない。すなわち、教師画像に付加するノイズ成分の大きさは、必ずしもひとつに固定する必要はないことは言うまでもない。

10

【0460】

図41は、本実施形態における高画質化部404の一連の画像処理のフロー図である。ステップS3810で取得した入力画像に対して、明るさの補正を行うトーンカーブを設定し補正する（S3820）。次に、上記学習で得られた高画質化エンジンで高画質化処理を実行する（S3830）。次に、高画質画像に対して、S3820のトーンカーブの逆トーンカーブを適用する（S3840）。最後に、ステップS3850で、高画質画像を出力する。

【0461】

このように画像処理エンジンを構成することによって、本実施形態に係る高画質化部404は、様々な明るさの入力画像に対して、よりロバスト性の高い高画質画像を生成することができる。

20

【0462】

なお、血管画像などの場合、画像の特性上、黒（輝度値0）、白（8ビットの場合、輝度値255）が多くなるため、所定の範囲（例えば輝度が10～245）における累積ヒストグラムからトーンカーブを設定してもよい。また、累積ヒストグラムは、画像全体で構成してもよいし、一部領域のヒストグラムから構成してもよい。さらに、不適切領域（例えばまつ毛の影など）を省いたヒストグラムから構成してもよい。

【0463】

トーンカーブの入出力は必ずしも8ビットである必要はなく、例えば、入力信号5.8などは、LUT[5]とLUT[6]の出力信号値を用いて重みづけ加算をしてもよい。また、8ビットの範囲で画像を表示する場合でも、信号処理の内部は浮動小数点数で保持してもよい。この場合、負値および255を超える信号に対するトーンカーブを設定してもよい。

30

【0464】

さらに、明るさを補正する方法として、ヒストグラム平均化法を例に説明したが、これに限定されるわけではない。例えば、入力画像のハイライト、シャドウ、中間値、平均値など画像固有の特性値を利用して、トーンカーブ補正を定義してもよい。ここで、ハイライトとは、画像の輝度ヒストグラムにおいて、明るい方からの累積画素数が所定の画素数（例えば、全画素数の1%）となる輝度値である。また、シャドウとは画像の輝度ヒストグラムにおいて、暗い方からの累積画素数が所定の画素数（例えば、全画素数の1%）となる輝度値である。また、上記ハイライトおよびシャドウおよび中間値などが所定の値になるようにトーンカーブを設定してもよい。

40

【0465】

<第28の実施形態>

次に、図4、図42を参照して、第28の実施形態に係る画像処理装置について説明する。本実施形態では、既存の教師画像から解像度を変調した画像を生成し、それらを学習に加えることで高画質化エンジンを構成する。特に明記しない限り、本実施形態に係る画像処理装置の構成及び処理は、第1の実施形態に係る画像処理装置400と同様である。そのため、以下では、本実施形態に係る画像処理装置について、第1の実施形態に係る画

50

像処理装置との違いを中心として説明する。なお、本実施形態に係る画像処理装置の構成は、第1の実施形態に係る画像処理装置の構成と同様であるため、図4に示す構成について同一の参照符号を用いて示し、説明を省略する。

【0466】

撮影装置10によって取得可能な画像解像度が複数ある場合に、それぞれの解像度の画像を混在させて学習データセットを構成して学習させることで、高画質化エンジンを構成してもよい。しかしながら、高画質化エンジンを構成するための教師画像を数多く取得するためには、相応の手間がかかる。一般的に、低解像度画像から高解像度画像に変換する場合には、いわゆる超解像度処理といわれる画像処理が必要となり偽像を生成するなどの課題もある。一方で、高解像度画像から低解像度画像に変換する場合には、実測に基づくデータからの補間処理が可能となる。すなわち、取得部401で取得される高解像度画像に加えて、高解像度画像から所定の低解像度に変換した画像を教師画像として学習に加える。画像の解像度変換は、既知のニアレストネーバー法、バイリニア法、バイキュービック法を利用してもよい。

【0467】

このとき、撮像装置10により実際に低解像度でサンプリングする場合、周辺部の影響を受けた信号値が得られるため、周辺の画素値を所定の割合で畳み込んだ上で、ニアレストネーバーにより低解像度化処理を行ってもよい。周辺画素の畳み込み処理は、既知のフィルタ処理を適用すればよい。図42(a)にフィルタ係数の一例を示す。図中のグレー領域が注目画素であり、それ以外が周辺画素である。注目画素の係数に対して、周辺画素の係数は小さく設定されている。また、係数の総和は1とすればよい。

【0468】

また、図42(b)に示すように注目画素からの半径 r に応じて、例えばガウス分布となるような係数をPSF(Point Spread Function)として設定してもよい。PSFは、注目画素に対して等方性である必要はなく、楕円形状のようなPSFを設定してもよい。なお、入力画像およびPSFをFFTによって周波数空間に変換し、Convolution処理によって畳み込み処理を実行してもよい。これらのフィルタ係数やPSFは、撮影装置10により低解像度モード(例えば、単位長さ辺りのAスキャン本数が相対的に少ない撮像方法)で入力画像を取得する際のデバイス固有の特性を考慮して設定すればよい。これは、撮影装置10により、低解像度モードで取得した低解像度画像と、高解像度モード(例えば、単位長さ辺りのAスキャン本数が相対的に多い撮像方法)で取得した高解像度画像とを用いて、最適なフィルタ係数またはPSFを求めればよい。このとき、低解像度モードで取得した低解像度画像と、高解像度画像に対して低解像度化処理を施して得た低解像度画像とが類似するようなフィルタ係数またはPSFを求めればよい。さらに、ディープラーニングを用いた低解像度化エンジンを構成してもよい。また、上記いずれかの方法によって、周辺画素情報を加えた画像から、ニアレストネーバー法などで低解像度画像を生成し学習に加えればよい。このように、高解像度画像から低解像度画像を生成し、学習に加えることですべての解像度で入力画像を取得しなくても、低解像度画像に対しても学習することが可能となる。また、低解像度画像を用いて学習することで、種々の学習済みモデルの出力においてロバストを向上させることができる。なお、学習データとして用いられる画像のサイズは互に対応させる(例えば、同じにする)ように構成されればよい。さらに、3次元OCT画像やOCTA画像で、3次元の畳み込み処理を行い、3次元データで低解像度化処理をした上でOCT画像またはOCTA画像を生成してもよい。一方で、本実施形態では、高解像度画像から低解像度画像を生成する方法を示したが、低解像度画像から高解像度画像を生成して学習に加えてもよい。従来の高解像度化処理の方法としてバイキュービック補間などで高解像度画像を生成してもよいし、ディープラーニングを利用した超解像度処理を適用して高解像度画像を生成してもよい。

【0469】

(変形例1)

上述した様々な実施形態において、高画質化エンジンの機械学習モデルと真贋評価エンジンの機械学習モデルとが競合するようにトレーニングすることで、高画質化エンジンと真贋評価エンジンとの効率や精度を向上させるようにしてもよい。ここで、複数のモデルが競合するようにトレーニングするネットワークとは、例えば、敵対的生成ネットワーク（GAN: Generative Adversarial Networks）である。このとき、高画質化エンジンの機械学習モデルは、画像を生成する生成モデル（Generator）に相当する。また、真贋評価エンジンの機械学習モデルは、生成された画像が本物か否かを識別する識別モデル（Discriminator）に相当する。例えば、高画質化の正解となる画像を真贋評価エンジンに評価させると真作ラベルが出力されるように、該高画質化エンジンの機械学習モデルをトレーニングする。そして、高画質化エンジンが生成する画像を真贋評価エンジンに評価させると贋作ラベルを出力するように、該真贋評価エンジンの機械学習モデルをトレーニングさせる。結果的に、高画質化エンジンが生成する画像と高画質化の正解となる画像との区別がつかなくなるように、繰り返しトレーニングをする。これによって、高画質化エンジンと真贋評価エンジンの効率や精度が向上する。

【0470】

なお、高画質化エンジンは、敵対的生成ネットワークにより生成された少なくとも1つの画像を含む学習データを学習して得た学習済モデルであってもよい。このとき、敵対的生成ネットワークにより生成された少なくとも1つの画像を学習用の学習データとして用いるか否かを、検者からの指示により選択可能に構成されてもよい。

【0471】

（変形例2）

上述した様々な実施形態及び変形例において、高画質化エンジンが生成した高画質画像と入力画像とを合成して出力してもよい。例えば、入力画像の画素値が低い（画像として暗い）場合など、高画質化エンジンがノイズ成分として画素値を低減してしまうことが考えられる。そのため、入力画像の明るさに基づいて、高画質化エンジンが生成した画像と入力画像との合成の割合を変更して出力するようにしてもよい。すなわち、出力部405（表示制御部）は、入力画像（第1の画像）の少なくとも一部の領域に関する情報を用いて得た割合により入力画像と高画質画像（第2の画像）とを合成することにより得た合成画像を出力してもよい。このとき、2つの画像の合成の割合は、入力画像の少なくとも一部の領域における画素値（少なくとも一部の領域の明るさ）を上記情報として用いることにより決定されてもよい。このとき、例えば、入力画像における画素値が低い（暗い）ほど、高画質画像に対する入力画像を合成する割合を高くする。また、例えば、入力画像における画素値が高い（明るい）ほど、高画質画像に対する入力画像を合成する割合を低くする。具体的には、画像全体の画素値の統計値（平均値、中央値、最頻値、最小値、最大値、分散、標準偏差など）に基づいて、合成する割合を変える。例えば、入力画像の画素値の統計値が第一の閾値よりも低い場合、高画質化エンジンが生成した画像と入力画像とを0.5:0.5の割合で合成（2つの画像の平均）して得た合成画像を出力する。あるいは、入力画像の画素値の統計値が第二の閾値よりも高い場合、高画質化エンジンが生成した画像と入力画像とを0.9:0.1の割合で合成（2つの画像の重み付き平均）して得た合成画像を出力する。なお、第一の閾値と第二の閾値の間の合成する割合は滑らかに変化するものとする。入力画像から計算する統計値は、画像全体で求めてもよいし、いくつかの領域に分割して局所的な統計値を求めるようにしてもよい。画像をいくつかの領域に分割する場合、隣接領域においては合成する割合が急激に変化しないように、滑らかな値になるように割合値を補正するようにしてもよい。さらに、領域分割をするのではなく、ガウシアンフィルタのような平滑化フィルタを用いて画像をぼかすことにより、ピクセル単位での値を第一、第二の閾値と比較することで、ピクセル毎に合成する割合を求めてもよい。なお、画素値の統計値を計算するための画像として、入力画像に限らない。例えば、入力画像がOCTAの場合、輝度のEnfaceやProjection画像を用いて画素値の統計値を計算するようにしてもよい。なお、入力画像の明るさ（画素値）は、

当然、入力画像から生成される高画質画像の明るさ（画素値）にも影響する。このため、合成する際の割合は、入力画像の明るさ（画素値）だけでなく、当然、高画質画像の明るさ（画素値）を用いて得られたものであってもよい。すなわち、出力部405（表示制御部）は、入力画像（第1の画像）と高画質画像（第2の画像）とのうち少なくとも一つの画像における少なくとも一部の領域に関する情報を用いて得た割合によって、上記合成画像を出力してもよい。

【0472】

さらには、入力画像の画素値の統計値ではなく、入力画像と高画質化エンジンが生成した高画質画像との差分により、2つの画像の合成の割合を変更するようにしてもよい。すなわち、2つの画像の合成の割合は、2つの画像の互いに対応する少なくとも一部の領域における画素値の差分値を上記情報として用いることにより決定されてもよい。具体的には、入力画像と高画質画像との間に差が大きい場合に入力画像の割合を大きくするようにしてもよい。すなわち、高画質画像がノイズ除去をしすぎている場合に、入力画像の比率を大きくして合成することで、自然な高画質画像を生成する。なお、差分値を求める際には、単純な差分情報だけではなく、構造的な差分情報により判断するようにしてもよい。例えば、Hessianフィルタのようなフィルタを用いて線状構造のみを抽出するようにしてもよい。それによりランダムなノイズは差分として検出されず、血管のようなある程度連続性のあるノイズだけを抽出することが出来る。さらには、単純にノイズ成分をラベリング処理して、ある程度の大きさを持つノイズだけを抽出するようにしてもよい。差分によって合成の割合を変更する場合においても同様に、画像全体で求めてもよいし、いくつかの領域に分割して局所的な差分値を求めるようにしてもよい。

【0473】

さらに、部位や画像を認識して合成する割合を求めてもよい。これに関して、例えば表層のOCTA画像で説明をする。表層のOCTA画像において、FAZ（中心窩の無血管領域）には、血管が存在しないため、OCTA画像においてFAZは暗くなってよい。このため、FAZに関しては、入力画像に対する高画質画像の割合を高くすることが考えられる。すなわち、ノイズがより低減されている画像の方の割合を高くする。一方、FAZ以外の位置に暗い領域がある場合、その領域が無血管領域（NPA：Non perfusion Area）であるのか、本当は血管が存在するのに、影等によって輝度が低下した領域であるのか等の判断が難しい。そこで、入力画像に対する高画質画像の割合を低くすることが考えられる。すなわち、本来存在する低輝度の領域が画像から消えてしまっている可能性がある方の画像の割合を低くする。このように、画像の明るさや差分変化だけではなく、部位を認識して合成する割合を変化させてもよい。次に画像を認識する場合について説明をする。OCTA画像は、表層、深層、外層では、深さに応じて画像の見え方や明るさが変わる。そのため、対象画像の種類がどの層かを認識し、層の種類に応じて割合を変化させてもよい。画像の認識は、層を生成する際の境界線の位置情報を用いて行ってもよいし、画像から自動的に認識するようにしてもよい。すなわち、画像の明るさだけで判断するのではなく、どの深度から生成されたOCTA画像かによって合成する割合を変更してもよい。例えば、表層のOCTA画像は全体的に明るく、外層のOCTA画像では全体的に暗くなる。そのため、表層のOCTA画像と外層のOCTA画像とにおいて、画素値の統計値によって合成する割合の第一、第二の閾値と、それに対応する割合はそれぞれ違う値としてもよい。例えば、表層において第一の閾値よりも低い場合、高画質化エンジンが生成した画像と入力画像とを0.5：0.5の割合で合成するが、外層においては第一の閾値よりも低い場合、高画質化エンジンが生成した画像と入力画像とを0.7：0.3の割合で合成するというようにしてもよい。

【0474】

なお、上述した画像合成は、画素値自体を合成する処理について説明をしているが、画像の不透明度を変更するようにしてもよい。すなわち、合成の割合をアルファブレンドの値としてもよい。そのため、例えば、入力画像の割合が0.3とする場合、高画質化エンジンが生成した画像のアルファ値は1、入力画像のアルファ値は0.3とした画像を表示

10

20

30

40

50

するようにしてもよい。この場合、高画質化エンジンが生成した画像は必ず表示するようにし、入力画像のアルファ値を変更して半透明で表示する方が望ましい。

【0475】

また、高画質化エンジンが生成した画像と入力画像とを合成する画像を出力する場合、上述したように高画質化エンジンが自動的に割合を決めた画像を出力するようにしてもよい。また、2つの画像の合成の割合は、不図示のユーザーインターフェースを用いて、検者からの指示に応じて変更可能に構成されてもよい。このとき、ユーザーインターフェースとしては、スライダーバーやテキストボックスへの数値入力などで割合を変更できるようにしてもよいし、割合を変えた画像を複数提示して選択出来るようにしてもよい。

【0476】

また、入力画像と高画質画像とを合成する割合は、医用画像を入力データとし、該医用画像と該医用画像を高画質化して得た高画質医用画像とを合成する割合に関する情報を正解データ（出力データ）とする学習データにより学習して得た学習済モデルを用いて、入力画像の少なくとも一部の領域に関する情報から決定されてもよい。このとき、割合に関する情報は、例えば、検者からの指示に応じて設定（変更）された割合の値であってもよい。また、学習済モデルは、例えば、医用画像と、該医用画像を高画質化して得た高画質医用画像とをセットとする入力データを含む学習データにより学習して得たものであってもよい。このとき、学習済モデルは、上記学習データを用いた機械学習により得ることができる。

【0477】

ここで、種々の学習済モデルは、学習データを用いた機械学習により得ることができる。機械学習には、例えば、多階層のニューラルネットワークから成る深層学習（Deep Learning）がある。また、多階層のニューラルネットワークの少なくとも一部には、例えば、畳み込みニューラルネットワーク（CNN：Convolutional Neural Network）を用いることができる。また、多階層のニューラルネットワークの少なくとも一部には、オートエンコーダ（自己符号化器）に関する技術が用いられてもよい。また、学習には、バックプロパゲーション（誤差逆伝搬法）に関する技術が用いられてもよい。ただし、機械学習としては、深層学習に限らず、画像等の学習データの特徴量を学習によって自ら抽出（表現）可能なモデルを用いた学習であれば何でもよい。また、機械学習は、このようなモデルにも限らず、学習前に予め医用画像を用いて得た特徴量を学習データとして学習するものであってもよい。例えば、機械学習は、サポートベクターマシン、アダブースト、ランダムフォレスト、ベイジアンネットワーク等であってもよい。

【0478】

また、上述した学習済モデルは、検者からの指示に応じて設定（変更）された割合の値を学習データとする追加学習により更新されてもよい。例えば、入力画像が比較的暗いときに、高画質画像に対する入力画像の割合を検者が高く設定する傾向にあれば、学習済モデルはそのような傾向となるように追加学習することになる。これにより、例えば、検者の好みに合った合成の割合を得ることができる学習済モデルとしてカスタマイズすることができる。このとき、設定（変更）された割合の値を追加学習の学習データとして用いるか否かを、検者からの指示に応じて決定するためのボタンが表示画面に表示されていてもよい。また、学習済モデルを用いて決定された割合をデフォルトの値とし、その後、検者からの指示に応じて割合の値をデフォルトの値から変更可能となるように構成されてもよい。また、高画質化エンジンは、高画質化エンジンにより生成された少なくとも1つの高画質画像を含む学習データを追加学習して得た学習済モデルであってもよい。このとき、高画質画像を追加学習用の学習データとして用いるか否かを、検者からの指示により選択可能に構成されてもよい。

【0479】

なお、本変形例に示した高画質化エンジンが生成した画像と入力画像とを合成して出力する合成画像は、上述した様々な実施形態で説明をした高画質画像の代わりとして出力す

10

20

30

40

50

ることが可能であり、例えば、経過観察やパノラマ画像などの表示画面においても同様である。すなわち、本変形例における合成画像を複数の位置で取得し、複数の合成画像を用いて広画角画像を生成してもよい。また、複数の合成画像を用いて生成して得た広画角画像をパノラマ画像用の表示画面に表示させてもよい。また、本変形例における合成画像を異なる日時で取得し、複数の合成画像を経過観察用の表示画面に並べて表示させてもよい。また、本変形例における合成画像に対して血管解析処理等のような解析処理をすることも可能である。

【0480】

また、高画質化エンジンによる高画質化画像と入力画像との種々の合成処理を施した合成画像を用いて、高画質化エンジンを構成してもよい。すなわち、入力画像と合成画像とのペアであらかじめ学習を行った高画質化エンジンを用いれば、高画質化処理後に合成処理を行う演算コストを削減することができる。学習方法としては、新規に学習を行ってもよいし、既存の高画質化エンジンを転移学習によって更新してもよい。すなわち、更新された高画質化エンジンによる高画質化画像と入力画像の合成画像を用いて、さらに高画質化エンジンを構成または更新することも可能である。例えば、異なる深さのOCTAのEn-Face画像毎に最適な合成画像によって、高画質化エンジンを構成または更新することで、深さによる合成処理の分岐処理をひとつの高画質化エンジンに集約することができる。また、En-Face画像の明るさに対しても同様に、明るさに応じて最適な合成処理によって、高画質化エンジンを構成または更新してもよい。このとき、合成処理は特性ごとに分けて、高画質化エンジンを更新してもよいし、すべての特性をまとめたペアで高画質化エンジンを構成または更新してもよい。さらに、高画質化エンジンの構成または更新は、繰り返し行ってもよい。なお、上述した合成画像は、高画質化用の学習済モデルの学習データに用いられるだけでなく、例えば、後述する種々の学習済モデルの学習データに用いられてもよい。

【0481】

(変形例3)

上述した様々な実施形態及び変形例における出力部405は、表示画面のレポート画面において、所望の層の層厚や各種の血管密度等の解析結果を表示させてもよい。また、視神経乳頭部、黄斑部、血管領域、神経線維束、硝子体領域、黄斑領域、脈絡膜領域、強膜領域、篩状板領域、網膜層境界、網膜層境界端部、視細胞、血球、血管壁、血管内壁境界、血管外側境界、神経節細胞、角膜領域、隅角領域、シュレム管等の少なくとも1つを含む注目部位に関するパラメータの値（分布）を解析結果として表示させてもよい。このとき、例えば、各種のアーティファクトの低減処理が適用された医用画像を解析することで、精度の良い解析結果を表示させることができる。なお、アーティファクトは、例えば、血管領域等による光吸収により生じる偽像領域、プロジェクションアーティファクト、被検眼の状態（動きや瞬き等）によって測定光の主走査方向に生じる正面画像における帯状のアーティファクト等であってもよい。また、アーティファクトは、例えば、被検者の所定部位の医用画像上に撮影毎にランダムに生じるような写損領域であれば、何でもよい。また、上述したような様々なアーティファクト（写損領域）の少なくとも1つを含む領域に関するパラメータの値（分布）を解析結果として表示させてもよい。また、ドルーゼン、新生血管、白斑（硬性白斑）、シュードルーゼン等の異常部位等の少なくとも1つを含む領域に関するパラメータの値（分布）を解析結果として表示させてもよい。また、解析結果は、解析マップや、各分割領域に対応する統計値を示すセクター等で表示されてもよい。なお、解析結果は、医用画像の解析結果を学習データとして学習して得た学習済モデル（解析結果生成エンジン、解析結果生成用の学習済モデル）を用いて生成されたものであってもよい。このとき、学習済モデルは、医用画像とその医用画像の解析結果とを含む学習データや、医用画像とその医用画像とは異なる種類の医用画像の解析結果とを含む学習データ等を用いた学習により得たものであってもよい。また、学習済モデルは、輝度正面画像及びモーションコントラスト正面画像のように、所定部位の異なる種類の複数の医用画像をセットとする入力データを含む学習データを用いた学習により得たも

10

20

30

40

50

のであってもよい。ここで、輝度正面画像は輝度の E n - F a c e 画像に対応し、モーションコントラスト正面画像は O C T A の E n - F a c e 画像に対応する。また、高画質化エンジンにより生成された高画質画像を用いて得た解析結果が表示されるように構成されてもよい。なお、高画質化用の学習済モデルは、第一の画像を入力データとし、第一の画像よりも高画質な第二の画像を正解データとする学習データを学習して得たものであってもよい。このとき、第二の画像は、例えば、複数の第一の画像の重ね合わせ処理（例えば、位置合わせして得た複数の第一の画像の平均化処理）等によって、高コントラスト化やノイズ低減等が行われたような高画質な画像であってよい。

【0482】

また、学習データに含まれる入力データとしては、高画質化エンジンにより生成された高画質画像であってよいし、低画質画像と高画質画像とのセットであってよい。また、学習データは、例えば、解析領域を解析して得た解析値（例えば、平均値や中央値等）、解析値を含む表、解析マップ、画像におけるセクター等の解析領域の位置等の少なくとも1つを含む情報を（教師あり学習の）正解データとして、入力データにラベル付け（アノテーション）したデータであってよい。なお、検者からの指示に応じて、解析結果生成用の学習済モデルにより得た解析結果が表示されるように構成されてもよい。例えば、画像処理装置400は、（高画質化用の学習済モデルとは異なる）解析結果生成用の学習済モデルを用いて、種々の医用画像から該医用画像に関連する画像解析結果を生成することができる。また、例えば、出力部405は、種々の医用画像から解析結果生成用の学習済モデルを用いて得た画像解析結果を表示部20に表示させることができる。

【0483】

また、上述した様々な実施形態及び変形例における出力部405は、表示画面のレポート画面において、緑内障や加齢黄斑変性等の種々の診断結果を表示させてもよい。このとき、例えば、上述したような各種のアーティファクトの低減処理が適用された医用画像を解析することで、精度の良い診断結果を表示させることができる。また、診断結果は、特定された異常部位の位置を画像上に表示されてもよいし、また、異常部位の状態等を文字等によって表示されてもよい。また、異常部位等の分類結果（例えば、カーティン分類）を診断結果として表示させてもよい。また、分類結果としては、例えば、異常部位毎の確からしさを示す情報（例えば、割合を示す数値）が表示されてもよい。また、医師が診断を確定させる上で必要な情報が診断結果として表示されてもよい。上記必要な情報としては、例えば、追加撮影等のアドバイスが考えられる。例えば、O C T A 画像における血管領域に異常部位が検出された場合には、O C T A よりも詳細に血管を観察可能な造影剤を用いた蛍光撮影を追加で行う旨が表示されてもよい。

【0484】

なお、診断結果は、医用画像の診断結果を学習データとして学習して得た学習済モデル（診断結果生成エンジン、診断結果生成用の学習済モデル）を用いて生成されたものであってもよい。このとき、学習済モデルは、医用画像とその医用画像の診断結果とを含む学習データや、医用画像とその医用画像とは異なる種類の医用画像の診断結果とを含む学習データ等を用いた学習により得たものであってもよい。また、高画質化エンジンにより生成された高画質画像を用いて得た診断結果が表示されるように構成されてもよい。例えば、画像処理装置400は、（高画質化用の学習済モデルとは異なる）診断結果生成用の学習済モデルを用いて、種々の医用画像から該医用画像に関連する診断結果を生成することができる。また、例えば、出力部405は、種々の医用画像から診断結果生成用の学習済モデルを用いて得た診断結果を表示部20に表示させることができる。

【0485】

また、学習データに含まれる入力データとしては、高画質化エンジンにより生成された高画質画像であってよいし、低画質画像と高画質画像とのセットであってよい。また、学習データは、例えば、診断名、病変（異常部位）の種類や状態（程度）、画像における病変の位置、注目領域に対する病変の位置、所見（読影所見等）、診断名の根拠（肯定的な医用支援情報等）、診断名を否定する根拠（否定的な医用支援情報）等の少なくとも

1つを含む情報を（教師あり学習の）正解データとして、入力データにラベル付け（アノテーション）したデータであってもよい。なお、検者からの指示に応じて、診断結果生成の学習済モデルにより得た診断結果が表示されるように構成されてもよい。

【0486】

また、上述した様々な実施形態及び変形例における出力部405は、表示画面のレポート画面において、上述したような注目部位、アーティファクト、異常部位等の物体認識結果（物体検出結果）やセグメンテーション結果を表示させてもよい。このとき、例えば、画像上の物体の周辺に矩形の枠等を重畳して表示させてもよい。また、例えば、画像における物体上に色等を重畳して表示させてもよい。なお、物体認識結果やセグメンテーション結果は、物体認識やセグメンテーションを示す情報を正解データとして医用画像にラベル付け（アノテーション）した学習データを学習して得た学習済モデル（物体認識エンジン、物体認識用の学習済モデル、セグメンテーションエンジン、セグメンテーション用の学習済モデル）を用いて生成されたものであってもよい。例えば、画像処理装置400は、（高画質化用の学習済モデルとは異なる）セグメンテーション用または物体認識用の学習済モデルを用いて、種々の医用画像から該医用画像に関連するセグメンテーション結果または物体認識結果を生成することができる。また、例えば、出力部405は、種々の医用画像からセグメンテーション用または物体認識用の学習済モデルを用いて得たセグメンテーション結果または物体認識結果を表示部20に表示させることができる。なお、上述した解析結果生成や診断結果生成は、上述した物体認識結果やセグメンテーション結果を利用することで得られたものであってもよい。例えば、物体認識やセグメンテーションの処理により得た注目部位に対して解析結果生成や診断結果生成の処理を行ってもよい。

また、異常部位を検出する場合には、画像処理装置400は、敵対的生成ネットワーク（GAN：Generative Adversarial Networks）や変分オートエンコーダ（VAE：Variational auto-encoder）を用いてもよい。例えば、断層画像の生成を学習して得た生成器と、生成器が生成した新たな断層画像と本物の眼底正面画像との識別を学習して得た識別器とからなるDCGAN（Deep Convolutional GAN）を機械学習モデルとして用いることができる。

【0487】

DCGANを用いる場合には、例えば、識別器が入力された断層画像をエンコードすることで潜在変数にし、生成器が潜在変数に基づいて新たな断層画像を生成する。その後、入力された断層画像と生成された新たな断層画像との差分を異常部位として抽出することができる。また、VAEを用いる場合には、例えば、入力された断層画像をエンコーダーによりエンコードすることで潜在変数にし、潜在変数をデコーダーによりデコードすることで新たな断層画像を生成する。その後、入力された断層画像と生成された新たな断層画像との差分を異常部位として抽出することができる。なお、入力データの例として断層画像を例として説明したが、眼底画像や前眼の正面画像等を用いてもよい。

【0488】

さらに、画像処理装置400は、畳み込みオートエンコーダ（CAE：Convolutional Auto-Encoder）を用いて、異常部位を検出してもよい。CAEを用いる場合には、学習時に入力データ及び出力データとして同じ画像を学習させる。これにより、推定時に異常部位がある画像をCAEに入力すると、学習の傾向に従って異常部位がない画像が出力される。その後、CAEに入力された画像とCAEから出力された画像の差分を異常部位として抽出することができる。なお、この場合にも、断層画像だけでなく、眼底画像や前眼の正面画像等を入力データとして用いてもよい。

【0489】

これらの場合、画像処理装置400は、セグメンテーション処理等により特定した異なる領域それぞれについて敵対的生成ネットワーク又はオートエンコーダを用いて得た医用画像と、該敵対的生成ネットワーク又はオートエンコーダに入力された医用画像との差に関する情報を異常部位に関する情報として生成することができる。これにより、画像処理装置400は、高速に精度よく異常部位を検出することが期待できる。ここで、オートエ

ンコードには、V A EやC A E等が含まれる。例えば、画像処理装置400は、種々の医用画像から敵対的生成ネットワーク又はオートエンコーダを用いて得た医用画像と、該敵対的生成ネットワーク又は該オートエンコーダに入力された医用画像との差に関する情報を、異常部位に関する情報として生成することができる。また、例えば、出力部405は、種々の医用画像から敵対的生成ネットワーク又はオートエンコーダを用いて得た医用画像と、該敵対的生成ネットワーク又は該オートエンコーダに入力された医用画像との差に関する情報を、異常部位に関する情報として表示部20に表示させることができる。

【0490】

また、特に診断結果生成用の学習済モデルは、被検者の所定部位の異なる種類の複数の医用画像をセットとする入力データを含む学習データにより学習して得た学習済モデルであってもよい。このとき、学習データに含まれる入力データとして、例えば、眼底のモーションコントラスト正面画像及び輝度正面画像（あるいは輝度断層画像）をセットとするデータ等が考えられる。また、学習データに含まれる入力データとして、例えば、眼底の断層画像（Bスキャン画像）及びカラー眼底画像（あるいは蛍光眼底画像）をセットとするデータ等も考えられる。また、異なる種類の複数の医療画像は、異なるモダリティ、異なる光学系、又は異なる原理等により取得されたものであれば何でもよい。

【0491】

また、特に診断結果生成用の学習済モデルは、被検者の異なる部位の複数の医用画像をセットとする入力データを含む学習データにより学習して得た学習済モデルであってもよい。このとき、学習データに含まれる入力データとして、例えば、眼底の断層画像（Bスキャン画像）と前眼部の断層画像（Bスキャン画像）とをセットとするデータ等が考えられる。また、学習データに含まれる入力データとして、例えば、眼底の黄斑の3次元OCT画像（3次元断層画像）と眼底の視神経乳頭のサークルスキャン（またはラスタスキャン）断層画像とをセットとするデータ等も考えられる。

【0492】

なお、学習データに含まれる入力データは、被検者の異なる部位及び異なる種類の複数の医用画像であってもよい。このとき、学習データに含まれる入力データは、例えば、前眼部の断層画像とカラー眼底画像とをセットとする入力データ等が考えられる。また、上述した学習済モデルは、被検者の所定部位の異なる撮影画角の複数の医用画像をセットとする入力データを含む学習データにより学習して得た学習済モデルであってもよい。また、学習データに含まれる入力データは、パノラマ画像のように、所定部位を複数領域に時分割して得た複数の医用画像を貼り合わせたものであってもよい。このとき、パノラマ画像のような広画角画像を学習データとして用いることにより、狭画角画像よりも情報量が多い等の理由から画像の特徴量を精度良く取得できる可能性があるため、各処理の結果を向上することができる。例えば、推定時（予測時）において、広画角画像における複数の位置で異常部位が検出された場合に、各異常部位の拡大画像を順次表示可能に構成させる。これにより、複数の位置における異常部位を効率よく確認することができるため、例えば、検者の利便性を向上することができる。このとき、例えば、異常部位が検出された広画角画像上の各位置を検者が選択可能に構成され、選択された位置における異常部位の拡大画像が表示されるように構成されてもよい。また、学習データに含まれる入力データは、被検者の所定部位の異なる日時の複数の医用画像をセットとする入力データであってもよい。

【0493】

また、上述した解析結果と診断結果と物体認識結果とセグメンテーション結果とのうち少なくとも1つの結果が表示される表示画面は、レポート画面に限らない。このような表示画面は、例えば、撮影確認画面、経過観察用の表示画面、及び撮影前の各種調整用のプレビュー画面（各種のライブ動画が表示される表示画面）等の少なくとも1つの表示画面に表示されてもよい。例えば、上述した学習済モデルを用いて得た上記少なくとも1つの結果を撮影確認画面に表示させることにより、検者は、撮影直後であっても精度の良い結果を確認することができる。また、上述した低画質画像と高画質画像との表示の変更は

10

20

30

40

50

、例えば、低画質画像の解析結果と高画質画像の解析結果との表示の変更であってもよい。
【0494】

ここで、上述した様々な学習済モデルは、学習データを用いた機械学習により得ることができる。機械学習には、例えば、多階層のニューラルネットワークから成る深層学習（Deep Learning）がある。また、多階層のニューラルネットワークの少なくとも一部には、例えば、畳み込みニューラルネットワーク（CNN：Convolutional Neural Network）を機械学習モデルとして用いることができる。また、多階層のニューラルネットワークの少なくとも一部には、オートエンコーダ（自己符号化器）に関する技術が用いられてもよい。また、学習には、バックプロパゲーション（誤差逆伝搬法）に関する技術が用いられてもよい。ただし、機械学習としては、深層学習に限らず、画像等の学習データの特徴量を学習によって自ら抽出（表現）可能なモデルを用いた学習であれば何でもよい。ここで、機械学習モデルとは、ディープラーニング等の機械学習アルゴリズムによる学習モデルをいう。また、学習済モデルとは、任意の機械学習アルゴリズムによる機械学習モデルに対して、事前に適切な学習データを用いてトレーニングした（学習を行った）モデルである。ただし、学習済モデルは、それ以上の学習を行わないものではなく、追加の学習を行うこともできるものとする。また、学習データとは、入力データ及び出力データ（正解データ）のペアで構成される。ここで、学習データを教師データという場合もあるし、あるいは、正解データを教師データという場合もある。

【0495】

なお、GPUは、データをより多く並列処理することで効率的な演算を行うことができる。このため、ディープラーニングのような学習モデルを用いて複数回に渡り学習を行う場合には、GPUで処理を行うことが有効である。そこで、本変形例では、学習部（不図示）の一例である画像処理部101-04による処理には、CPUに加えてGPUを用いる。具体的には、学習モデルを含む学習プログラムを実行する場合に、CPUとGPUが協働して演算を行うことで学習を行う。なお、学習部の処理は、CPUまたはGPUのみにより演算が行われてもよい。また、上述した様々な学習済モデルを用いた処理を実行する処理部（推定部）も、学習部と同様にGPUを用いてもよい。また、学習部は、不図示の誤差検出部と更新部とを備えてもよい。誤差検出部は、入力層に入力される入力データに応じてニューラルネットワークの出力層から出力される出力データと、正解データとの誤差を得る。誤差検出部は、損失関数を用いて、ニューラルネットワークからの出力データと正解データとの誤差を計算するようにしてもよい。また、更新部は、誤差検出部で得られた誤差に基づいて、その誤差が小さくなるように、ニューラルネットワークのノード間の結合重み付け係数等を更新する。この更新部は、例えば、誤差逆伝播法を用いて、結合重み付け係数等を更新する。誤差逆伝播法は、上記の誤差が小さくなるように、各ニューラルネットワークのノード間の結合重み付け係数等を調整する手法である。

【0496】

また、高画質化やセグメンテーション等に用いられる機械学習モデルとしては、複数のダウンサンプリング層を含む複数の階層からなるエンコーダーの機能と、複数のアップサンプリング層を含む複数の階層からなるデコーダーの機能とを有するU-net型の機械学習モデルが適用可能である。U-net型の機械学習モデルでは、エンコーダーとして構成される複数の階層において曖昧にされた位置情報（空間情報）を、デコーダーとして構成される複数の階層において、同次元の階層（互に対応する階層）で用いることができるように（例えば、スキップコネクションを用いて）構成される。

【0497】

また、高画質化やセグメンテーション等に用いられる機械学習モデルとしては、例えば、FCN（Fully Convolutional Network）、又はSegNet等を用いることもできる。また、所望の構成に応じて領域単位で物体認識を行う機械学習モデルを用いてもよい。物体認識を行う機械学習モデルとしては、例えば、RCNN（Region CNN）、fastRCNN、又はfasterRCNNを用いることが

できる。さらに、領域単位で物体認識を行う機械学習モデルとして、YOLO (You Only Look Once)、又はSSD (Single Shot Detector、あるいはSingle Shot MultiBox Detector)を用いることもできる。

【0498】

また、機械学習モデルは、例えば、カプセルネットワーク (Capsule Network; CapsNet) でもよい。ここで、一般的なニューラルネットワークでは、各ユニット (各ニューロン) はスカラー値を出力するように構成されることによって、例えば、画像における特徴間の空間的な位置関係 (相対位置) に関する空間情報が低減されるように構成されている。これにより、例えば、画像の局所的な歪みや平行移動等の影響が低減されるような学習を行うことができる。一方、カプセルネットワークでは、各ユニット (各カプセル) は空間情報をベクトルとして出力するように構成されることによって、例えば、空間情報が保持されるように構成されている。これにより、例えば、画像における特徴間の空間的な位置関係が考慮されたような学習を行うことができる。

【0499】

また、高画質化エンジン (高画質化用の学習済モデル) は、高画質化エンジンにより生成された少なくとも1つの高画質画像を含む学習データを追加学習して得た学習済モデルであってもよい。このとき、高画質画像を追加学習用の学習データとして用いるか否かを、検者からの指示により選択可能に構成されてもよい。なお、これらの構成は、高画質化用の学習済モデルに限らず、上述した様々な学習済モデルに対しても適用可能である。また、上述した様々な学習済モデルの学習に用いられる正解データの生成には、ラベル付け (アノテーション) 等の正解データを生成するための正解データ生成用の学習済モデルが用いられてもよい。このとき、正解データ生成用の学習済モデルは、検者がラベル付け (アノテーション) して得た正解データを (順次) 追加学習することにより得られたものであってもよい。すなわち、正解データ生成用の学習済モデルは、ラベル付け前のデータを入力データとし、ラベル付け後のデータを出力データとする学習データを追加学習することにより得られたものであってもよい。また、動画像等のような連続する複数フレームにおいて、前後のフレームの物体認識やセグメンテーション等の結果を考慮して、結果の精度が低いと判定されたフレームの結果を修正するように構成されてもよい。このとき、検者からの指示に応じて、修正後の結果を正解データとして追加学習するように構成されてもよい。

【0500】

なお、上述した様々な実施形態及び変形例において、物体認識用の学習済モデルやセグメンテーション用の学習済モデルを用いて被検眼の領域を検出する場合には、検出した領域毎に所定の画像処理を施すこともできる。例えば、硝子体領域、網膜領域、及び脈絡膜領域のうちの少なくとも2つの領域を検出する場合を考える。この場合には、検出された少なくとも2つの領域に対してコントラスト調整等の画像処理を施す際に、それぞれ異なる画像処理のパラメータを用いることで、各領域に適した調整を行うことができる。各領域に適した調整が行われた画像を表示することで、操作者は領域毎の疾病等をより適切に診断することができる。なお、検出された領域毎に異なる画像処理のパラメータを用いる構成については、例えば、学習済モデルを用いずに検出された被検眼の領域について同様に適用されてもよい。

【0501】

(変形例4)

上述した様々な実施形態及び変形例におけるプレビュー画面において、ライブ動画像の少なくとも1つのフレーム毎に上述した学習済モデルが用いられるように構成されてもよい。このとき、プレビュー画面において、異なる部位や異なる種類の複数のライブ動画像が表示されている場合には、各ライブ動画像に対応する学習済モデルが用いられるように構成されてもよい。これにより、例えば、ライブ動画像であっても、処理時間を短縮することができるため、検者は撮影開始前に精度の高い情報を得ることができる。このため、

例えば、再撮影の失敗等を低減することができるため、診断の精度や効率を向上させることができる。

【0502】

なお、複数のライブ動画画は、例えば、XYZ方向のアライメントのための前眼部の動画画、眼底観察光学系のフォーカス調整やOCTフォーカス調整のための眼底の正面動画画であってもよい。また、複数のライブ動画画は、例えば、OCTのコヒーレンスゲート調整（測定光路長と参照光路長との光路長差の調整）のための眼底の断層動画画等の少なくとも1つの動画画であってもよい。このとき、上述した物体認識用の学習済モデルやセグメンテーション用の学習済モデルを用いて検出された領域が所定の条件を満たすように、上述した各種調整が行われるように構成されてもよい。例えば、物体認識用の学習済モデルやセグメンテーション用の学習済モデルを用いて検出された硝子体領域やRPE等の所定の網膜層等に関する値（例えば、コントラスト値あるいは強度値）が閾値を超える（あるいはピーク値になる）ように、OCTフォーカス調整等の各種調整が行われるように構成されてもよい。また、例えば、物体認識用の学習済モデルやセグメンテーション用の学習済モデルを用いて検出された硝子体領域やRPE等の所定の網膜層が深さ方向における所定の位置になるように、OCTのコヒーレンスゲート調整が行われるように構成されてもよい。

10

【0503】

これらの場合には、画像処理装置400における高画質化部404は、学習済モデルを用いて、動画画について高画質化処理を行って、高画質な動画画を生成することができる。また、撮影制御部（不図示）は、高画質な動画画が表示された状態で、セグメンテーション処理等により特定した異なる領域のいずれかが表示領域における所定の位置になるように、参照ミラー（不図示）等の撮影範囲を変更する光学部材を駆動制御することができる。このような場合には、撮影制御部は、精度の高い情報に基づいて、所望される領域が表示領域の所定の位置になるように自動的にアライメント処理を行うことができる。なお、撮影範囲を変更する光学部材としては、例えばコヒーレンスゲート位置を調整する光学部材であってよく、具体的には参照ミラー等であってよい。また、コヒーレンスゲート位置は、測定光路長及び参照光路長の光路長差を変更する光学部材によって調整されることができ、当該光学部材は、例えば、不図示の測定光の光路長を変更するためのミラー等であってもよい。なお、撮影範囲を変更する光学部材は、例えばステージ部（不図示）であ

20

30

【0504】

また、上述した学習済モデルを適用可能な動画画は、ライブ動画画に限らず、例えば、記憶部に記憶（保存）された動画画であってもよい。このとき、例えば、記憶部に記憶（保存）された眼底の断層動画画の少なくとも1つのフレーム毎に位置合わせして得た動画画が表示画面に表示されてもよい。例えば、硝子体を好適に観察したい場合には、まず、フレーム上に硝子体ができるだけ存在する等の条件を基準とする基準フレームを選択してもよい。このとき、各フレームは、XZ方向の断層画像（Bスキャン像）である。そして、選択された基準フレームに対して他のフレームがXZ方向に位置合わせされた動画画が表示画面に表示されてもよい。このとき、例えば、動画画の少なくとも1つのフレーム毎に高画質化エンジンにより順次生成された高画質画像（高画質フレーム）を連続表示させるように構成させてもよい。

40

【0505】

ここで、各種の調整中では、被検眼の網膜等の撮影対象がまだ上手く撮像できていない可能性がある。このため、学習済モデルに入力される医用画像と学習データとして用いられた医用画像との違いが大きいために、精度良く高画質画像が得られない可能性がある。そこで、断層画像（Bスキャン）の画質評価等の評価値が閾値を超えたら、高画質動画画の表示（高画質フレームの連続表示）を自動的に開始するように構成してもよい。また、断層画像（Bスキャン）の画質評価等の評価値が閾値を超えたら、高画質化ボタンを検者が指定可能な状態（アクティブ状態）に変更するように構成されてもよい。

50

【0506】

また、走査パターン等が異なる撮影モード毎に異なる高画質化エンジンを用意して、選択された撮影モードに対応する高画質化エンジンが選択されるように構成されてもよい。また、異なる撮影モードで得た様々な医用画像を含む学習データを学習して得た1つの高画質化エンジンが用いられてもよい。

【0507】

なお、上述したフレーム間の位置合わせの手法としては、X方向の位置合わせの手法とZ方向（深度方向）の位置合わせの手法とは、同じ手法が適用されてもよいし、全て異なる手法が適用されてもよい。また、同一方向の位置合わせは、異なる手法で複数回行われても良く、例えば、粗い位置合わせを行った後に、精密な位置合わせが行われてもよい。また、位置合わせの手法としては、例えば、断層画像（Bスキャン像）をセグメンテーション処理して得た網膜層境界を用いた（Z方向の粗い）位置合わせ、断層画像を分割して得た複数の領域と基準画像との相関情報（類似度）を用いた（X方向やZ方向の精密な）位置合わせ、断層画像（Bスキャン像）毎に生成した1次元投影像を用いた（X方向の）位置合わせ、2次元正面画像を用いた（X方向の）位置合わせ等がある。また、ピクセル単位で粗く位置合わせが行われてから、サブピクセル単位で精密な位置合わせが行われるように構成されてもよい。

【0508】

（変形例5）

上述した様々な実施形態及び変形例においては、学習済モデルが追加学習中である場合、追加学習中の学習済モデル自体を用いて出力（推論・予測）することが難しい可能性がある。このため、追加学習中の学習済モデルに対する医用画像の入力を禁止することがよい。また、追加学習中の学習済モデルと同じ学習済モデルをもう一つ予備の学習済モデルとして用意してもよい。このとき、追加学習中には、予備の学習済モデルに対して医用画像の入力が実行できるようにすることがよい。そして、追加学習が完了した後に、追加学習後の学習済モデルを評価し、問題なければ、予備の学習済モデルから追加学習後の学習済モデルに置き換えればよい。また、問題があれば、予備の学習済モデルが用いられるようにしてもよい。なお、学習済モデルの評価としては、例えば、高画質化用の学習済モデルで得た高画質画像を他の種類の画像と分類するための分類用の学習済モデルが用いられてもよい。分類用の学習済モデルは、例えば、高画質化用の学習済モデルで得た高画質画像と低画質画像とを含む複数の画像を入力データとし、これらの画像の種類がラベル付け（アノテーション）されたデータを正解データとして含む学習データを学習して得た学習済モデルであってもよい。このとき、推定時（予測時）の入力データの画像の種類が、学習時の正解データに含まれる画像の種類毎の確からしさを示す情報（例えば、割合を示す数値）と合わせて表示されてもよい。なお、分類用の学習済モデルの入力データとしては、上記の画像以外にも、複数の低画質画像の重ね合わせ処理（例えば、位置合わせして得た複数の低画質画像の平均化処理）等によって、高コントラスト化やノイズ低減等が行われたような高画質な画像が含まれてもよい。

【0509】

また、撮影部位毎に学習して得た学習済モデルを選択的に利用できるようにしてもよい。具体的には、第1の撮影部位（肺、被検眼等）を含む学習データを用いて得た第1の学習済モデルと、第1の撮影部位とは異なる第2の撮影部位を含む学習データを用いて得た第2の学習済モデルと、を含む複数の学習済モデルを用意することができる。そして、これら複数の学習済モデルのいずれかを（不図示の選択手段を用いて）選択するように構成されてもよい。このとき、画像処理装置400は、選択された学習済モデルに対して追加学習として実行する制御手段（不図示）を有してもよい。制御手段は、検者からの指示に応じて、選択された学習済モデルに対応する撮影部位と該撮影部位の撮影画像とがペアとなるデータを検索し、検索して得たデータを学習データとする学習を、選択された学習済モデルに対して追加学習として実行することができる。なお、選択された学習済モデルに対応する撮影部位は、データのヘッダの情報から取得したり、検者により手動入力された

りしたものであってよい。また、データの検索は、例えば、病院や研究所等の外部施設のサーバ等からネットワークを介して行われてよい。これにより、学習済モデルに対応する撮影部位の撮影画像を用いて、撮影部位毎に効率的に追加学習することができる。

【0510】

なお、選択手段及び制御手段は、画像処理装置400のCPUやMPU等のプロセッサによって実行されるソフトウェアモジュールにより構成されてよい。また、選択手段及び制御手段は、ASIC等の特定の機能を果たす回路や独立した装置等によって構成されてもよい。

【0511】

また、追加学習用の学習データを、病院や研究所等の外部施設のサーバ等からネットワークを介して取得する際には、改ざんや、追加学習時のシステムトラブル等による信頼性低下を低減したい。そこで、デジタル署名やハッシュ化による一致性の確認を行うことで、追加学習用の学習データの正当性を検出してもよい。これにより、追加学習用の学習データを保護することができる。このとき、デジタル署名やハッシュ化による一致性の確認した結果として、追加学習用の学習データの正当性が検出できなかった場合には、その旨の警告を行い、その学習データによる追加学習を行わない。なお、サーバは、その設置場所を問わず、例えば、クラウドサーバ、フォグサーバ、エッジサーバ等のどのような形態でもよい。

【0512】

(変形例6)

上述した様々な実施形態及び変形例において、検者からの指示は、手動による指示（例えば、ユーザーインターフェース等を用いた指示）以外にも、音声等による指示であってもよい。このとき、例えば、機械学習により得た音声認識エンジン（音声認識モデル、音声認識用の学習済モデル）を含む機械学習エンジンが用いられてもよい。また、手動による指示は、キーボードやタッチパネル等を用いた文字入力等による指示であってもよい。このとき、例えば、機械学習により得た文字認識エンジン（文字認識モデル、文字認識用の学習済モデル）を含む機械学習エンジンが用いられてもよい。また、検者からの指示は、ジェスチャー等による指示であってもよい。このとき、機械学習により得たジェスチャー認識エンジン（ジェスチャー認識モデル、ジェスチャー認識用の学習済モデル）を含む機械学習エンジンが用いられてもよい。

【0513】

また、検者からの指示は、表示部20における表示画面上の検者の視線検出結果等であってもよい。視線検出結果は、例えば、表示部20における表示画面の周辺から撮影して得た検者の動画像を用いた瞳孔検出結果であってもよい。このとき、動画像からの瞳孔検出は、上述したような物体認識エンジンを用いてもよい。また、検者からの指示は、脳波、体を流れる微弱な電気信号等による指示であってもよい。

【0514】

このような場合、例えば、学習データとしては、上述したような種々の学習済モデルの処理による結果の表示の指示を示す文字データまたは音声データ（波形データ）等を入力データとし、種々の学習済モデルの処理による結果等を実際に表示部20に表示させるための実行命令を正解データとする学習データであってもよい。また、学習データとしては、例えば、高画質化用の学習済モデルで得た高画質画像の表示の指示を示す文字データまたは音声データ等を入力データとし、高画質画像の表示の実行命令及びボタン3420をアクティブ状態に変更するための実行命令を正解データとする学習データであってもよい。もちろん、学習データとしては、例えば、文字データまたは音声データ等が示す指示内容と実行命令内容とが互いに対応するものであれば何でもよい。また、音響モデルや言語モデル等を用いて、音声データから文字データに変換してもよい。また、複数のマイクで得た波形データを用いて、音声データに重畳しているノイズデータを低減する処理を行ってもよい。また、文字または音声等による指示と、マウス、タッチパネル等による指示とを、検者からの指示に応じて選択可能に構成されてもよい。また、文字または音声等によ

10

20

30

40

50

る指示のオン・オフを、検者からの指示に応じて選択可能に構成されてもよい。

【0515】

ここで、機械学習には、上述したような深層学習があり、また、多階層のニューラルネットワークの少なくとも一部には、例えば、再帰型ニューラルネットワーク（RNN：Recurrent Neural Network）を用いることができる。ここで、本変形例に係る機械学習エンジンの一例として、時系列情報を扱うニューラルネットワークであるRNNに関して、図36（a）及び（b）を参照して説明する。また、RNNの一種であるLong short-term memory（以下、LSTM）に関して、図37（a）及び（b）を参照して説明する。

【0516】

図36（a）は、機械学習エンジンであるRNNの構造を示す。RNN3520は、ネットワークにループ構造を持ち、時刻 t においてデータ x^t 3510を入力し、データ h^t 3530を出力する。RNN3520はネットワークにループ機能を持つため、現時刻の状態を次の状態に引き継ぐことが可能であるため、時系列情報を扱うことができる。図36（b）には時刻 t におけるパラメータベクトルの入出力の一例を示す。データ x^t 3510には N 個（Params1～Params N ）のデータが含まれる。また、RNN3520より出力されるデータ h^t 3530には入力データに対応する N 個（Params1～Params N ）のデータが含まれる。

【0517】

しかし、RNNでは誤差逆伝搬時に長期時間の情報を扱うことができないため、LSTMが用いられることがある。LSTMは、忘却ゲート、入力ゲート、出力ゲートを備えることで長期時間の情報を学習することができる。ここで、図37（a）にLSTMの構造を示す。LSTM3540において、ネットワークが次の時刻 t に引き継ぐ情報は、セルと呼ばれるネットワークの内部状態 c^{t-1} と出力データ h^{t-1} である。なお、図の小文字（ c 、 h 、 x ）はベクトルを表している。

【0518】

次に、図37（b）にLSTM3540の詳細を示す。図37（b）において、FGは忘却ゲートネットワーク、IGは入力ゲートネットワーク、OGは出力ゲートネットワークを示し、それぞれはシグモイド層である。そのため、各要素が0から1の値となるベクトルを出力する。忘却ゲートネットワークFGは過去の情報をどれだけ保持するかを決め、入力ゲートネットワークIGはどの値を更新するかを判定するものである。CUは、セル更新候補ネットワークであり、活性化関数 $\tanh$ 層である。これは、セルに加えられる新たな候補値のベクトルを作成する。出力ゲートネットワークOGは、セル候補の要素を選択し次の時刻にどの程度の情報を伝えるかを選択する。

【0519】

なお、上述したLSTMのモデルは基本形であるため、ここで示したネットワークに限らない。ネットワーク間の結合を変更してもよい。LSTMではなく、QRNN（Quasi Recurrent Neural Network）を用いてもよい。さらに、機械学習エンジンは、ニューラルネットワークに限定されるものではなく、ブースティングやサポートベクターマシン等が用いられてもよい。また、検者からの指示が文字または音声等による入力の場合には、自然言語処理に関する技術（例えば、Sequence to Sequence）が適用されてもよい。また、検者に対して文字または音声等による出力で応答する対話エンジン（対話モデル、対話用の学習済モデル）が適用されてもよい。

【0520】

（変形例7）

上述した様々な実施形態及び変形例は、以下の各々については少なくとも含むものであり、また、以下の各々の様々な組み合わせを技術的に矛盾のない範囲で少なくとも含むものである。なお、以下における機械学習は、例えば、上述したような様々な学習が適用可能である。また、以下における少なくとも一部の領域は、例えば、上述した部分領域であり、矩形領域等である。

10

20

30

40

50

【0521】

まず、高画質化エンジンは、被検者の所定部位の2次元の医用画像を用いて2次元の高画質画像を生成するために機械学習を行う機械学習エンジンを含むものであってもよい。このとき、高画質化エンジンは、2次元の医用画像の少なくとも一部の領域を含む学習データを学習して得た学習済モデルであってもよい。例えば、高画質化エンジンは、被検眼の第1の深度範囲の第1の正面画像の少なくとも一部の領域を含む学習データを学習して得た学習済モデルであってもよい。また、他の高画質化エンジンとして、被検眼の第2の深度範囲であって、第1の深度範囲とは少なくとも一部の範囲が異なる第2の深度範囲の第2の正面画像の少なくとも一部の領域を含む学習データを学習して得た他の学習済モデルが生成されてもよい。すなわち、第2の正面画像の特徴量と第1の正面画像の特徴量とが比較的異なる場合には、第1の学習済モデルが生成されるだけでなく、第2の学習済モデルも生成されてもよい。これにより、例えば、複数の学習済モデルが複数の医用画像に応じて選択的に用いることができる。このため、特徴量が互いに比較的異なる複数の医用画像を精度良く高画質化することができる。なお、これらの特徴量が比較的類似する場合には、第2の学習済モデルが生成されなくてもよく、第1の正面画像と第2の正面画像とを学習データとして学習して得た共通の学習済モデルが生成されればよい。

10

【0522】

また、高画質化エンジンは、被検者の所定部位の3次元の医用画像を用いて3次元の高画質画像を生成するために機械学習を行う機械学習エンジンを含むものであってもよい。このとき、高画質化エンジンは、3次元の医用画像の少なくとも一部の領域を含む学習データを学習して得た学習済モデルであってもよい。ここで、3次元の医用画像が、異なる位置の複数の2次元の医用画像により構成される場合を考える。このとき、例えば、Bスキャン画像は、XZ平面の断層画像であり、異なる位置はY方向になる。この場合、学習データや学習済モデルに入力されるデータは、XZ方向における位置ずれが補正（位置合わせ）された複数の2次元の医用画像により構成された3次元の医用画像であってもよい。また、学習済モデルを用いて3次元の医用画像から3次元の高画質画像を生成する場合、2次元の医用画像よりも処理時間がかかるため、例えば、高速処理が可能なサーバで処理するように構成されてもよい。この場合には、撮影装置で得た医用画像データをクライアントからサーバに送信し、サーバで学習済モデルを用いた処理後に、処理後のデータをサーバからクライアントに送信するように構成されてもよい。なお、サーバは、その設置場所を問わず、例えば、クラウドサーバ、フォグサーバ、エッジサーバ等のどのような形態でもよい。また、上述した複数の2次元の医用画像の位置合わせの手法としては、X方向の位置合わせの手法とZ方向（深度方向）の位置合わせの手法とは、同じ手法が適用されてもよいし、全て異なる手法が適用されてもよい。また、同一方向の位置合わせは、異なる手法で複数回行われてもよく、例えば、粗い位置合わせを行った後に、精密な位置合わせが行われてもよい。また、位置合わせの手法としては、例えば、断層画像（Bスキャン像）をセグメンテーション処理して得た網膜層境界を用いた（Z方向の粗い）位置合わせ、断層画像を分割して得た複数の領域と基準画像との相関情報（類似度）を用いた（X方向やZ方向の精密な）位置合わせ、断層画像（Bスキャン像）毎に生成した1次元投影像を用いた（X方向の）位置合わせ、2次元正面画像を用いた（X方向の）位置合わせ等がある。また、ピクセル単位で粗く位置合わせが行われてから、サブピクセル単位で精密な位置合わせが行われるように構成されてもよい。

20

30

40

【0523】

また、高画質化エンジンは、被検者の所定部位の3次元の医用画像データにおける少なくとも一部の範囲が異なる複数の範囲の2次元の医用画像を含む学習済データを学習して得た学習済モデルであってもよい。例えば、高画質化エンジンは、被検眼の第1の深度範囲の第1の正面画像の少なくとも一部の領域と、第1の深度範囲とは少なくとも一部の範囲が異なる第2の深度範囲の第2の正面画像の少なくとも一部の領域とを含む学習データを学習して得た学習済モデルであってもよい。すなわち、高画質化エンジンは、被検者の所定部位の3次元の医用画像データを用いて得た複数の医用画像であって、特徴量が互い

50

に異なる複数の医用画像を含む学習データを学習して得た学習済モデルであってもよい。これにより、高画質化エンジンは、例えば、互いに異なる複数の特徴量に対して抽象度の高い特徴量を学習結果として得ることができる。このため、例えば、複数の特徴量とは異なる特徴量の医用画像であっても、抽出された抽象度の高い特徴量が適用可能な範囲内であれば、比較的精度良く高画質化することができる。例えば、第1の深度範囲の第1の正面画像の少なくとも一部の領域と、第2の深度範囲の第2の正面画像の少なくとも一部の領域とを含む学習データを学習して得た学習済モデルを用いて、第1の深度範囲及び第2の深度範囲とは少なくとも一部の範囲が異なる第3の深度範囲の第3の正面画像の少なくとも一部の領域から、高画質画像を精度良く生成することができる。このとき、例えば、第1の深度範囲は、比較的太い血管が分布している表層であり、また、第2の深度範囲は、比較的細い血管が分布している（あるいは血管が分布していない）深層である。このため、第1の正面画像の特徴量と第2の正面画像の特徴量とは、互いに異なる。

【0524】

また、学習データに含まれる入力データと正解データ（出力データ）とのセットとしては、低画質画像と高画質画像とのセットであってもよい。例えば、高画質画像は、複数の低画質画像を重ね合わせることで得たものであってもよい。このとき、重ね合わせることで、高画質画像には、複数の低画質画像において共通しては撮像されなかったが、いずれかには撮像されるような部位が可視化される場合がある。すなわち、低画質画像には存在しない部位が高画質画像には登場する場合がある。このような場合には、高画質化エンジンが、高画質化の特徴量を学習結果として得るだけでなく、存在しない部位を新たに生成するような特徴量も合わせて得てしまう可能性があり、例えば、高画質画像において血管が本当は存在しない領域に偽血管を生成してしまう可能性がある。

【0525】

そこで、学習データに含まれる入力データと正解データとのセットとしては、画像上に存在する部位の差が互いに比較的小さい複数の医用画像であってもよい。例えば、ノイズが付加された高画質画像と高画質画像とのセットであってもよいし、互いに異なるノイズが付加された複数の高画質画像のセットであってもよい。このとき、ノイズは、画像上に存在する部位等の特徴量が失われない程度のノイズであってもよい。また、画素毎にノイズを付加するか否かをランダムに決定されたノイズパターンが、画像毎に異なってもよい。なお、付加されるノイズの大きさが画像毎に異なってもよい。また、重ね合わせの枚数が互いに異なる複数の医用画像のセットであってもよい。これにより、高画質化エンジンは、例えば、高画質化の特徴量を学習結果として精度良く得ることができる。このため、高画質化エンジンを用いることにより、入力された低画質画像から高画質画像を精度よく生成することができる。このとき、入力された低画質画像は、上述したような各種のアーティファクトの低減処理が適用された医用画像であってもよい。なお、高画質画像に対して該低減処理が適用されてもよい。また、該低減処理が、検者からの指示に応じて選択可能に構成されてもよい。

【0526】

ここで、特徴量が互いに異なる複数の医用画像の少なくとも一部の領域に対しては、互いに異なるノイズが付加されてもよい。例えば、比較的明るい医用画像に対して適度なノイズが比較的暗い医用画像に付加されると、比較的暗い医用画像上に存在する部位が失われてしまう可能性がある。そこで、例えば、比較的暗い医用画像の少なくとも一部の領域に付加されるノイズの大きさは、比較的明るい画像の少なくとも一部の領域に付加されるノイズの大きさよりも小さくしてもよい。また、学習データとして用いられる高画質画像は、他の高画質化エンジンにより生成された高画質画像であってもよい。なお、例えば、画像に付加するノイズの大きさを学習して得たノイズ付加用の学習済モデル（ノイズ付加エンジン）が用いられてもよい。このとき、ノイズ付加用の学習済モデルは、例えば、ノイズを付加する前の画像を入力データとし、ノイズを付加した後の画像を正解データとして含む学習データを学習して得ることができる。これにより、例えば、精度の高い高画質化エンジンを生成するために、明るさ等の異なる画像毎に適切な大きさのノイズを容易に

付加することができる。

【0527】

また、上述したような様々な手法を用いても、低画質画像が比較的暗い医用画像である場合等には、高画質化エンジンがノイズ等とみなしてしまうためか、低画質画像に存在していた部位が高画質画像において一部失われてしまっている可能性がある。そこで、例えば、低画質画像と高画質画像とを画像の明るさ等に応じた割合で合成することにより、合成画像が得られるようにしてもよい。これにより、例えば、高画質画像において失われてしまった部位であっても、低画質画像には存在するため、このような部位を高画質画像上に復活させることができる。

【0528】

(変形例8)

また、上述した様々な実施形態及び変形例において、高画質画像または合成画像等は、検者からの指示に応じて記憶部に保存されてもよい。このとき、高画質画像または合成画像等を保存するための検者からの指示の後、ファイル名の登録の際に、推奨のファイル名として、ファイル名のいずれかの箇所（例えば、最初の箇所、最後の箇所）に、高画質化用の学習済モデルを用いた処理（高画質化処理）により生成された画像であることを示す情報（例えば、文字）を含むファイル名が、検者からの指示に応じて編集可能な状態で表示されてもよい。

【0529】

また、レポート画面等の種々の表示画面において、上述したように、表示部20に高画質画像を表示させる際に、表示されている画像が高画質化用の学習済モデルを用いた処理により生成された高画質画像であることを示す表示が、高画質画像とともに表示されてもよい。この場合には、ユーザーは、当該表示によって、表示された高画質画像が撮影によって取得した画像そのものではないことが容易に識別できるため、誤診断を低減させたり、診断効率を向上させたりすることができる。なお、高画質化用の学習済モデルを用いた処理により生成された高画質画像であることを示す表示は、入力画像と当該処理により生成された高画質画像とを識別可能な表示であればどのような態様のものでもよい。また、高画質化用の学習済モデルを用いた処理だけでなく、上述したような種々の学習済モデルを用いた処理についても、その種類の学習済モデルを用いた処理により生成された結果であることを示す表示が、その結果とともに表示されてもよい。

【0530】

このとき、レポート画面等の表示画面は、検者からの指示に応じて、画像データとして記憶部に保存されてもよい。例えば、高画質画像または合成画像等と、これらの画像が高画質化用の学習済モデルを用いた処理により生成された高画質画像であることを示す表示とが並んだ1つの画像としてレポート画面が記憶部に保存されてもよい。

【0531】

また、高画質化用の学習済モデルを用いた処理により生成された高画質画像であることを示す表示について、高画質化用の学習済モデルがどのような学習データによって学習を行ったものであるかを示す表示が表示部20に表示されてもよい。当該表示としては、学習データの入力データと正解データの種類の説明の表示、入力データと正解データに含まれる撮影部位等の正解データに関する任意の表示等を含んでよい。なお、高画質化用の学習済モデルを用いた処理だけでなく、上述したような種々の学習済モデルを用いた処理についても、その種類の学習済モデルがどのような学習データによって学習を行ったものであるかを示す表示が表示部20に表示されてもよい。

【0532】

また、高画質化用の学習済モデルを用いた処理により生成された画像であることを示す情報（例えば、文字）を、高画質画像または合成画像等に重畳した状態で表示または保存されるように構成されてもよい。このとき、画像上に重畳する箇所は、撮影対象となる注目部位等が表示されている領域には重ならない領域（例えば、画像の端）であればどこでもよい。また、重ならない領域を判定し、判定された領域に重畳させてもよい。

10

20

30

40

50

【0533】

また、レポート画面の初期表示画面として、ボタン3420がアクティブ状態（高画質化処理がオン）となるようにデフォルト設定されている場合には、検者からの指示に応じて、高画質画像または合成画像等を含むレポート画面に対応するレポート画像がサーバに送信されるように構成されてもよい。また、ボタン3420がアクティブ状態となるようにデフォルト設定されている場合には、検査終了時（例えば、検者からの指示に応じて、撮影確認画面やプレビュー画面からレポート画面に変更された場合）に、高画質画像または合成画像等を含むレポート画面に対応するレポート画像がサーバに（自動的に）送信されるように構成されてもよい。このとき、デフォルト設定における各種設定（例えば、レポート画面の初期表示画面におけるE n - F a c e 画像の生成のための深度範囲、解析マップの重畳の有無、高画質画像か否か、経過観察用の表示画面か否か等の少なくとも1つに関する設定）に基づいて生成されたレポート画像がサーバに送信されるように構成されてもよい。

10

【0534】

（変形例9）

また、上述した様々な実施形態及び変形例において、上述したような種々の学習済モデルのうち、第1の種類の学習済モデルで得た画像（例えば、高画質画像、解析マップ等の解析結果を示す画像、物体認識結果を示す画像、セグメンテーション結果を示す画像）を、第1の種類とは異なる第2の種類の学習済モデルに入力してもよい。このとき、第2の種類の学習済モデルの処理による結果（例えば、解析結果、診断結果、物体認識結果、セグメンテーション結果）が生成されるように構成されてもよい。

20

【0535】

また、上述したような種々の学習済モデルのうち、第1の種類の学習済モデルの処理による結果（例えば、解析結果、診断結果、物体認識結果、セグメンテーション結果）を用いて、第1の種類の学習済モデルに入力した画像から、第1の種類とは異なる第2の種類の学習済モデルに入力する画像を生成してもよい。このとき、生成された画像は、第2の種類の学習済モデルにより処理する画像として適した画像である可能性が高い。このため、生成された画像を第2の種類の学習済モデルに入力して得た画像（例えば、高画質画像、解析マップ等の解析結果を示す画像、物体認識結果を示す画像、セグメンテーション結果を示す画像）の精度を向上することができる。

30

【0536】

また、上述したような種々の学習済モデルは、被検体の二次元の医用画像を含む学習データを学習して得た学習済モデルであってもよいし、また、被検体の三次元の医用画像を含む学習データを学習して得た学習済モデルであってもよい。

【0537】

また、上述したような学習済モデルの処理による解析結果や診断結果等を検索キーとして、サーバ等に格納された外部のデータベースを利用した類似症例画像検索を行ってもよい。なお、データベースにおいて保存されている複数の画像が、既に機械学習等によって該複数の画像それぞれの特徴量を付帯情報として付帯された状態で管理されている場合等には、画像自体を検索キーとする類似症例画像検索エンジン（類似症例画像検索モデル、類似症例画像検索用の学習済モデル）が用いられてもよい。例えば、画像処理装置400は、（高画質化用の学習済モデルとは異なる）類似症例画像検索用の学習済モデルを用いて、種々の医用画像から該医用画像に関連する類似症例画像の検索を行うことができる。また、例えば、出力部405は、種々の医用画像から類似症例画像検索用の学習済モデルを用いて得た類似症例画像を表示部20に表示させることができる。

40

【0538】

（その他の実施形態）

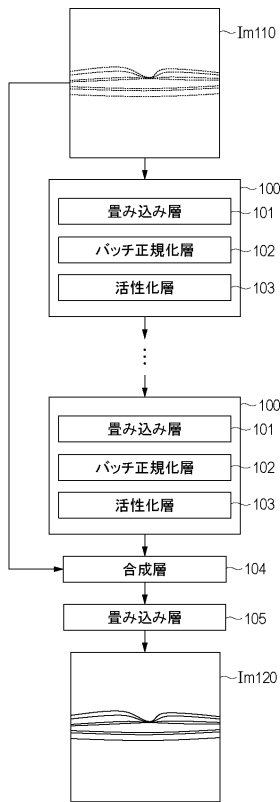
本発明は、上述の実施形態の1以上の機能を実現するプログラムを、ネットワーク又は記憶媒体を介してシステム又は装置に供給し、そのシステム又は装置のコンピュータにおける一つ以上のプロセッサがプログラムを読み出し実行する処理でも実現可能である。ま

50

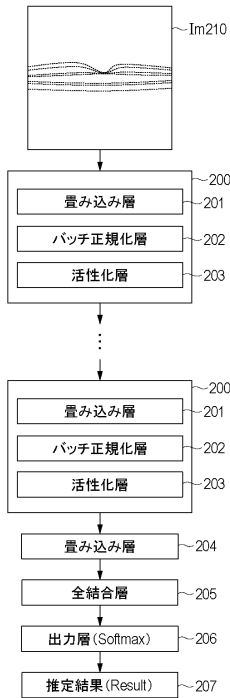
た、1以上の機能を実現する回路（例えば、ASIC）によっても実現可能である。以上、実施形態を参照して本発明について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。本発明の趣旨に反しない範囲で変更された発明、及び本発明と均等な発明も本発明に含まれる。また、上述の各実施形態は、本発明の趣旨に反しない範囲で適宜組み合わせることができる。

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

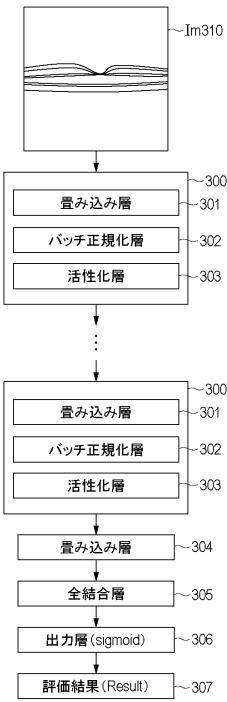
20

30

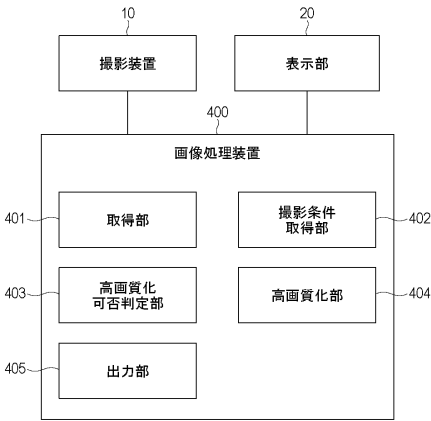
40

50

【図 3】



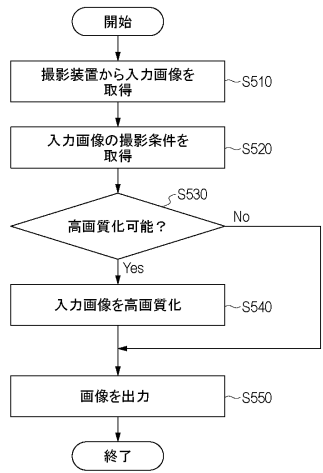
【図 4】



10

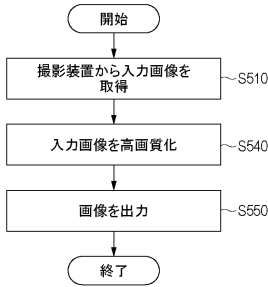
20

【図 5】



30

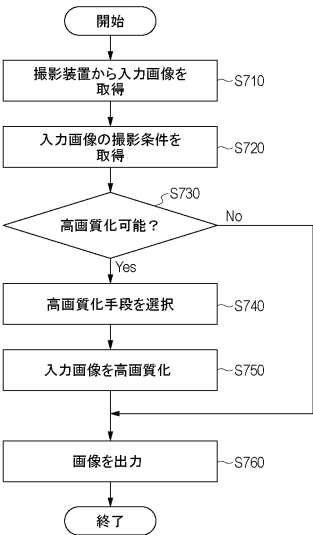
【図 6】



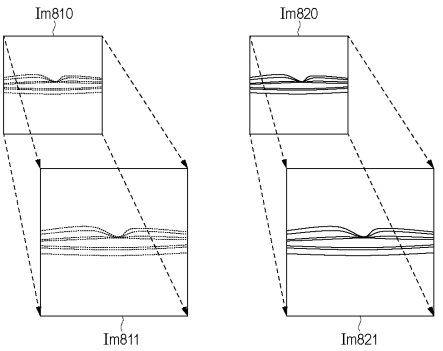
40

50

【図 7】



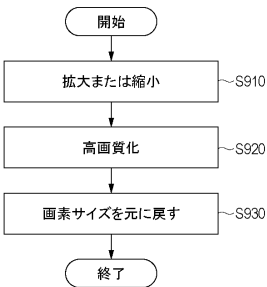
【図 8】



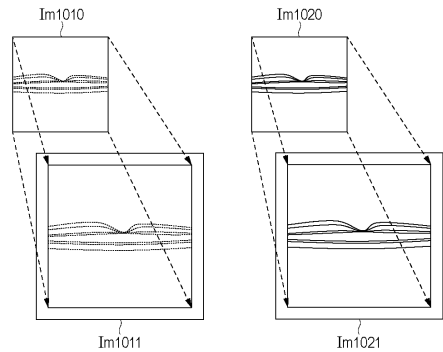
10

20

【図 9】



【図 10】

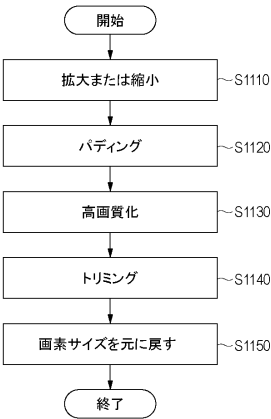


30

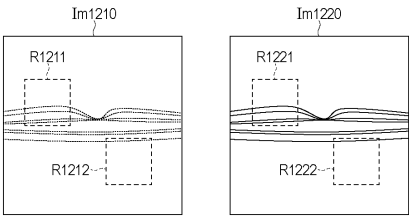
40

50

【図 1 1】



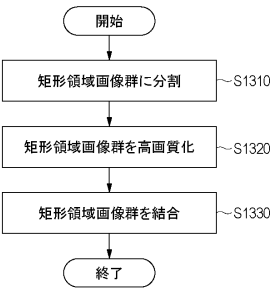
【図 1 2】



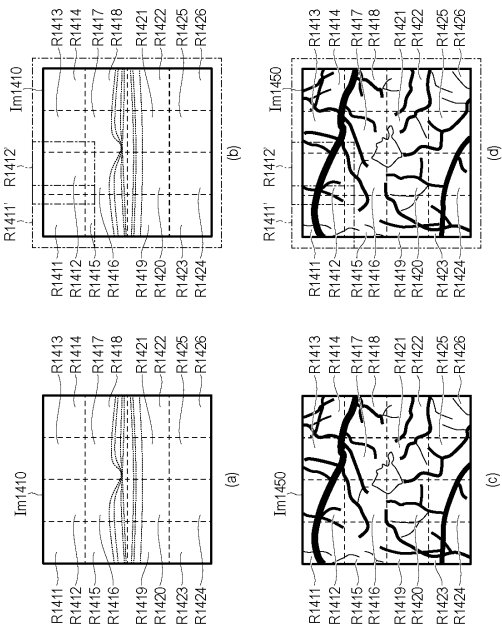
10

20

【図 1 3】



【図 1 4】

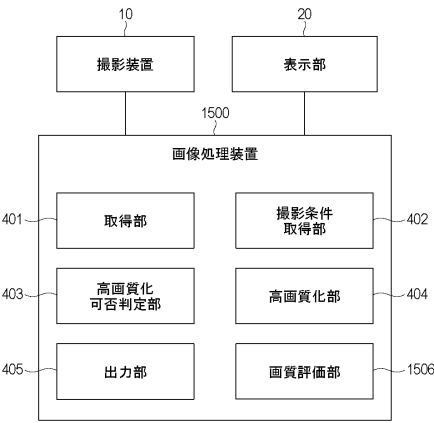


30

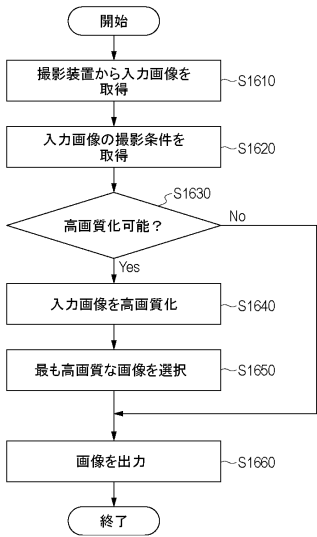
40

50

【図 1 5】



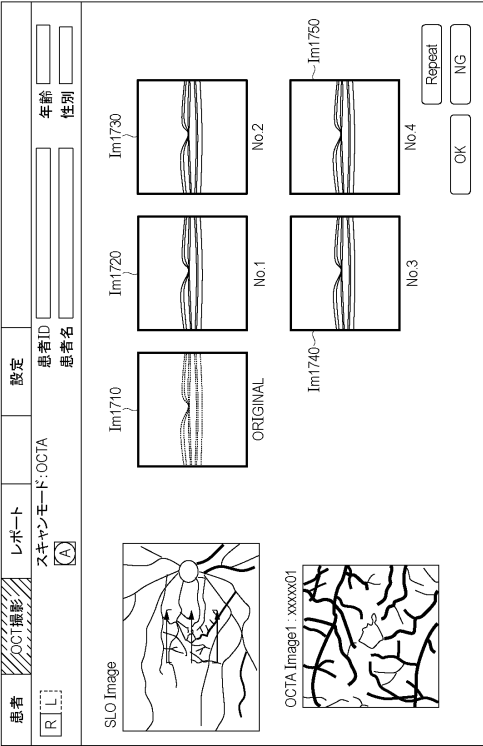
【図 1 6】



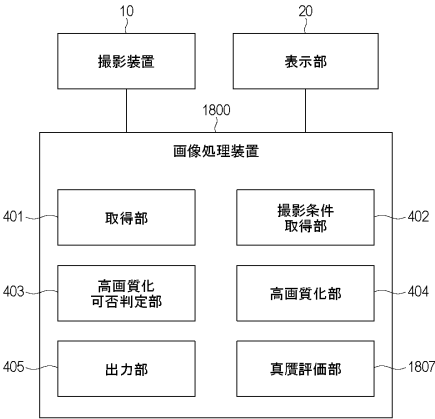
10

20

【図 1 7】



【図 1 8】

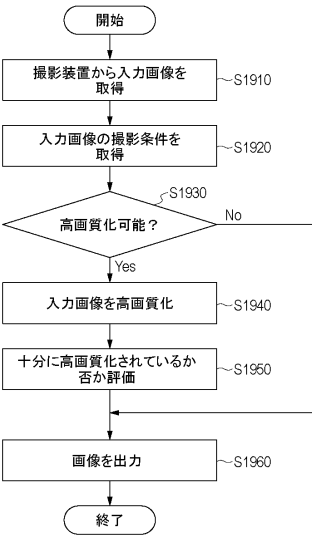


30

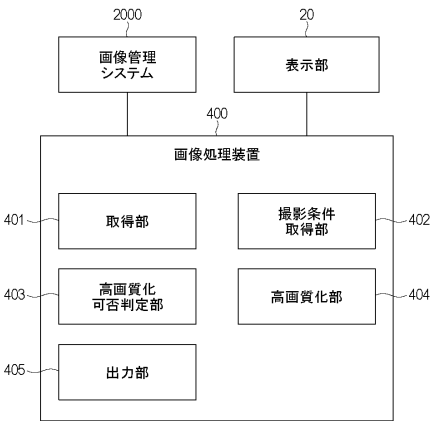
40

50

【図 1 9】



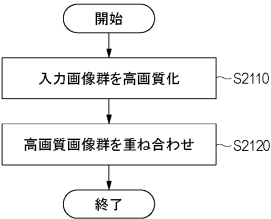
【図 2 0】



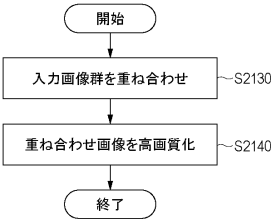
10

20

【図 2 1 A】



【図 2 1 B】

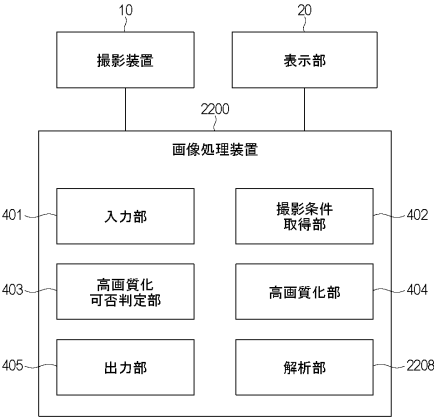


30

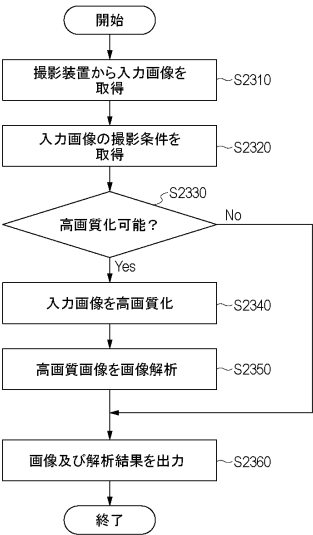
40

50

【図 2 2】



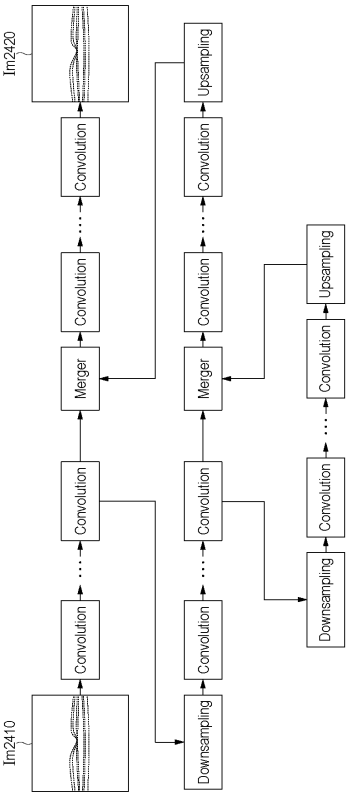
【図 2 3】



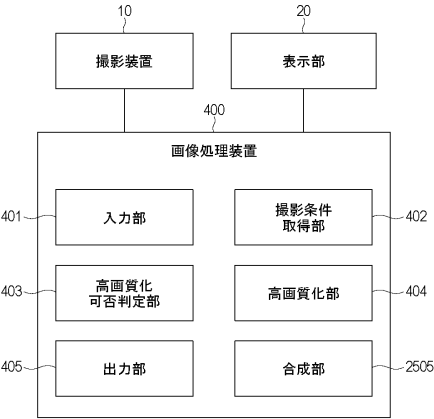
10

20

【図 2 4】



【図 2 5】

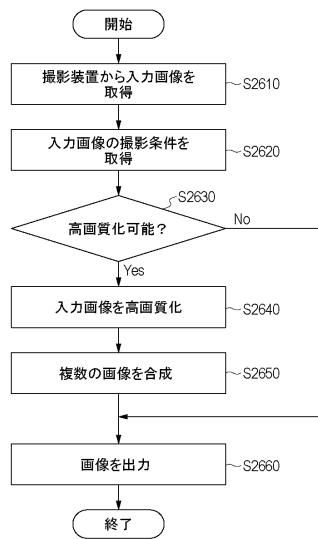


30

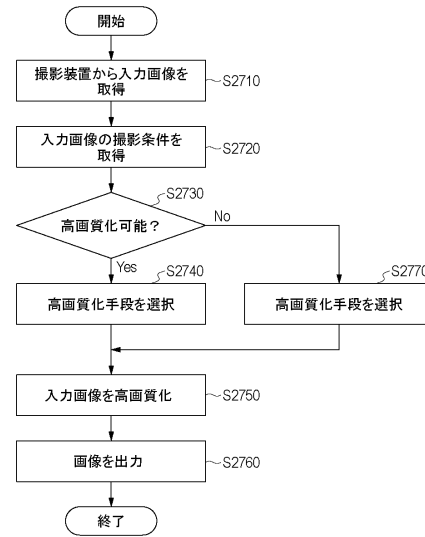
40

50

【図 26】



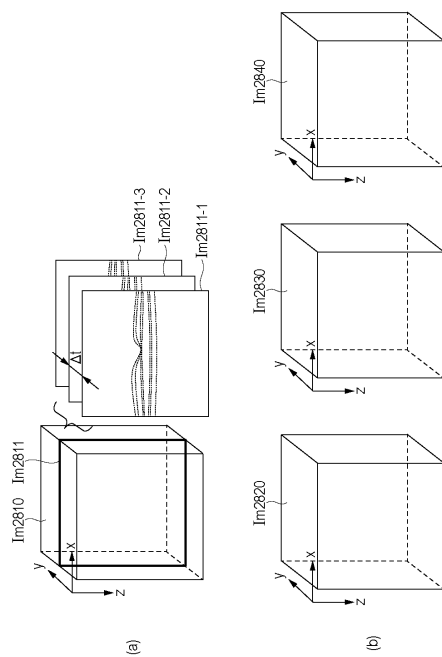
【図 27】



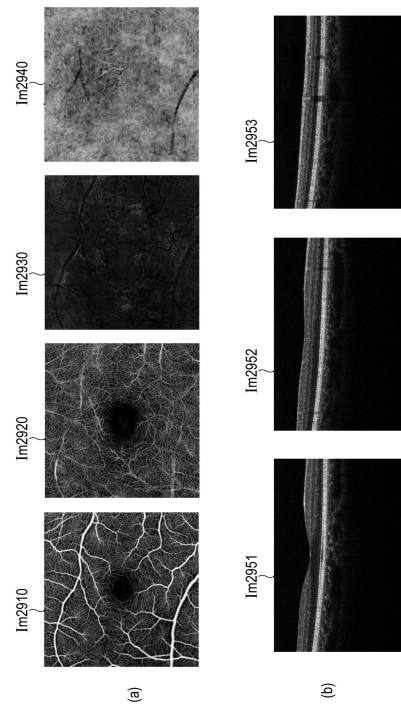
10

20

【図 28】



【図 29】

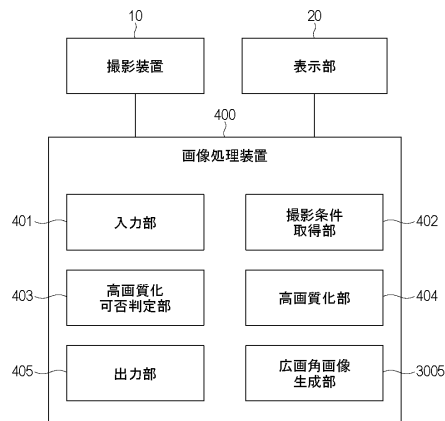


30

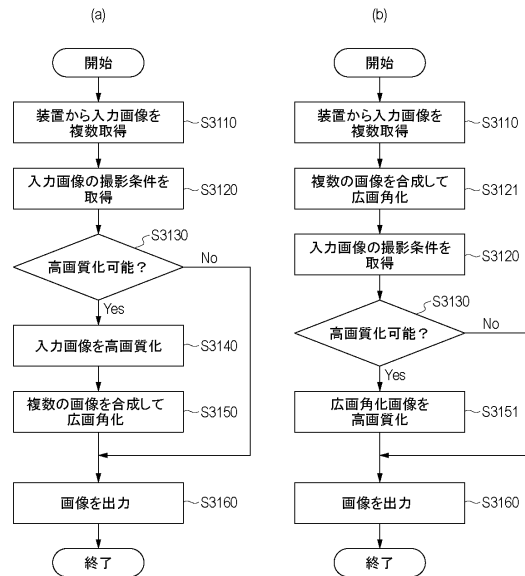
40

50

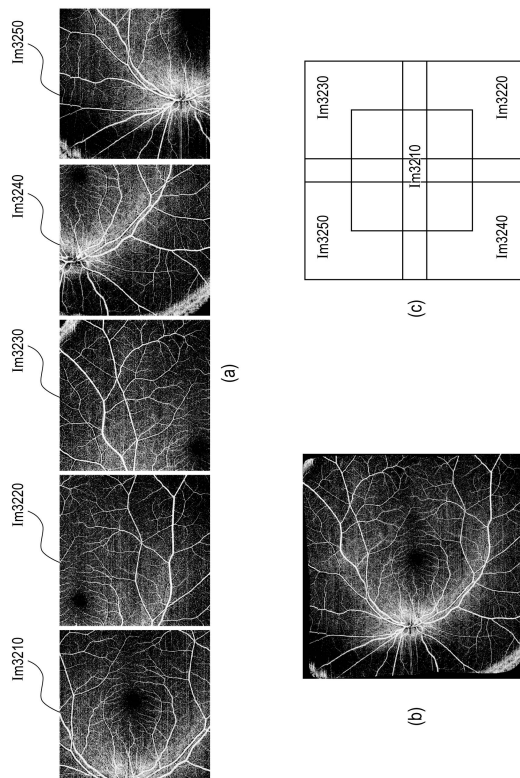
【図 3 0】



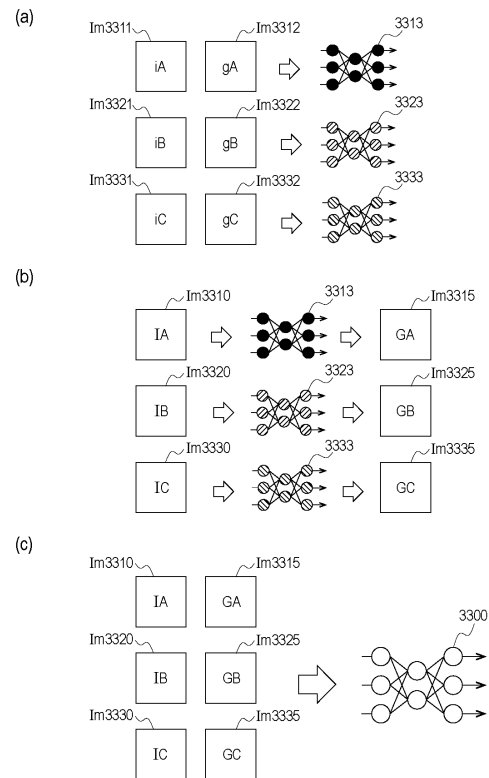
【図 3 1】



【図 3 2】



【図 3 3】



10

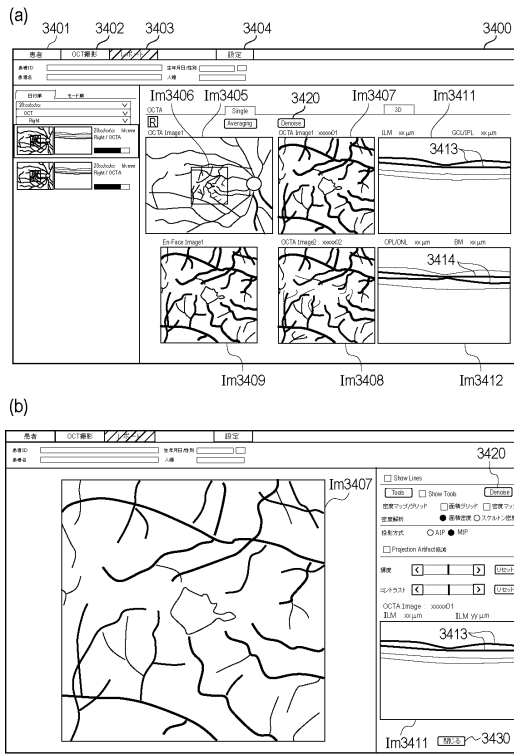
20

30

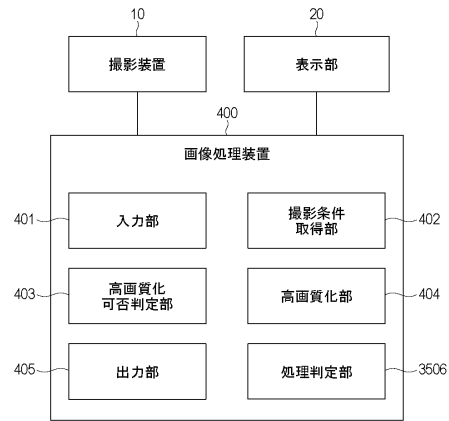
40

50

【図 3 4】



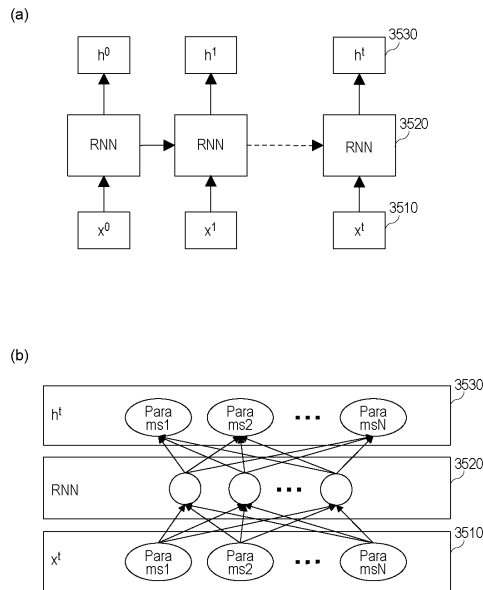
【図 3 5】



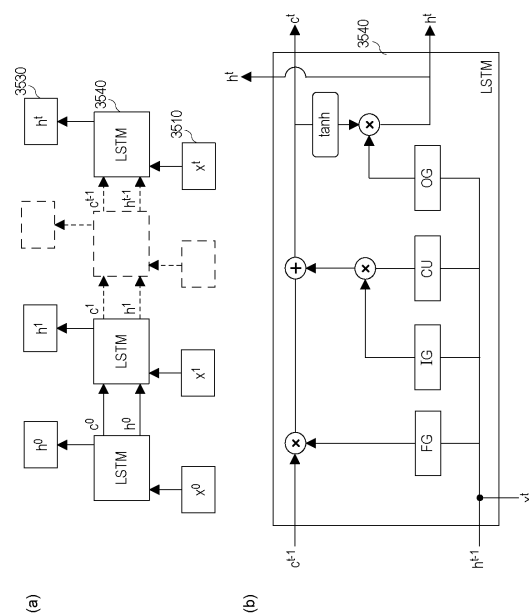
10

20

【図 3 6】



【図 3 7】

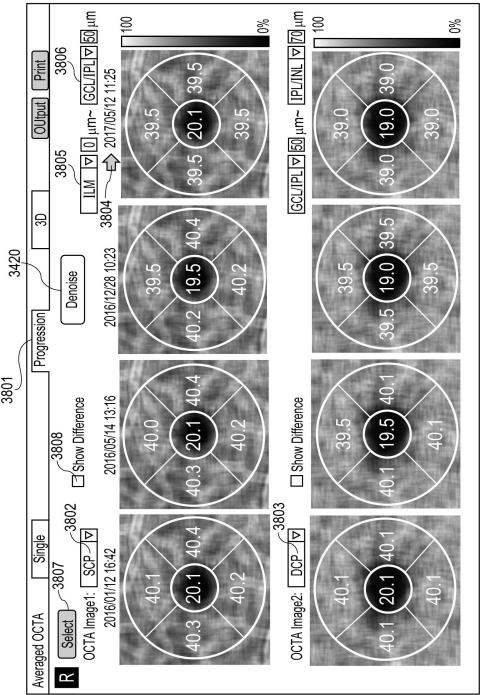


30

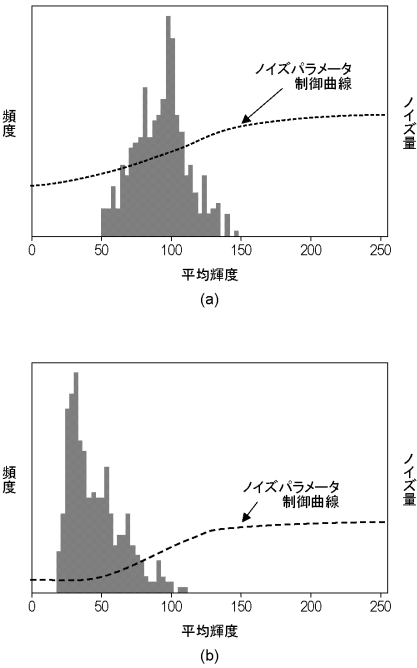
40

50

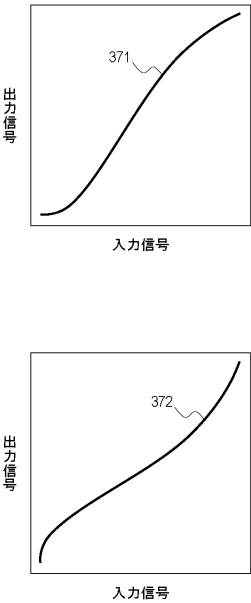
【図 3 8】



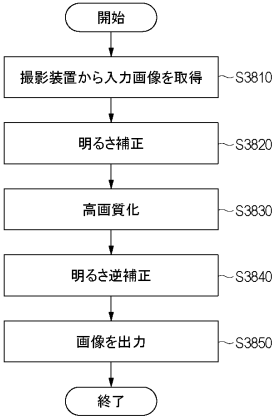
【図 3 9】



【図 4 0】



【図 4 1】



10

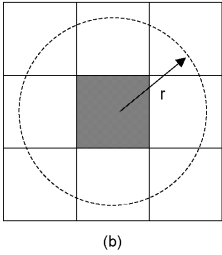
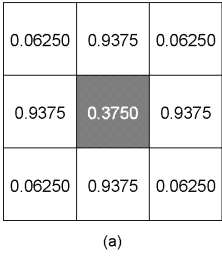
20

30

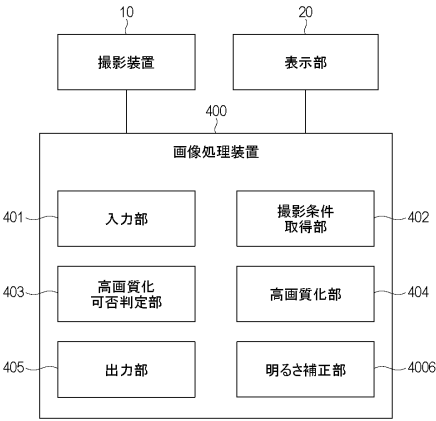
40

50

【図 4 2】



【図 4 3】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

G 0 6 T 3/00 (2006.01)
G 0 6 T 5/50 (2006.01)
G 0 6 T 7/00 (2017.01)

F I

G 0 6 T 3/00 7 8 0
G 0 6 T 5/50
G 0 6 T 7/00 3 5 0 B
G 0 6 T 7/00 6 1 4

ヤノン株式会社内

(72)発明者 富田 律也

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

審査官 伊知地 和之

(56)参考文献

特開2015-129987 (JP, A)
国際公開第2012/092132 (WO, A2)
特開2015-009126 (JP, A)
特開2014-229115 (JP, A)
米国特許出願公開第2008/0100612 (US, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

A 6 1 B 3/00 - 3/18
A 6 1 B 6/00 - 6/14
G 0 6 T 1/00
G 0 6 T 3/00 - 3/60
G 0 6 T 5/00 - 5/50
G 0 6 T 7/00 - 7/90
G 0 6 V 10/00 - 20/90
G 0 6 V 30/418
G 0 6 V 40/16
G 0 6 V 40/20
C S D B (日本国特許庁)