

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6943251号
(P6943251)

(45) 発行日 令和3年9月29日(2021.9.29)

(24) 登録日 令和3年9月13日(2021.9.13)

(51) Int.Cl. F 1
G 0 6 T 1/00 (2006.01) G 0 6 T 1/00 2 8 0

請求項の数 6 (全 16 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2018-535594 (P2018-535594) (86) (22) 出願日 平成29年8月9日(2017.8.9) (86) 国際出願番号 PCT/JP2017/028903 (87) 国際公開番号 W02018/037920 (87) 国際公開日 平成30年3月1日(2018.3.1) 審査請求日 令和2年7月15日(2020.7.15) (31) 優先権主張番号 特願2016-165819 (P2016-165819) (32) 優先日 平成28年8月26日(2016.8.26) (33) 優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)</p>	<p>(73) 特許権者 000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号 (74) 代理人 100109313 弁理士 机 昌彦 (74) 代理人 100124154 弁理士 下坂 直樹 (72) 発明者 金子 瑛士 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社社内 審査官 佐田 宏史</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像処理装置、画像処理方法及びコンピュータ読み取り可能記録媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の補正方法を用いて、画像から複数の補正画像を生成する補正手段と、
 前記画像又は前記複数の補正画像のそれぞれを、当該画像又は当該補正画像を構成する
 領域毎に評価する評価手段と、

前記複数の補正画像を前記評価手段による評価結果に応じて合成する合成手段と
 を備え、

前記評価手段は、前記画像のシーンを前記領域毎に判定し、前記複数の補正画像が前記
 シーンに適合しない程度を示す不確からしさを前記領域毎に評価し、

前記合成手段は、前記評価手段により評価された不確からしさに基づいて前記複数の補
 正画像を合成する

画像処理装置。

【請求項2】

前記合成手段は、前記複数の補正画像を、前記領域毎に重み付け加算することにより合
 成する

請求項1に記載の画像処理装置。

【請求項3】

前記画像は、雲を含み得る地表の観測画像であり、

前記評価手段は、前記複数の補正画像のそれぞれから推定される雲の性状を表す情報に
 基づいて、前記複数の補正画像のそれぞれを前記領域毎に評価する

10

20

請求項 1 または 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 4】

前記領域が画素である

請求項 1 から請求項 3 までのいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 5】

複数の補正方法を用いて、画像から複数の補正画像を生成し、

前記画像又は前記複数の補正画像のそれぞれを、当該画像又は当該補正画像を構成する領域毎に評価し、

前記複数の補正画像を評価結果に応じて合成し、

前記画像のシーンを前記領域毎に判定し、前記複数の補正画像が前記シーンに適合しない程度を示す不確からしさを前記領域毎に評価し、

前記評価された不確からしさに基づいて前記複数の補正画像を合成する画像処理方法。

10

【請求項 6】

コンピュータに、

複数の補正方法を用いて、画像から複数の補正画像を生成する処理と、

前記画像又は前記複数の補正画像のそれぞれを、当該画像又は当該補正画像を構成する領域毎に評価する処理と、

前記複数の補正画像を評価結果に応じて合成する処理と

を実行させ、

前記評価する処理では、前記画像のシーンを前記領域毎に判定し、前記複数の補正画像が前記シーンに適合しない程度を示す不確からしさを前記領域毎に評価し、

前記合成する処理では、前記評価された不確からしさに基づいて前記複数の補正画像を合成する

20

ためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、画像処理に関する。

【背景技術】

30

【0002】

画像処理においては、ノイズ等が含まれる画像から本来の情報を正確に得ることを目的としたさまざまな補正方法が存在する。例えば、非特許文献 1、2 は、撮影された画像から雲やヘイズ（霧、煙など）を取り除くための技術を開示している。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献 1】 Meng Xu, Mark Pickering, Antonio J. Plaza and Xiuping Jia, "Thin cloud removal based on signal transmission principles and spectral mixture analysis", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.54, No.3, pp. 1659-1669, March 2016.

40

【非特許文献 2】 Kaiming He, Jian Sun and Xiaoou Tang, "Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.33, No.12, pp. 2341-2353, December 2011

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

画像処理における補正の良否は、その補正方法に依存する場合がある。例えば、非特許文献 1 に記載された方法を用いた場合には、純物質の種類が多いシーンにおいて補正の精度が低下する可能性がある。また、非特許文献 2 に記載された方法を用いた場合には、影

50

などの暗い画素が存在しないシーンにおいて精度が低下する可能性がある。

【0005】

そこで、本開示は、画像の補正後の画質を向上させる技術を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

一の態様において、複数の補正方法を用いて、画像から複数の補正画像を生成する補正手段と、前記画像又は前記複数の補正画像のそれぞれを、当該画像又は当該補正画像を構成する領域毎に評価する評価手段と、前記複数の補正画像を前記評価手段による評価結果に応じて合成する合成手段とを含む画像処理装置が提供される。

【0007】

別の態様において、複数の補正方法を用いて、画像から複数の補正画像を生成し、前記画像又は前記複数の補正画像のそれぞれを、当該画像又は当該補正画像を構成する領域毎に評価し、前記複数の補正画像を評価結果に応じて合成する画像処理方法が提供される。

【0008】

さらに別の態様において、コンピュータに、複数の補正方法を用いて、画像から複数の補正画像を生成する処理と、前記画像又は前記複数の補正画像のそれぞれを、当該画像又は当該補正画像を構成する領域毎に評価する処理と、前記複数の補正画像を評価結果に応じて合成する処理とを実行させるためのプログラムを非一時的に格納したコンピュータ読み取り可能記録媒体が提供される。

【発明の効果】

【0009】

本開示によれば、画像の補正後の画質が向上する。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】図1は、画像処理装置の構成の一例を示すブロック図である。

【図2】図2は、画像処理方法の一例を示すフローチャートである。

【図3】図3は、画像処理システムの構成の一例を示すブロック図である。

【図4】図4は、画像処理装置の構成の別の例を示すブロック図である。

【図5】図5は、第1補正部の構成の一例を示すブロック図である。

【図6】図6は、第2補正部の構成の一例を示すブロック図である。

【図7】図7は、画像処理方法の別の例を示すフローチャートである。

【図8】図8は、画像処理装置の構成のさらに別の例を示すブロック図である。

【図9】図9は、画像処理装置の構成のさらに別の例を示すブロック図である。

【図10】図10は、コンピュータ装置のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

[第1実施形態]

図1は、一の実施形態に係る画像処理装置100の構成を示すブロック図である。画像処理装置100は、補正部110と、評価部120と、合成部130とを少なくとも含む。画像処理装置100は、補正部110、評価部120及び合成部130以外の構成を含んでもよい。

【0012】

本実施形態に係る画像は、複数の画素を用いて表される。それぞれの画素は、ピクセル情報を少なくとも含む。ピクセル情報は、それぞれの画素を特徴付ける情報である。ピクセル情報は、例えば、画素の明るさや色を所定のビット数で表す。本実施形態に係る画像は、モノクロ画像又はカラー画像のいずれであってもよい。また、画像の解像度は、特定の値に限定又は制限されない。

【0013】

補正部110は、画像を補正する。補正部110は、1つの画像を複数の補正方法を用

10

20

30

40

50

いて補正する。補正部 110 は、第 1 の補正方法により補正された第 1 の画像と、第 1 の補正方法と異なる第 2 の補正方法により補正された第 2 の画像と、というように、 n 種類の補正方法を用いて n 個の画像を生成する。ここでいう n の値は、2 以上の整数であれば特に限定されない。

【0014】

補正部 110 により補正された画像のことを、以下においては「補正画像」ともいう。また、補正部 110 による補正前の画像のことを、以下においては「原画像」ともいう。ここでいう原画像は、補正部 110 による補正が実行されていなければ足り、何ら加工されていない画像（例えば撮影された画像そのもの）であることを必ずしも要しない。

【0015】

例えば、補正部 110 は、複数の異なる補正アルゴリズムを用いて複数の補正画像を生成する。あるいは、補正部 110 は、同一の補正アルゴリズムを用いて、当該アルゴリズムにおいて用いられるパラメータを変えることによって複数の補正画像を生成してもよい。ここでいうパラメータは、補正画像の画質に影響を与えるパラメータである。補正画像の画質とは、例えば、当該補正画像から読み取ることができる情報の正確さ（忠実さ）や補正の精度をいう。

【0016】

いくつかの態様において、評価部 120 は、補正部 110 により生成された補正画像を評価する。評価部 120 は、補正部 110 により生成された複数の補正画像のそれぞれを、当該補正画像を構成する領域毎に評価する。例えば、評価部 120 は、所定の評価基準を用いて、画質を示す評価値を補正画像の領域毎に算出する。ここでいう評価値は、画質の優劣を二値で表現してもよく、10 段階、100 段階といったより詳細なレベルで画質を表現してもよい。

【0017】

あるいは、評価部 120 は、原画像を領域毎に評価してもよい。すなわち、評価部 120 による評価は、補正画像に対してであっても、原画像に対してであってもよい。例えば、評価部 120 は、原画像の属性（シーン等）を領域毎に評価してもよい。評価部 120 は、例えば、原画像をピクセル情報に基づいて評価する。

【0018】

ここでいう領域は、画像を等分割した定形の領域であってもよいが、画像をある特徴（画像特徴量等）に基づいて分類した不定形の領域であってもよい。例えば、評価部 120 は、原画像又は補正画像を画素毎に評価してもよい。あるいは、評価部 120 は、複数の画素により構成されるブロック毎に原画像又は補正画像を評価してもよい。

【0019】

合成部 130 は、補正部 110 により生成された複数の補正画像を合成する。合成部 130 による合成後の画像のことを、以下においては「合成画像」ともいう。ここでいう合成は、2 以上の画像を 1 つの画像にまとめる画像処理をいう。合成部 130 は、補正部 110 により生成された n 個の補正画像のうち m 個（ただし、 $2 \leq m \leq n$ ）の補正画像を用いて合成画像を出力する。

【0020】

合成部 130 は、評価部 120 による評価結果に応じて補正画像を合成する。例えば、合成部 130 は、複数の補正画像を用いて、評価値がより高い領域同士を結合させることで合成画像を生成する。あるいは、合成部 130 は、複数の補正画像のピクセル情報を評価値に基づいて演算（加算等）することで合成画像を生成してもよい。また、評価部 120 が原画像の属性を領域毎に評価した場合、合成部 130 は、それぞれの領域の属性に応じた補正画像が当該領域に適用された合成画像を生成してもよい。

【0021】

なお、画像処理装置 100 は、合成部 130 による合成を実行しない場合があってもよい。例えば、ある特定の補正方法により補正された補正画像の画質が他の補正画像よりも全体的に良好であると評価部 120 が評価した場合、画像処理装置 100 は、合成画像に

10

20

30

40

50

代えて当該特定の補正方法により補正された補正画像を出力してもよい。

【0022】

図2は、本実施形態に係る画像処理方法を示すフローチャートである。画像処理装置100は、図2に示されるフローチャートに従った手順で処理を実行する。画像処理装置100は、画像が入力されたタイミング、ユーザにより指定されたタイミングなどのタイミングでこの処理の実行を開始することができる。

【0023】

ステップS210において、補正部110は、原画像に対して複数の補正方法を適用することにより、複数の補正画像を生成する。ステップS220において、評価部120は、原画像又は補正画像を領域毎に評価する。ステップS230において、合成部130は、

10

【0024】

以上のとおり、本実施形態の画像処理装置100は、補正画像を、原画像又は補正画像の評価結果に基づいて領域毎に合成する構成を有する。この構成は、1つの補正方法のみによらず、複数の補正方法による補正を反映させた画像の出力を可能にする。したがって、画像処理装置100は、このような構成を有しない場合に比べ、出力される画像の補正後の画質を向上させることができる。

【0025】

[第2実施形態]

図3は、別の実施形態に係る画像処理システム300の構成を示すブロック図である。画像処理システム300は、画像供給装置310と、画像処理装置320と、出力装置330とを含む。本実施形態は、第1実施形態の画像処理装置100のリモートセンシングへの適用例に相当する。

20

【0026】

画像供給装置310は、観測画像を表す観測データを画像処理装置320に供給する。画像供給装置310は、例えば、観測データが蓄積されたデータベースである。画像処理装置320は、画像供給装置310により供給された観測データに基づいて、観測画像を補正及び合成する。出力装置330は、画像処理装置320により合成された合成画像を出力する。出力装置330は、例えば、合成画像を表示する表示装置である。また、出力装置330は、合成画像を表す画像データを記録媒体に記録する記録装置であってもよい。

30

【0027】

本実施形態の観測データは、複数の波長帯のスペクトル情報を少なくとも含む。スペクトル情報は、例えば、輝度値（又は輝度値を算出可能な別の値）である。スペクトル情報は、第1実施形態のピクセル情報の一例に相当する。また、観測データは、メタ情報を含み得る。メタ情報は、例えば、観測日時、地表における位置（緯度及び経度）、太陽天頂角、水蒸気量、気温、太陽の方位角、人工衛星の天頂角及び方位角などである。

【0028】

本実施形態において、観測画像とは、上空から撮影された地表の画像をいう。例えば、観測画像は、光学衛星などの情報収集衛星により観測された、複数の波長帯の電磁波により表される画像である。このような観測画像は、一般に、マルチスペクトル画像又はハイパースペクトル画像とも呼ばれる。ただし、観測画像を表す波長帯の数（以下「バンド数」ともいう。）は、特定の値に限定されない。また、観測画像を表す波長帯の上限及び下限も、特定の値に限定されず、不可視光の波長帯を含んでもよい。

40

【0029】

ここでいう地表は、地球の表面を意味し、必ずしも陸地に限定されない。また、観測画像は、地表を観測することを目的として撮影されるものの、地表の観測の妨げとなる物体が映り込む場合がある。このような物体の一例としては、大気中の雲が挙げられる。本実施形態において、画像処理装置320は、観測画像における雲の影響、すなわち本来地表を表すべき画像への雲による遮蔽などを抑制又は除去するための補正を実行する。

50

【 0 0 3 0 】

図 4 は、画像処理装置 3 2 0 のより詳細な構成を示すブロック図である。画像処理装置 3 2 0 は、取得部 4 1 0 と、第 1 補正部 4 2 0 と、第 2 補正部 4 3 0 と、評価部 4 4 0 と、合成部 4 5 0 とを含む。このうち、第 1 補正部 4 2 0 及び第 2 補正部 4 3 0 は、第 1 実施形態の補正部 1 1 0 の一例に相当する。また、評価部 4 4 0 は、第 1 実施形態の評価部 1 2 0 の一例に相当する。合成部 4 4 0 は、第 1 実施形態の合成部 1 3 0 の一例に相当する。

【 0 0 3 1 】

取得部 4 1 0 は、観測データを取得する。取得部 4 1 0 は、画像供給装置 3 1 0 から供給された観測データを第 1 補正部 4 2 0 及び第 2 補正部 4 3 0 に供給する。換言すると、取得部 4 1 0 は、観測データを第 1 補正部 4 2 0 と第 2 補正部 4 3 0 とに振り分ける、ともいえる。

10

【 0 0 3 2 】

第 1 補正部 4 2 0 は、観測画像を補正する。第 1 補正部 4 2 0 は、いわゆるUnmixing手法を用いて観測画像を補正する。Unmixing手法に基づく画像の補正方法の一例は、非特許文献 1 に記載されている。第 1 補正部 4 2 0 は、補正画像を表す画像データ（スペクトル情報）を合成部 4 5 0 に供給する。また、第 1 補正部 4 2 0 は、評価部 4 4 0 による評価に用いられる評価情報を評価部 4 4 0 に供給する。

【 0 0 3 3 】

図 5 は、第 1 補正部 4 2 0 の構成を示すブロック図である。第 1 補正部 4 2 0 は、雲スペクトル抽出部 5 1 0 と、純物質スペクトル推定部 5 2 0 と、雲厚推定部 5 3 0 と、雲補正部 5 4 0 とを含む。なお、図 5 以降のブロック図に記載されるブロック間の矢印は、特定の情報の流れを便宜的に示すものであり、情報及びその流れを限定することを意図しない。

20

【 0 0 3 4 】

雲スペクトル抽出部 5 1 0 は、観測画像から雲スペクトルを抽出する。ここにおいて、雲スペクトルとは、観測画像のうちの雲に相当する画素のスペクトルをいう。雲スペクトルは、観測画像のうちの雲の影響を最も受けている画素のスペクトルであるともいえる。雲スペクトル抽出部 5 1 0 は、例えば、観測画像のうちの最も明るい画素のスペクトルを雲スペクトルであるとみなす。具体的には、雲スペクトル抽出部 5 1 0 は、観測画像に含まれる各画素について、バンド毎の輝度値の総和を算出し、算出された総和が最も大きい画素のスペクトルを雲スペクトルとする。

30

【 0 0 3 5 】

純物質スペクトル推定部 5 2 0 は、観測画像と雲スペクトルとに基づいて、純物質スペクトルを推定する。ここにおいて、純物質スペクトルとは、地表を構成する純物質のスペクトルをいう。純物質は、地表をいくつかの構成要素に分類した場合のその構成要素であり、端成分（endmember）とも呼ばれる。ここでいう純物質は、化学物質（単体又は化合物）であってもよいが、地表をいくつかのシーン（水、土壌、植生、人工物など）によって分類した場合の各シーンに相当してもよい。純物質の種類や数は、特に限定されない。

40

【 0 0 3 6 】

太陽光が地表のある領域に入射及び反射することによって観測される反射光は、当該領域を構成する純物質に依存して変化する。この領域が複数の純物質を含む場合、当該領域からの反射光は、当該複数の純物質の比率に応じて異なる。また、当該領域の上空に雲が発生している場合に観測される反射光には、当該領域（すなわち地表）からの反射光だけでなく、雲からの反射光も含まれる可能性がある（例えば、非特許文献 1 の Fig. 3 参照）。

【 0 0 3 7 】

純物質スペクトル推定部 5 2 0 は、地表を構成する純物質の種類が十分に少ないと仮定し、実測されたスペクトル情報と雲スペクトル抽出部 5 1 0 により抽出された雲スペクトルとから期待される純物質スペクトルを推定する。具体的には、純物質スペクトル推定部

50

520は、各領域の純物質の総数をバンド数以下であると仮定する。純物質スペクトル推定部520は、VCA (Vertex Component Analysis)、N-FINDER、PPI (Pixel Purity Index)、MVT (Minimum Volume Transformation) など、周知のUnmixing手法を純物質スペクトルの推定に用いることができる。

【0038】

雲厚推定部530は、雲厚、すなわち雲の厚さ（高さ方向の幅）を画素毎に推定する。雲厚推定部530は、雲スペクトル抽出部510により抽出された雲スペクトルと、純物質スペクトル推定部520により推定された純物質スペクトルとを用いて雲厚を推定する。雲厚推定部530は、例えば、以下の式（1）に示される観測モデルに基づき、モデル誤差 e のノルムを最小化する a_c 及び a_m を算出する。換言すれば、雲厚推定部530は、式（1）に示される最適化問題を解くことによって画素毎の雲厚を算出する。

10

【0039】

【数1】

$$x_0 = a_c s_c + \sum_{m=1}^M a_m s_m + e \quad (1)$$

【0040】

なお、式（1）において、

x_0 ：観測画像の各画素のスペクトル情報

a_c ：雲スペクトルの重み係数（存在度）

s_c ：雲スペクトル

a_m ：純物質スペクトルの成分の重み係数

s_m ：純物質スペクトルの成分

M ：純物質スペクトルの成分の数

e ：モデル誤差

である。また、スペクトル情報 x_0 、雲スペクトル s_c 、純物質スペクトルの成分 s_m は、バンド数と同数の要素を有するベクトルである。スペクトル情報 x_0 は、複数のバンドの放射輝度をベクトルによって表す。

20

【0041】

式（1）の右辺第1項は、スペクトル情報 x_0 に対する雲の影響を示している。この右辺第1項において、重み係数 a_c は、雲が厚いほど大きく、雲が薄いほど小さくなる係数である。例えば、重み係数 a_c は、雲スペクトルに相当する画素において最大値「1」であり、薄い雲の画素であるほど最小値「0」に近づく。雲スペクトル s_c は、雲スペクトル抽出部510により抽出されたスペクトル情報に相当する。純物質スペクトル（右辺第2項）は、式（1）より、スペクトル情報 x_0 から雲の影響（右辺第1項）を減じることによって求められる。

30

【0042】

雲厚推定部530は、式（1）に示される最適化問題を解くことによって、モデル誤差 e のノルムを最小化する重み係数 a_c 及び a_m を画素毎に算出することができる。雲厚推定部530は、画素毎の重み係数 a_c に基づき、観測画像の各画素における雲の厚さを推定することができる。

40

【0043】

雲補正部540は、観測画像を補正する。雲補正部540は、雲スペクトル抽出部510により抽出された雲スペクトルと雲厚推定部530により推定された雲厚とを用いて、観測画像から雲の影響を減じるように補正する。雲補正部540は、雲厚推定部530により推定された雲厚に従って各画素が補正された補正画像を生成する。第1補正部420から出力されるこの補正画像のことを、以下においては「第1の補正画像」ともいう。

【0044】

第2補正部430は、観測画像を補正する点において第1補正部420と共通するが、その補正方法が第1補正部420と異なる。第2補正部430による補正方法は、非特許

50

文献 2 に記載された手法に基づく。非特許文献 2 に記載された手法は、デヘイズ、すなわちヘイズの除去を目的とした手法である。第 2 補正部 4 3 0 は、この手法を雲の除去に適用したものである。第 2 補正部 4 3 0 は、補正画像を表す画像データ（スペクトル情報）を合成部 4 5 0 に供給する。また、第 2 補正部 4 3 0 は、評価部 4 4 0 による評価に用いられる評価情報を評価部 4 4 0 に供給する。

【 0 0 4 5 】

図 6 は、第 2 補正部 4 3 0 の構成を示すブロック図である。第 2 補正部 4 3 0 は、雲成分推定部 6 1 0 と、雲補正部 6 2 0 とを含む。

【 0 0 4 6 】

雲成分推定部 6 1 0 は、雲成分を画素毎に推定する。雲成分推定部 6 1 0 は、観測画像のサイズより小さいサイズ（例えば 15×15 画素）の小領域（ウィンドウ、パッチともいう。）の各画素のスペクトル情報に基づいて雲成分を推定する。具体的には、雲成分推定部 6 1 0 は、この小領域内で雲量が一定であることと、この小領域において所定のバンドの最小の輝度値が雲に起因することとを仮定し、当該最小の輝度値を当該小領域の所定の位置（例えば中心）の画素の雲成分とする。雲成分推定部 6 1 0 は、この小領域の位置をずらしながら同様の推定を順次実行することにより、観測画像の全ての画素の雲成分を推定することができる。

【 0 0 4 7 】

雲補正部 6 2 0 は、雲成分推定部 6 1 0 により推定された雲成分を用いて観測画像を補正する。雲補正部 6 2 0 は、非特許文献 2 に記載されたヘイズ除去と同様の要領で、観測画像から雲の影響が取り除かれた補正画像を生成する。第 2 補正部 4 3 0 から出力されるこの補正画像のことを、以下においては「第 2 の補正画像」ともいう。

【 0 0 4 8 】

評価部 4 4 0 は、第 1 の補正画像及び第 2 の補正画像を画素毎に評価する。評価部 4 4 0 は、モデル誤差 e を用いて第 1 の補正画像を評価する。第 1 の補正画像の補正の精度は、モデル誤差 e が小さいほど高く、モデル誤差 e が大きいほど低い。すなわち、第 1 の補正画像の評価に際しては、モデル誤差 e が評価情報として用いられる。

【 0 0 4 9 】

また、評価部 4 4 0 は、小領域毎に算出される輝度値の標準偏差を用いて第 2 の補正画像を評価する。評価部 4 4 0 は、小領域毎に算出される輝度値の標準偏差をその平均値と比較し、標準偏差が平均値よりも小さい小領域の標準偏差と平均値との差分を当該小領域の所定の位置（例えば中心）の画素の推定誤差とする。あるいは、評価部 4 4 0 は、このように算出された差分を当該小領域の各画素に共通の推定誤差としてもよい。評価部 4 4 0 は、小領域の位置をずらしながら、このような推定誤差を補正画像の各画素について算出する。この推定誤差とモデル誤差 e とを総称して、以下においては「誤差情報」ともいう。誤差情報は、後述の「不確からしさ」の一例に相当するともいえる。

【 0 0 5 0 】

評価部 4 4 0 は、第 1 の補正画像及び第 2 の補正画像の各画素について評価値を算出してもよい。評価値は、例えば、補正画像の画質を「0（最低）」～「10（最高）」の値によって表す。評価部 4 4 0 は、このような評価値を算出したら、算出された評価値を合成部 4 5 0 に供給する。

【 0 0 5 1 】

合成部 4 5 0 は、第 1 の補正画像及び第 2 の補正画像を合成する。合成部 4 5 0 は、評価部 4 4 0 による評価結果に基づいて合成画像を生成する。本実施形態において、合成部 4 5 0 は、第 1 の補正画像と第 2 の補正画像とを画素毎に重み付け加算することによって合成画像を生成する。より詳細には、合成部 4 5 0 は、第 1 の補正画像と第 2 の補正画像の同一の位置に相当する画素同士の階調値を、所定の重み付け係数を用いて重み付け加算する。

【 0 0 5 2 】

例えば、合成部 4 5 0 は、以下の式（2）に示される重み付け加算を画素毎に実行する

10

20

30

40

50

。

$$x = ax_1 + (1-a)x_2 \quad (2)$$

【 0 0 5 3 】

なお、式 (2) において、

x : 合成画像の各画素のスペクトル情報

x_1 : 第 1 の補正画像の各画素のスペクトル情報

x_2 : 第 2 の補正画像の各画素のスペクトル情報

a : 重み付け係数

である。また、スペクトル情報 x 、 x_1 、 x_2 は、バンド数と同数の要素を有するベクトルである。重み付け係数 a は、例えば、第 1 の補正画像のある画素に対する評価値と、第 2 の補正画像の当該画素に対応する画素（すなわち同一の位置に相当する画素）に対する評価値とから決定される。重み付け係数 a は、第 1 の補正画像の画素の画質が高いほど「1」に近付き、第 2 の補正画像の画素の画質が高いほど「0」に近づく 0 以上 1 以下の数値である。

10

【 0 0 5 4 】

図 7 は、本実施形態に係る画像処理方法を示すフローチャートである。画像処理装置 320 は、図 7 に示されるフローチャートに従った手順で処理を実行する。ただし、画像処理装置 320 は、第 1 の補正画像に関する処理（ステップ S720、S730）と第 2 の補正画像に関する処理（ステップ S740、S750）とを並列に実行してもよく、第 2 の補正画像に関する処理を第 1 の補正画像に関する処理の前に実行してもよい。

20

【 0 0 5 5 】

ステップ S710 において、取得部 410 は、観測データを取得する。ステップ S720 において、第 1 補正部 420 は、ステップ S710 において取得された観測データに基づいて第 1 の補正画像を生成する。ステップ S730 において、評価部 440 は、ステップ S720 において生成された第 1 の補正画像を評価する。

【 0 0 5 6 】

ステップ S740 において、第 2 補正部 430 は、ステップ S710 において取得された観測データに基づいて第 2 の補正画像を生成する。ステップ S750 において、評価部 440 は、ステップ S740 において生成された第 2 の補正画像を評価する。

30

【 0 0 5 7 】

ステップ S760 において、合成部 450 は、ステップ S720 において生成された第 1 の補正画像とステップ S740 において生成された第 2 の補正画像とを合成する。合成部 450 は、ステップ S730、S750 における評価結果を用いて、第 1 の補正画像と第 2 の補正画像の各画素とを画素単位で合成する。合成部 450 は、合成画像を表す画像データを出力する。

【 0 0 5 8 】

以上のとおり、本実施形態の画像処理システム 300 は、第 1 の補正画像及び第 2 の補正画像を誤差情報に基づいて画素毎に評価し、その評価結果に基づいて合成画像を生成する構成を有する。画像処理システム 300 は、この構成により、第 1 実施形態の画像処理装置 100 と同様の効果を奏することが可能である。

40

【 0 0 5 9 】

また、画像処理システム 300 は、非特許文献 1、2 に記載された手法をベースとした補正方法に従って生成された補正画像を合成する構成を有する。上述のとおり、これらの手法は、特定の場において補正の精度が低下する場合があります、得意とする画像（あるいは不得意とする画像）がそれぞれ異なる。画像処理システム 300 は、このような手法に基づく補正画像を合成することにより、それぞれの手法の欠点を補うことが可能である。

【 0 0 6 0 】

[第 3 実施形態]

図 8 は、さらに別の実施形態に係る画像処理装置 800 の構成を示すブロック図である

50

。画像処理装置 800 は、取得部 810 と、第 1 補正部 820 と、第 2 補正部 830 と、評価部 840 と、合成部 850 とを含む。

【0061】

画像処理装置 800 は、少なくとも評価部 840 の構成（換言すれば評価方法）が第 2 実施形態の画像処理装置 320 と異なる。画像処理装置 800 のその他の構成は、画像処理装置 320 と共通であってもよいが、観測画像の具体的な補正方法は画像処理装置 320 と相違してもよい。説明の便宜上、ここでは、画像処理装置 800 の各構成要素は、以下に詳細に説明される事項を除き、画像処理装置 320 の同名の構成要素と同様の構成及び機能を有するものとする。

【0062】

評価部 840 は、評価対象が評価部 340 と異なる。評価部 840 は、補正画像ではなく、観測画像を評価する。評価部 840 は、より詳細には、シーン判定部 841 と、基準値算出部 842 とを含む。

【0063】

シーン判定部 841 は、観測画像のシーンを画素毎に判定する。ここでいうシーンは、例えば、土地被覆の属性である。シーン判定部 841 は、リモートセンシングにおいて知られている指標を用いて各画素のシーンを判定することが可能である。このような指標としては、植生に関連する NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)、水域に関連する NDWI (Normalized Difference Water Index)、土壌に関連する NDSI (Normalized Difference Soil Index)、人工物（建造物等）に関連する NHFD (Non-Homogeneous Feature Difference) などが挙げられる。シーン判定部 841 は、観測画像の各画素を所定数のシーンのいずれかに分類する機能を有するともいえる。

【0064】

基準値算出部 842 は、補正画像の不確からしさを示す基準値を補正画像毎に算出する。ここにおいて、不確からしさとは、ある補正方法により補正された補正画像が特定のシーンに適合しない程度をいう。例えば、非特許文献 1、2 に記載された手法は、上述のとおり、特定のシーンにおいて補正の精度が低下する可能性があることが知られている。

【0065】

基準値算出部 842 は、第 1 補正部 820 及び第 2 補正部 830 の補正方法と各シーンとの適合性、いわば相性をあらかじめ記憶し、シーン判定部 841 により判定されたシーンに応じた基準値を算出する。基準値算出部 842 は、補正画像の画素毎に算出された基準値を合成部 850 に供給する。

【0066】

合成部 850 は、評価部 840 により算出された不確からしさの基準値に基づいて第 1 の補正画像と第 2 の補正画像とを合成する。例えば、合成部 850 は、シーン判定部 841 により判定されたシーンにより適合する補正方法を用いて補正された補正画像の重みが大きくなるように、各画素のスペクトル情報を重み付け加算する。

【0067】

合成部 850 は、重み付け加算によらずに第 1 の補正画像と第 2 の補正画像とを合成してもよい。例えば、合成部 850 は、第 1 の補正画像が適したシーンの画素に第 1 の補正画像の当該画素に対応する画素のスペクトル情報を割り当て、第 2 の補正画像が適したシーンの画素に第 2 の補正画像の当該画素に対応する画素のスペクトル情報を割り当てることによって合成画像を生成してもよい。

【0068】

以上のとおり、本実施形態の画像処理装置 800 は、観測画像を画素毎に評価し、その評価結果に基づいて合成画像を生成する構成を有する。画像処理装置 800 は、この構成により、第 1 実施形態の画像処理装置 100 と同様の効果を奏することが可能である。画像処理装置 800 は、不確からしさの基準値に基づいて補正画像を合成することにより、観測画像のシーンにより適合した合成画像を生成することが可能である。

【0069】

[第 4 実施形態]

図 9 は、さらに別の実施形態に係る画像処理装置 900 の構成を示すブロック図である。画像処理装置 900 は、取得部 910 と、第 1 補正部 920 と、第 2 補正部 930 と、評価部 940 と、合成部 950 とを含む。

【 0070 】

画像処理装置 900 は、少なくとも評価部 940 の構成が第 3 実施形態の画像処理装置 800 と異なる。画像処理装置 900 のその他の構成は、画像処理装置 800 と共通であってもよいが、観測画像の具体的な補正方法は画像処理装置 800 と相違してもよい。

【 0071 】

評価部 940 は、評価対象が評価部 840 と異なる。評価部 940 は、観測画像ではなく補正画像を評価する。評価部 940 は、より詳細には、不確からしさ判定部 941 と、基準値算出部 942 とを含む。

10

【 0072 】

不確からしさ判定部 941 は、推定された雲情報に基づいて第 1 の補正画像及び第 2 の補正画像の不確からしさを判定する。ここでいう雲情報は、雲の性状を表す情報である。雲情報は、例えば、雲スペクトル、雲厚又は雲成分に基づいて推定可能である。

【 0073 】

不確からしさ判定部 941 は、雲スペクトルの不確からしさと雲分布特徴の不確からしさの少なくともいずれかを判定する。不確からしさ判定部 941 は、雲スペクトルの不確からしさと雲分布特徴の不確からしさとを組み合わせて判定に用いてもよい。

20

【 0074 】

例えば、不確からしさ判定部 941 は、推定された雲スペクトルと既知の一般的な雲スペクトルとの誤差（差分）を画素毎に算出し、算出された誤差を不確からしさとして用いる。ここでいう誤差としては、SAM (Spectral Angle Mapper)、RMSE (Root Mean Squared Error)、誤差二乗和などを用いることができる。

【 0075 】

不確からしさ判定部 941 は、推定された雲スペクトルに所定の雲スペクトルのモデルをフィッティングしたときの誤差の大きさを不確からしさとして用いてもよい。例えば、雲スペクトルのモデルを、 p 個の変動パラメータ $X = [X_1, X_2, \dots, X_p]$ に依存するスペクトルのベクトル表記 $M(X)$ として表すこととする。このとき、不確からしさ判定部 941 は、推定された雲スペクトルと $M(X)$ との誤差が最も小さくなるような X を算出し、その最小の誤差を不確からしさとして用いる。

30

【 0076 】

雲スペクトルのモデルは、例えば、以下の (3) ~ (5) 式により表される。不確からしさ判定部 941 は、(3) ~ (5) 式のいずれを雲スペクトルのモデルとして用いてもよい。なお、ここにおいて、 $M(i, X)$ は、 $M(X)$ のバンド i における値を表す。また、 $I(i)$ は、大気圏外における太陽光の放射照度を表す。また、 (i) は、バンド i における空気分子の散乱による光学的厚さを表し、バンド i より一意的に求められる。

【 0077 】

【 数 2 】

$$\beta^M(\lambda_i, X) = X_1 I(\lambda_i) \lambda_i^{-X_2} \quad (3)$$

【 0078 】

【 数 3 】

$$\beta^M(\lambda_i, X) = X_1 I(\lambda_i) (1 - e^{-X_2 \lambda_i^{-X_3}}) \quad (4)$$

【 0079 】

40

【数4】

$$\beta^M(\lambda_i, X) = X_1 I(\lambda_i) (1 - e^{-(X_2 \lambda_i^{-X_3} + X_4 \tau(\lambda_i))}) \quad (5)$$

【0080】

また、不確からしさ判定部941は、雲の空間的分布に基づいて雲分布特徴の不確からしさを算出する。例えば、不確からしさ判定部941は、雲厚や雲成分に基づいて特定される雲の2次元的な分布に含まれる高周波成分（すなわち、雲厚や雲成分の急激な変化）の大きさを雲分布特徴の不確からしさとして用いることができる。不確からしさ判定部941は、エッジ検出などに用いられる一般的なフィルタ（ラプラシアンフィルタ等）によって雲分布特徴の不確からしさを算出可能である。

10

【0081】

一般に、雲の空間的な分布は、滑らかに変化する。したがって、補正画像により表される雲の空間的な分布が急激に変化することは、その分布が不自然であることを意味する。不確からしさ判定部941は、このような場合における雲分布特徴の不確からしさを大きくすることにより、より自然な画像の不確からしさが相対的に小さくなるようにしている。

【0082】

基準値算出部942は、不確からしさ判定部941により判定された第1の補正画像及び第2の補正画像の不確からしさに基づいて基準値を算出する。基準値算出部942による基準値の具体的な算出方法は、第3実施形態の基準値算出部842の算出方法と同様である。

20

【0083】

以上のとおり、本実施形態の画像処理装置900は、補正画像を画素毎に評価し、その評価結果に基づいて合成画像を生成する構成を有する。画像処理装置900は、この構成により、第1実施形態の画像処理装置100と同様の効果を奏することが可能である。画像処理装置900は、推定された雲情報に基づいて補正画像を合成することにより、補正後の画像をより自然な画像にすることが可能である。

【0084】

[変形例]

本開示は、上述された第1実施形態～第4実施形態に限定されない。本開示は、当業者が把握し得る変形又は応用を適用した形態を含み得る。例えば、本開示は、以下に記載される変形例を含む。また、本開示は、本明細書に記載された事項を必要に応じて適宜に組み合わせた形態を含み得る。例えば、特定の実施形態を用いて説明された事項は、矛盾を生じない範囲において、他の実施形態に対しても適用され得る。

30

【0085】

(変形例1)

本開示に係る評価は、複数の評価方法を組み合わせて実施されてもよい。例えば、画像処理装置320は、第2、3、4実施形態に記載されたそれぞれの方法で不確からしさを判定し、これらの判定結果を重み付け加算することによって合成画像を生成してもよい。

【0086】

(変形例2)

本開示に係る補正は、雲の補正に限定されない。本開示に係る補正は、例えば、観測画像における大気中の砂塵（黄砂など）、火山活動による噴煙、火災による煙などの補正に対しても、雲の補正と同様の要領で適用可能である。

40

【0087】

(変形例3)

本開示に係る画像処理装置の具体的なハードウェア構成は、さまざまなバリエーションが含まれ、特定の構成に限定されない。例えば、本開示に係る画像処理装置は、ソフトウェアを用いて実現されてもよく、複数のハードウェアを用いて各種処理を分担するように構成されてもよい。

50

【 0 0 8 8 】

図 1 0 は、本開示に係る画像処理装置を実現するコンピュータ装置 1 0 0 0 のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。コンピュータ装置 1 0 0 0 は、CPU (Central Processing Unit) 1 0 0 1 と、ROM (Read Only Memory) 1 0 0 2 と、RAM (Random Access Memory) 1 0 0 3 と、記憶装置 1 0 0 4 と、ドライブ装置 1 0 0 5 と、通信インタフェース 1 0 0 6 と、入出力インタフェース 1 0 0 7 とを含んで構成される。本開示に係る画像処理装置は、図 1 0 に示される構成 (又はその一部) によって実現され得る。

【 0 0 8 9 】

CPU 1 0 0 1 は、RAM 1 0 0 3 を用いてプログラム 1 0 0 8 を実行する。プログラム 1 0 0 8 は、ROM 1 0 0 2 に記憶されていてもよい。また、プログラム 1 0 0 8 は、メモリカード等の記録媒体 1 0 0 9 に記録され、ドライブ装置 1 0 0 5 によって読み出されてもよいし、外部装置からネットワーク 1 0 1 0 を介して送信されてもよい。通信インタフェース 1 0 0 6 は、ネットワーク 1 0 1 0 を介して外部装置とデータをやり取りする。入出力インタフェース 1 0 0 7 は、周辺機器 (入力装置、表示装置など) とデータをやり取りする。通信インタフェース 1 0 0 6 及び入出力インタフェース 1 0 0 7 は、データを取得又は出力するための構成要素として機能することができる。

【 0 0 9 0 】

なお、本開示に係る画像処理装置の構成要素は、単一の回路 (プロセッサ等) によって構成されてもよいし、複数の回路の組み合わせによって構成されてもよい。ここでいう回路 (circuitry) は、専用又は汎用のいずれであってもよい。例えば、本開示に係る画像処理装置は、一部が専用のプロセッサによって実現され、他の部分が汎用のプロセッサによって実現されてもよい。

【 0 0 9 1 】

上述された実施形態において単体の装置として説明された構成は、複数の装置に分散して設けられてもよい。例えば、画像処理装置 1 0 0 、 3 2 0 、 8 0 0 又は 9 0 0 は、クラウドコンピューティング技術などを用いて、複数のコンピュータ装置によって実現されてもよい。

【 0 0 9 2 】

以上、実施形態を参照して本願発明を説明したが、本願発明は上記実施形態に限定されるものではない。本願発明の構成や詳細には、本願発明の範囲内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

【 0 0 9 3 】

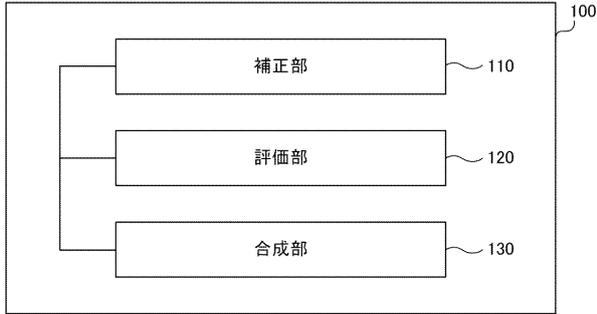
この出願は、2 0 1 6 年 8 月 2 6 日に出願された日本出願特願 2 0 1 6 - 1 6 5 8 1 9 を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

【 符号の説明 】

【 0 0 9 4 】

1 0 0 、 3 2 0 、 8 0 0 、 9 0 0	画像処理装置	
1 1 0	補正部	
1 2 0 、 8 4 0 、 9 4 0	評価部	40
1 3 0 、 4 5 0 、 8 5 0 、 9 5 0	合成部	
3 0 0	画像処理システム	
3 1 0	画像供給装置	
3 2 0	画像処理装置	
3 3 0	出力装置	
4 1 0 、 8 1 0 、 9 1 0	取得部	
4 2 0 、 8 2 0 、 9 2 0	第 1 補正部	
4 3 0 、 8 3 0 、 9 3 0	第 2 補正部	
4 4 0	評価部	
1 0 0 0	コンピュータ装置	50

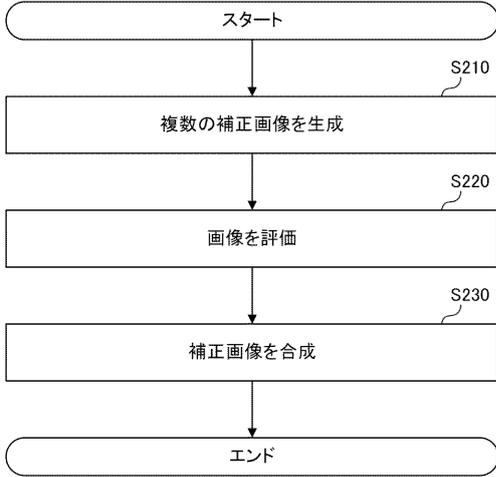
【図1】



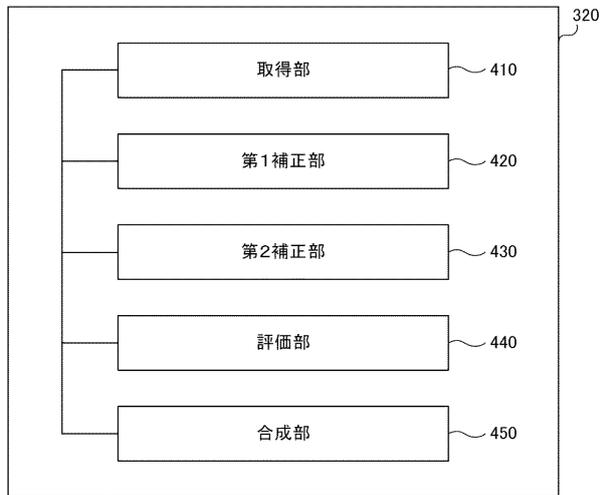
【図3】



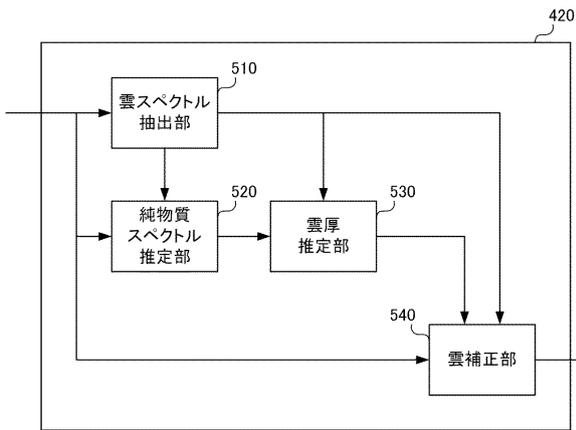
【図2】



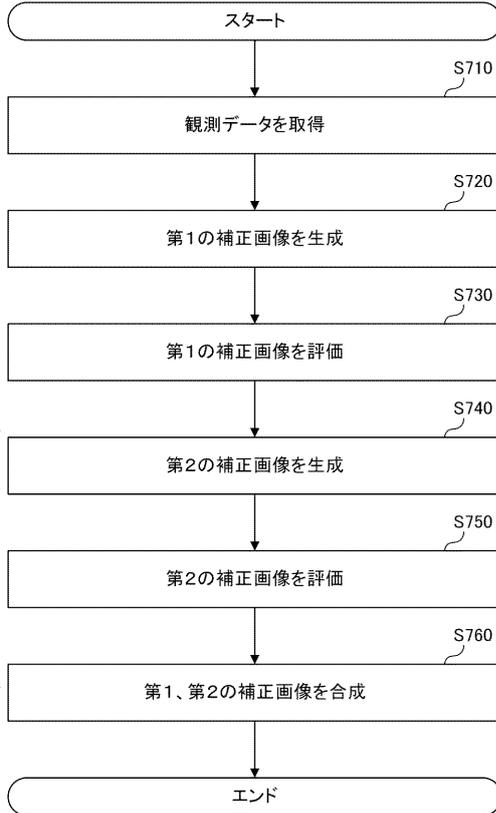
【図4】



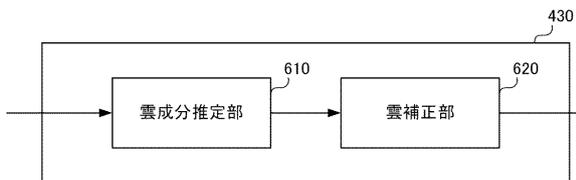
【図5】



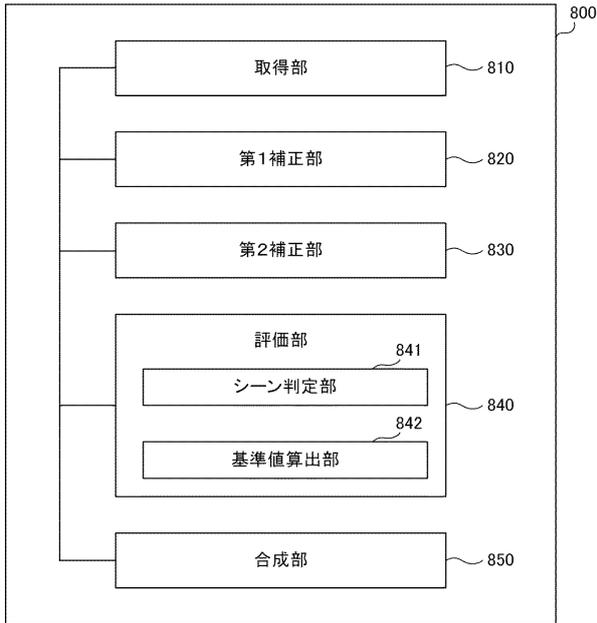
【図7】



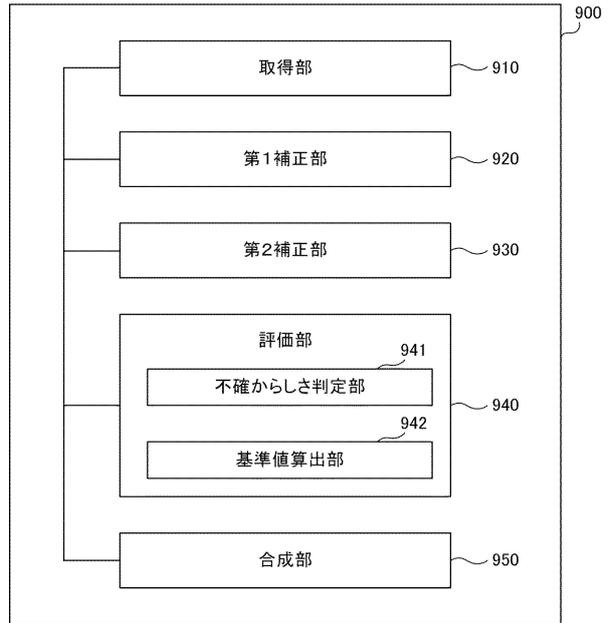
【図6】



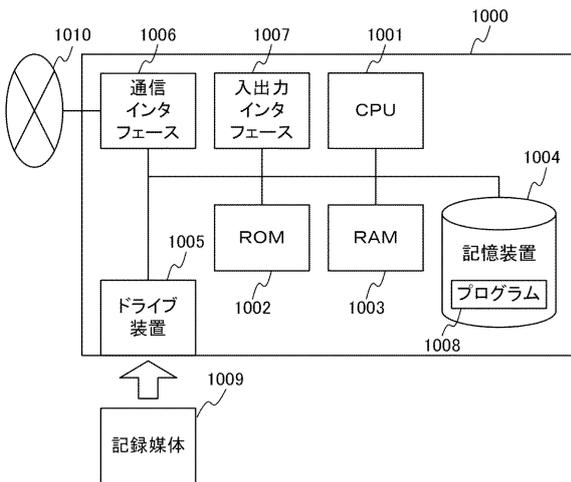
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2011-087087(JP, A)
国際公開第2011/122284(WO, A1)
特開2013-058859(JP, A)
特開2013-143033(JP, A)
田中 豪、外2名, “LUTと線形平滑化を用いたデータ依存型逆ハーフトーン処理”, 電子情報通信学会技術研究報告, 日本, 社団法人電子情報通信学会, 2009年02月26日, Vol.108, No.461, pp.31-36, 特に「3.提案手法」、図2

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06T 1/00
H04N 1/40 - 1/409