

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4981730号
(P4981730)

(45) 発行日 平成24年7月25日(2012.7.25)

(24) 登録日 平成24年4月27日(2012.4.27)

(51) Int.Cl.

F I

G 0 6 T 1/00 (2006.01)

G 0 6 T 1/00 4 1 0

請求項の数 18 (全 58 頁)

(21) 出願番号	特願2008-81805 (P2008-81805)	(73) 特許権者	304021417
(22) 出願日	平成20年3月26日(2008.3.26)		国立大学法人東京工業大学
(65) 公開番号	特開2009-237817 (P2009-237817A)		東京都目黒区大岡山2丁目12番1号
(43) 公開日	平成21年10月15日(2009.10.15)	(74) 代理人	100067736
審査請求日	平成23年3月24日(2011.3.24)		弁理士 小池 晃
(出願人による申告)平成19年度、独立行政法人情報通信研究機構「マルチスペクトル映像収集・伝送技術に関する研究開発」に係る委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願		(74) 代理人	100096677
			弁理士 伊賀 誠司
		(74) 代理人	100106781
			弁理士 藤井 稔也
		(74) 代理人	100113424
			弁理士 野口 信博
		(74) 代理人	100116126
			弁理士 山口 茂
		(74) 代理人	100150898
			弁理士 祐成 篤哉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分光画像生成装置及び分光画像生成方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

相異なる特性を有する複数の撮像素子の出力画像から分光画像を生成する分光画像生成装置であって、

波長方向のチャンネル数が少なくとも4以上で、かつ、第1の空間解像度と第1の波長解像度とを有する第1の撮像素子と、

波長方向のチャンネル数が少なくとも3以下で、かつ、前記第1の撮像素子の有する空間解像度よりも高い第2の空間解像度と、前記第1の撮像素子の有する第1の波長解像度よりも低い第2の波長解像度とを有し、縦方向にN1個、横方向にN2個の画素の画像データを含む撮像信号を出力する第2の撮像素子と、

前記第1の撮像素子から出力された撮像信号から縦方向にM1個、横方向にM2個、波長方向にL個の要素を有するスペクトルデータを生成するスペクトルデータ生成手段と、

前記第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データから分光画像を生成するための複数のマトリクスを前記スペクトルデータ生成手段により生成されたスペクトルデータから生成するマトリクス生成手段と、

前記マトリクス生成手段により生成された各マトリクスを前記第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれるN1×N2個の画素の画像データに作用させることによって、空間方向にN1×N2個の画素と、波長方向にL個の要素とを有する分光画像を生成する分光画像生成手段と、

前記分光画像生成手段により生成された分光画像を出力する分光画像出力手段と

10

20

を備えたことを特徴とする分光画像生成装置。

【請求項 2】

前記スペクトルデータ生成手段は、前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データを構成する要素毎に、当該画像データ内の要素毎に含まれる光の波長毎の強度分布を示すスペクトルデータを生成し、

前記マトリクス生成手段は、前記スペクトルデータ生成手段により生成された要素毎のスペクトルデータから、前記第 1 の撮像素子から出力された映像信号に含まれる画像データを構成する領域毎のマトリクスを生成し、

前記分光画像生成手段は、前記マトリクス生成手段により生成されたマトリクスのうち、前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の第 1 領域に対して生成されたマトリクスを前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれ、かつ、前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の第 1 領域に対応する第 3 領域の画像データに作用させて第 3 領域の第 1 の分光情報を算出する第 1 の分光情報算出手段と、

前記マトリクス生成手段により生成されたマトリクスのうち、前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の第 1 領域の周縁に存在する第 2 領域に対して生成されたマトリクスを前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれ、かつ、前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の第 1 領域に対応する第 3 領域に存在する画像データに作用させて第 3 領域に存在する第 2 の分光情報を算出する第 2 の分光情報算出手段と、

前記第 1 の分光情報算出手段により算出された第 1 の分光情報と、前記第 2 の分光情報算出手段により算出された第 2 の分光情報との加重平均を前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データの全領域に関して、領域毎に算出する加重平均算出手段と、

前記加重平均算出手段により算出された領域毎の分光情報の加重平均から前記空間方向に $N_1 \times N_2$ 個の画素と、波長方向に L 個の要素とを有する分光画像を生成する画像生成手段とを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の分光画像生成装置。

【請求項 3】

前記マトリクス生成手段は、

前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の第 1 領域の中心位置と、前記スペクトルデータの各要素の位置との間の距離に基づいて規定される、所定のデータとの差異が最小となるように定められたマトリクスを生成する対象領域マトリクス生成手段と、

前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の第 1 領域の周縁に存在する第 2 領域に含まれる各領域の中心位置と、前記スペクトルデータの各要素の位置との間の距離に基づいて規定される、所定のデータとの差異が最小となるように定められたマトリクスを生成する周縁領域マトリクス生成手段と

を含むことを特徴とする請求項 2 に記載の分光画像生成装置。

【請求項 4】

前記加重平均算出手段は、前記第 1 領域及び前記第 2 の領域が含まれる第 4 の領域内の要素数で規定される重み付け関数を用いて、前記第 1 の分光情報算出手段により算出された第 1 の分光情報と、前記第 2 の分光情報算出手段により算出された第 2 の分光情報との加重平均を、前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データに含まれる全領域に関して算出することを特徴とする請求項 2 に記載の分光画像生成装置。

【請求項 5】

前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の要素の数と、前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の領域の数と、前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の領域の数とは、略同一の数であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 の何れか 1 項に記載の分光画像生成装置。

【請求項 6】

相異なる特性を有する複数の撮像素子の出力画像から分光画像を生成する分光画像生成装置であって、

第 1 のフレームレートを有する撮像信号を出力し、かつ、波長方向のチャンネル数が少なくとも 4 以上で、かつ、第 1 の空間解像度と第 1 の波長解像度とを有する第 1 の撮像素子と、

前記第 1 のフレームレートよりも高い第 2 のフレームレートを有する撮像信号を出力し、波長方向のチャンネル数が少なくとも 3 以下で、かつ、前記第 1 の撮像素子の有する空間解像度よりも高い第 2 の空間解像度と、前記第 1 の撮像素子の有する第 1 の波長解像度よりも低い第 2 の波長解像度とを有し、縦方向に N_1 個、横方向に N_2 個の画素の画像データを含む撮像信号を出力する第 2 の撮像素子と、

10

前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号から縦方向に M_1 個、横方向に M_2 個、波長方向に L 個の要素を有するスペクトルデータを生成するスペクトルデータ生成手段と、

前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データから分光画像を生成するための複数のマトリクスを前記スペクトルデータ生成手段により生成されたスペクトルデータから生成するマトリクス生成手段と、

前記マトリクス生成手段により生成された各マトリクスを前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる $N_1 \times N_2$ 個の画素の画像データに作用させることによって、空間方向に $N_1 \times N_2$ 個の画素と、波長方向に L 個の要素とを有する分光画像を生成する分光画像生成手段と、

20

前記分光画像生成手段により生成された分光画像を出力する分光画像出力手段とを備えたことを特徴とする分光画像生成装置。

【請求項 7】

前記スペクトルデータ生成手段は、前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データを構成する要素毎に、当該画像データ内の要素毎に含まれる光の波長毎の強度分布を示す時系列スペクトルデータを生成し、

前記マトリクス生成手段は、前記スペクトルデータ生成手段により生成された時系列スペクトルデータから、前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データを構成する時空間領域毎のマトリクスを生成し、

前記分光画像生成手段は、

30

前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データの第 1 の時空間領域に対して生成されたマトリクスを、前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれ、かつ、前記第 1 の時空間領域に対応する第 3 の時空間領域の画像データに作用させて第 3 の時空間領域の第 1 の分光情報を算出する第 1 の分光情報算出手段と、

前記第 1 の時空間領域の周縁に存在する第 2 の時空間領域に対して生成されたマトリクスを前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれ、かつ、前記第 1 の時空間領域に対応する第 3 の時空間領域に存在する画像データに作用させて第 3 の時空間領域の第 2 の分光情報を算出する第 2 の分光情報算出手段と、

前記第 1 の分光情報算出手段により算出された第 1 の分光情報と、前記第 2 の分光情報算出手段により算出された第 2 の分光情報との加重平均を前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データに含まれる全時空間領域に関して、時空間領域毎に算出する加重平均算出手段と、

40

前記加重平均算出手段により算出された時空間領域毎の分光情報の加重平均から前記空間方向に $N_1 \times N_2$ 個の画素と、波長方向に L 個の要素とを有する分光画像を生成する画像生成手段とを含むことを特徴とする請求項 6 に記載の分光画像生成装置。

【請求項 8】

前記マトリクス生成手段は、

前記第 1 の時空間領域の中心位置と、前記時系列スペクトルデータの各要素の位置との間の距離に基づいて規定される、所定のデータとの差異が最小となるように定められたマトリクスを生成する対象領域マトリクス生成手段と、

50

前記第 1 の時空間領域の周縁の第 2 の時空間領域に含まれる各時空間領域の中心位置と、前記時系列スペクトルデータの各要素の位置との間の距離に基づいて規定される、所定の分光反射率のデータとの差異が最小となるように定められたマトリクスを生成する時空間領域マトリクス生成手段と

を含むことを特徴とする請求項 7 に記載の分光画像生成装置。

【請求項 9】

前記加重平均算出手段は、前記第 1 の分光情報算出手段により算出された第 1 の分光情報と、前記第 2 の分光情報算出手段により算出された第 2 の分光情報との加重平均を、前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データに含まれる全時空間領域に関して、時空間領域に含まれる要素毎に算出することを特徴とする請求項 7 に記載の分光画像生成装置。

10

【請求項 10】

相異なる特性を有する複数の撮像素子の出力画像から分光画像を生成する分光画像生成方法であって、

波長方向のチャンネル数が少なくとも 4 以上で、かつ、第 1 の空間解像度と第 1 の波長解像度とを有する第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データから、縦方向に M 1 個、横方向に M 2 個、波長方向に L 個の要素を有するスペクトルデータを生成するスペクトルデータ生成工程と、

波長方向のチャンネル数が少なくとも 3 以下で、かつ、前記第 1 の撮像素子の有する空間解像度よりも高い第 2 の空間解像度と、前記第 1 の撮像素子の有する第 1 の波長解像度よりも低い第 2 の波長解像度とを有する第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる縦方向に N 1 個、横方向に N 2 個の画素の画像データから分光画像を生成するための複数のマトリクスを前記スペクトルデータ生成工程により生成されたスペクトルデータから生成するマトリクス生成工程と、

20

前記マトリクス生成工程により生成された各マトリクスを前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる N 1 × N 2 個の画素の画像データに作用させることによって、空間方向に N 1 × N 2 個の画素と、波長方向に L 個の要素とを有する分光画像を生成する分光画像生成工程と、

前記分光画像生成工程により生成された分光画像を出力する分光画像出力工程とを含むことを特徴とする分光画像生成方法。

30

【請求項 11】

前記マトリクス生成工程では、前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データを構成する要素毎に、当該画像データ内の要素毎に含まれる光の波長毎の強度分布を示すスペクトルデータを生成し、

前記マトリクス生成工程では、前記スペクトルデータ生成工程により生成された要素毎のスペクトルデータから、前記第 1 の撮像素子から出力された映像信号に含まれる画像データを構成する領域毎のマトリクスを生成し、

前記分光画像生成工程は、

前記マトリクス生成工程により生成されたマトリクスのうち、前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の第 1 領域に対して生成されたマトリクスを前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれ、かつ、前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の第 1 領域に対応する第 3 領域の画像データに作用させて第 3 領域の第 1 の分光情報を算出する第 1 の分光情報算出工程と、

40

前記マトリクス生成工程により生成されたマトリクスのうち、前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の第 1 領域の周縁に存在する第 2 領域に対して生成されたマトリクスを前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれ、かつ、前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の第 1 領域に対応する第 3 領域に存在する画像データに作用させて第 3 領域に存在する第 2 の分光情報を算出する第 2 の分光情報算出工程と、

前記第 1 の分光情報算出工程により算出された第 1 の分光情報と、前記第 2 の分光情報

50

算出工程により算出された第2の分光情報との加重平均を前記第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データの全領域に関して、領域毎に算出する加重平均算出工程と、

前記加重平均算出工程により算出された領域毎の分光情報の加重平均から前記空間方向に $N1 \times N2$ 個の画素と、波長方向に L 個の要素とを有する分光画像を生成する画像生成工程とを含むことを特徴とする請求項10に記載の分光画像生成方法。

【請求項12】

前記マトリクス生成工程は、

前記第1の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の第1領域の中心位置と、前記スペクトルデータの各要素の位置との間の距離に基づいて規定される、所定のデータとの差異が最小となるように定められたマトリクスを生成する対象領域マトリクス生成工程と、

前記第1の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の第1領域の周縁に存在する第2領域に含まれる各領域の中心位置と、前記スペクトルデータの各要素の位置との間の距離に基づいて規定される、所定のデータとの差異が最小となるように定められたマトリクスを生成する周縁領域マトリクス生成工程と

を含むことを特徴とする請求項10に記載の分光画像生成方法。

【請求項13】

前記加重平均算出工程では、前記第1領域及び前記第2の領域が含まれる第4の領域内の要素数で規定される重み付け関数を用いて、前記第1の分光情報算出工程により算出された第1の分光情報と、前記第2の分光情報算出工程により算出された第2の分光情報との加重平均を、前記第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データに含まれる全領域に関して算出することを特徴とする請求項11に記載の分光画像生成方法。

【請求項14】

前記第1の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の要素の数と、前記第1の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の領域の数と、前記第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の領域の数とは、略同一の数であることを特徴とする請求項10乃至請求項13の何れか1項に記載の分光画像生成方法。

【請求項15】

相異なる特性を有する複数の撮像素子の出力画像から分光画像を生成する分光画像生成方法であって、

波長方向のチャンネル数が少なくとも4以上で、かつ、第1の空間解像度と第1の波長解像度とを有する第1の撮像素子から出力された第1のフレームレートを有する撮像信号から縦方向に $M1$ 個、横方向に $M2$ 個、波長方向に L 個の要素を有するスペクトルデータを生成するスペクトルデータ生成工程と、

波長方向のチャンネル数が少なくとも3以下で、かつ、前記第1の撮像素子の有する空間解像度よりも高い第2の空間解像度と、前記第1の撮像素子の有する第1の波長解像度よりも低い第2の波長解像度とを有する第2の撮像素子から出力された前記第1のフレームレートよりも高い第2のフレームレートを有する撮像信号に含まれる縦方向に $N1$ 個、横方向に $N2$ 個の画素の画像データから分光画像を生成するための複数のマトリクスを前記スペクトルデータ生成工程により生成されたスペクトルデータから生成するマトリクス生成工程と、

前記マトリクス生成工程により生成された各マトリクスを、前記第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる $N1 \times N2$ 個の画素の画像データに作用させることによって、空間方向に $N1 \times N2$ 個の画素と、波長方向に L 個の要素とを有する分光画像を生成する分光画像生成工程と、

前記分光画像生成工程により生成された分光画像を出力する分光画像出力工程とを含むことを特徴とする分光画像生成方法。

【請求項16】

前記マトリクス生成工程では、前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データを構成する要素毎に、当該画像データ内の要素毎に含まれる光の波長毎の強度分布を示す時系列スペクトルデータを生成し、

前記マトリクス生成工程では、前記スペクトルデータ生成工程により生成された時系列スペクトルデータから、前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データを構成する時空間領域毎のマトリクスを生成し、

前記分光画像生成工程は、

前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データの第 1 の時空間領域に対して生成されたマトリクスを、前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれ、かつ、前記第 1 の時空間領域に対応する第 3 の時空間領域の画像データに作用させて第 3 の時空間領域の第 1 の分光情報を算出する第 1 の分光情報算出工程と、

前記第 1 の時空間領域の周縁に存在する第 2 の時空間領域に対して生成されたマトリクスを前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれ、かつ、前記第 1 の時空間領域に対応する第 3 の時空間領域に存在する画像データに作用させて第 3 の時空間領域の第 2 の分光情報を算出する第 2 の分光情報算出工程と、

前記第 1 の分光情報算出工程により算出された第 1 の分光情報と、前記第 2 の分光情報算出手段により算出された第 2 の分光情報との加重平均を前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データに含まれる全時空間領域に関して、時空間領域毎に算出する加重平均算出工程と、

前記加重平均算出工程により算出された時空間領域毎の分光情報の加重平均から前記空間方向に $N_1 \times N_2$ 個の画素と、波長方向に L 個の要素とを有する分光画像を生成する画像生成工程を含むことを特徴とする請求項 15 に記載の分光画像生成方法。

【請求項 17】

前記マトリクス生成工程は、

前記第 1 の時空間領域の中心位置と、前記時系列スペクトルデータの各要素の位置との間の距離に基づいて規定される、所定のデータとの差異が最小となるように定められたマトリクスを生成する対象領域マトリクス生成工程と、

前記第 1 の時空間領域の周縁の第 2 の時空間領域に含まれる各時空間領域の中心位置と、前記時系列スペクトルデータの各要素の位置との間の距離に基づいて規定される、所定の分光反射率のデータとの差異が最小となるように定められたマトリクスを生成する時空間領域マトリクス生成工程と

を含むことを特徴とする請求項 16 に記載の分光画像生成方法。

【請求項 18】

前記加重平均算出工程では、前記第 1 の分光情報算出工程により算出された第 1 の分光情報と、前記第 2 の分光情報算出工程により算出された第 2 の分光情報との加重平均を、前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データに含まれる全時空間領域に関して、時空間領域に含まれる要素毎に算出することを特徴とする請求項 16 に記載の分光画像生成方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長解像度及び空間解像度の両方が高い分光画像を生成することを可能にする分光画像生成装置及び分光画像生成方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、分光画像を生成する分光画像生成装置としては、第 1 の空間解像度と第 1 の波長解像度とを有する第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データから生成されたスペクトルデータに基づいて生成されたマトリクスを、第 1 の撮像素子の有する空間解像度よりも高い第 2 の空間解像度と第 1 の撮像素子の有する第 1 の波長解像度よりも低い第 2 の波長解像度とを有する第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像

10

20

30

40

50

データに含まれる各要素に対して、前述した同一のマトリクスを乗算することによって、第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データから分光画像を生成する分光画像生成装置が知られている（特許文献1参照）。

【0003】

また、分光画像を生成する他の分光画像生成装置としては、第1の空間解像度と第1の波長解像度とを有する第1の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データから生成されたスペクトルデータをクラス分類した後、当該分類したクラス毎にマトリクスを生成し、第1の撮像素子の有する空間解像度よりも高い第2の空間解像度と第1の撮像素子の有する第1の波長解像度よりも低い第2の波長解像度とを有する第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データに含まれる各クラスに対して、前述した分類したクラス毎に生成したマトリクスを乗算することによって、第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データからクラス毎の複数の分光画像のデータを生成し、第1の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データから生成されたスペクトルデータのクラス分類に関するデータと、第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データとから生成した重み係数を用いて、前述したクラス毎の複数の分光画像のデータを加重平均して分光画像を取得する分光画像生成装置が知られている（非特許文献1参照）。

【0004】

更に、分光画像を生成する他の分光画像生成装置としては、第1の空間解像度と第1の波長解像度とを有する第1の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データから生成されたスペクトルデータに基づいて生成されたマトリクスを、第1の撮像素子の有する空間解像度よりも高い第2の空間解像度と第1の撮像素子の有する第1の波長解像度よりも低い第2の波長解像度とを有する第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データに含まれる各要素に対して、前述した同一のマトリクスを乗算することによって、第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データから第1の分光画像を生成すると共に、前述した第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データから画像データの空間的補間を行うための補間マトリクスを生成し、第1の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データから生成されたスペクトルデータに前述した補間マトリクスを乗算することによって第2の分光画像を生成し、前述した第1の分光画像のデータと前述した第2の分光画像のデータとを合成することによって、単一の分光画像を生成する分光画像生成装置が知られている（非特許文献2参照）。

【0005】

【特許文献1】特開2006-255324号公報

【非特許文献1】Yuri Murakami, Takashi Obi, Masahiro Yamaguchi, and Nagaaki Ohya ma, "Nonlinear estimation of spectral reflectance based on Gaussian mixture distribution for color image reproduction," Applied Optics, Optical Society of America, 10, August 2002, vol. 41, No. 23, p.4840-p.4847

【非特許文献2】Yuri Murakami, Kunihiro Ietomi, Masahiro Yamaguchi, and Nagaaki Ohyama, "Maximum a posteriori estimation of spectral reflectance from color image and multipoint spectral measurements," Applied Optics, Optical Society of America, 1, October 2007, vol.46, No.28, p.7068-p.7082

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかし、特許文献1に開示された分光画像生成装置では、空間解像度が高く、波長解像度の低い画像データから、信号処理によって分光画像を生成する際、画像全体に対して1つのマトリクスを使用するため、高い精度を得ることが出来なかった。

【0007】

一方、非特許文献1及び非特許文献2に開示された分光画像生成装置では、空間解像度が高く、波長解像度の低い画像データから、信号処理によって空間解像度が高く、波長解

10

20

30

40

50

像度の低い画像データを得ることは可能ではあるが、計算精度を高めようとする、スペクトルデータをクラス分類したりする処理や、空間的に画像データを補間したりする処理を実行しなければならないため、これらの処理を実行する場合には、計算量が膨大な量になってしまう可能性がある。

【 0 0 0 8 】

本発明者の分光画像に関する詳細なる考察によれば、例えば医療分野、リモートセンシング等の高い色再現性を要する分野で、分光画像生成装置全体の小型化を図る観点から、信号処理に要する計算量を抑制することが可能で、かつ、波長解像度及び空間解像度の両方が高い分光画像を生成することを可能にする分光画像生成装置及び分光画像生成方法に対する産業界の要望が高まっている。

10

【 0 0 0 9 】

そこで、本発明は、信号処理に要する計算量を抑制すると共に、波長解像度及び空間解像度の両方が高い分光画像を生成することを可能にする分光画像生成装置及び分光画像生成方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 0 】

本発明の骨子は、第 1 の空間解像度と第 1 の波長解像度とを有する第 1 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データから、第 1 の撮像素子の有する空間解像度よりも高い第 2 の空間解像度と第 1 の撮像素子の有する第 1 の波長解像度よりも低い第 2 の波長解像度とを有する第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データから分光画像を生成するための複数のマトリクスを生成し、第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データに対して生成された各マトリクスを作用させることによって、分光画像を生成する構成により、信号処理に要する計算量を抑制すると共に、波長解像度及び空間解像度の両方が高い分光画像を生成することを可能にするという本願に特有の顕著な効果を達成することにある。

20

【 0 0 1 1 】

なお、本明細書では、「分光情報」とは、「空間上のある一点、又は空間上の所定の領域から放射されて画像センサに入射する光の波長毎の強度のこと」を意味する。

【 0 0 1 2 】

さて、以上のような本発明の骨子は、具体的には以下のような手段を講じることにより達成される。

30

【 0 0 1 3 】

第 1 の発明は、相異なる特性を有する複数の撮像素子の出力画像から分光画像を生成する分光画像生成装置であって、波長方向のチャンネル数が少なくとも 4 以上で、かつ、第 1 の空間解像度と第 1 の波長解像度とを有する第 1 の撮像素子と、波長方向のチャンネル数が少なくとも 3 以下で、かつ、前記第 1 の撮像素子の有する空間解像度よりも高い第 2 の空間解像度と、前記第 1 の撮像素子の有する第 1 の波長解像度よりも低い第 2 の波長解像度とを有し、縦方向に N 1 個、横方向に N 2 個の画素の画像データを含む撮像信号を出力する第 2 の撮像素子と、前記第 1 の撮像素子から出力された撮像信号から縦方向に M 1 個、横方向に M 2 個、波長方向に L 個の要素を有するスペクトルデータを生成するスペクトルデータ生成手段と、前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データから分光画像を生成するための複数のマトリクスを前記スペクトルデータ生成手段により生成されたスペクトルデータから生成するマトリクス生成手段と、前記マトリクス生成手段により生成された各マトリクスを前記第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる N 1 × N 2 個の画素の画像データに作用させることによって、空間方向に N 1 × N 2 個の画素と、波長方向に L 個の要素とを有する分光画像を生成する分光画像生成手段と、前記分光画像生成手段により生成された分光画像を出力する分光画像出力手段とを備えたことを特徴とする。

40

【 0 0 1 4 】

このように、波長方向のチャンネル数が少なくとも 4 以上で、かつ、第 1 の空間解像度と

50

第1の波長解像度とを有する第1の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データから、縦方向にM1個、横方向にM2個、波長方向にL個の要素を有するスペクトルデータをスペクトルデータ生成手段により生成し、波長方向のチャンネル数が少なくとも3以下で、かつ、第1の撮像素子の有する空間解像度よりも高い第2の空間解像度と、第1の撮像素子の有する第1の波長解像度よりも低い第2の波長解像度とを有する第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる縦方向にN1個、横方向にN2個の画素の画像データから分光画像を生成するための複数のマトリクスをマトリクス生成手段によって前記スペクトルデータから生成し、生成された各マトリクスを第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる $N1 \times N2$ 個の画素の画像データに作用させることによって、空間方向に $N1 \times N2$ 個の画素と、波長方向にL個の要素とを有する分光画像を分光画像生成手段により生成し、生成された分光画像を分光画像出力手段によって出力するので、信号処理に要する計算量を抑制すると共に、波長解像度及び空間解像度の両方が高い分光画像を生成することが可能になる。

10

【0015】

第2の発明は、相異なる特性を有する複数の撮像素子の出力画像から分光画像を生成する分光画像生成装置であって、第1のフレームレートを有する撮像信号を出力し、かつ、波長方向のチャンネル数が少なくとも4以上で、かつ、第1の空間解像度と第1の波長解像度とを有する第1の撮像素子と、前記第1のフレームレートよりも高い第2のフレームレートを有する撮像信号を出力し、波長方向のチャンネル数が少なくとも3以下で、かつ、前記第1の撮像素子の有する空間解像度よりも高い第2の空間解像度と、前記第1の撮像素子の有する第1の波長解像度よりも低い第2の波長解像度とを有し、縦方向にN1個、横方向にN2個の画素の画像データを含む撮像信号を出力する第2の撮像素子と、前記第1の撮像素子から出力された撮像信号から縦方向にM1個、横方向にM2個、波長方向にL個の要素を有するスペクトルデータを生成するスペクトルデータ生成手段と、前記第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データから分光画像を生成するための複数のマトリクスを前記スペクトルデータ生成手段により生成されたスペクトルデータから生成するマトリクス生成手段と、前記マトリクス生成手段により生成された各マトリクスを前記第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる $N1 \times N2$ 個の画素の画像データに作用させることによって、空間方向に $N1 \times N2$ 個の画素と、波長方向にL個の要素とを有する分光画像を生成する分光画像生成手段と、前記分光画像生成手段により生成された分光画像を出力する分光画像出力手段とを備えたことを特徴とする。

20

30

【0016】

このように、波長方向のチャンネル数が少なくとも4以上で、かつ、第1の空間解像度と第1の波長解像度とを有する第1の撮像素子から出力された第1のフレームレートを有する撮像信号から縦方向にM1個、横方向にM2個、波長方向にL個の要素を有するスペクトルデータをスペクトルデータ生成手段により生成し、波長方向のチャンネル数が少なくとも3以下で、かつ、第1の撮像素子の有する空間解像度よりも高い第2の空間解像度と、第1の撮像素子の有する第1の波長解像度よりも低い第2の波長解像度とを有する第2の撮像素子から出力された第1のフレームレートよりも高い第2のフレームレートを有する撮像信号に含まれる縦方向にN1個、横方向にN2個の画素の画像データから分光画像を生成するための複数のマトリクスをマトリクス生成手段によって前記スペクトルデータから生成し、生成された各マトリクスを、第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる $N1 \times N2$ 個の画素の画像データに作用させることによって、空間方向に $N1 \times N2$ 個の画素と、波長方向にL個の要素とを有する分光画像を分光画像生成手段によって生成し、生成された分光画像を分光画像出力手段によって出力するので、信号処理に要する計算量を抑制すると共に、波長解像度及び空間解像度の両方が高い分光画像を生成することが可能になる。

40

【0017】

第3の発明は、相異なる特性を有する複数の撮像素子の出力画像から分光画像を生成する分光画像生成方法であって、波長方向のチャンネル数が少なくとも4以上で、かつ、第1

50

の空間解像度と第1の波長解像度とを有する第1の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データから、縦方向にM1個、横方向にM2個、波長方向にL個の要素を有するスペクトルデータを生成するスペクトルデータ生成工程と、波長方向のチャンネル数が少なくとも3以下で、かつ、前記第1の撮像素子の有する空間解像度よりも高い第2の空間解像度と、前記第1の撮像素子の有する第1の波長解像度よりも低い第2の波長解像度とを有する第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる縦方向にN1個、横方向にN2個の画素の画像データから分光画像を生成するための複数のマトリクスを前記スペクトルデータ生成工程により生成されたスペクトルデータから生成するマトリクス生成工程と、前記マトリクス生成工程により生成された各マトリクスを前記第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれるN1×N2個の画素の画像データに作用させることによって、空間方向にN1×N2個の画素と、波長方向にL個の要素とを有する分光画像を生成する分光画像生成工程と、前記分光画像生成工程により生成された分光画像を出力する分光画像出力工程とを含むことを特徴とする。

10

【0018】

このように、波長方向のチャンネル数が少なくとも4以上で、かつ、第1の空間解像度と第1の波長解像度とを有する第1の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データから、縦方向にM1個、横方向にM2個、波長方向にL個の要素を有するスペクトルデータを生成し、波長方向のチャンネル数が少なくとも3以下で、かつ、第1の撮像素子の有する空間解像度よりも高い第2の空間解像度と、第1の撮像素子の有する第1の波長解像度よりも低い第2の波長解像度とを有する第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる縦方向にN1個、横方向にN2個の画素の画像データから分光画像を生成するための複数のマトリクスを前記スペクトルデータから生成し、生成された各マトリクスを第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれるN1×N2個の画素の画像データに作用させることによって、空間方向にN1×N2個の画素と、波長方向にL個の要素とを有する分光画像を生成し、生成された分光画像を出力するので、信号処理に要する計算量を抑制すると共に、波長解像度及び空間解像度の両方が高い分光画像を生成することが可能になる。

20

【0019】

第4の発明は、相異なる特性を有する複数の撮像素子の出力画像から分光画像を生成する分光画像生成方法であって、波長方向のチャンネル数が少なくとも4以上で、かつ、第1の空間解像度と第1の波長解像度とを有する第1の撮像素子から出力された第1のフレームレートを有する撮像信号から縦方向にM1個、横方向にM2個、波長方向にL個の要素を有するスペクトルデータを生成するスペクトルデータ生成工程と、波長方向のチャンネル数が少なくとも3以下で、かつ、前記第1の撮像素子の有する空間解像度よりも高い第2の空間解像度と、前記第1の撮像素子の有する第1の波長解像度よりも低い第2の波長解像度とを有する第2の撮像素子から出力された前記第1のフレームレートよりも高い第2のフレームレートを有する撮像信号に含まれる縦方向にN1個、横方向にN2個の画素の画像データから分光画像を生成するための複数のマトリクスを前記スペクトルデータ生成工程により生成されたスペクトルデータから生成するマトリクス生成工程と、前記マトリクス生成工程により生成された各マトリクスを、前記第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれるN1×N2個の画素の画像データに作用させることによって、空間方向にN1×N2個の画素と、波長方向にL個の要素とを有する分光画像を生成する分光画像生成工程と、前記分光画像生成工程により生成された分光画像を出力する分光画像出力工程とを含むことを特徴とする。

30

40

【0020】

このように、波長方向のチャンネル数が少なくとも4以上で、かつ、第1の空間解像度と第1の波長解像度とを有する第1の撮像素子から出力された第1のフレームレートを有する撮像信号から縦方向にM1個、横方向にM2個、波長方向にL個の要素を有するスペクトルデータを生成し、波長方向のチャンネル数が少なくとも3以下で、かつ、第1の撮像素子の有する空間解像度よりも高い第2の空間解像度と、第1の撮像素子の有する第1の波

50

長解像度よりも低い第2の波長解像度とを有する第2の撮像素子から出力された第1のフレームレートよりも高い第2のフレームレートを有する撮像信号に含まれる縦方向に N_1 個、横方向に N_2 個の画素の画像データから分光画像を生成するための複数のマトリクスを前記スペクトルデータから生成し、生成された各マトリクスを、第2の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる $N_1 \times N_2$ 個の画素の画像データに作用させることによって、空間方向に $N_1 \times N_2$ 個の画素と、波長方向に L 個の要素とを有する分光画像を生成し、生成された分光画像を出力するので、信号処理に要する計算量を抑制すると共に、波長解像度及び空間解像度の両方が高い分光画像を生成することが可能になる。

【0021】

なお、ここでは、説明の簡略化を図る観点から、本発明のうち「分光画像生成装置」、及び「分光画像生成方法」として表現された発明のみに関して説明を行ったが、これに限らず、本発明の要旨を変更しない範囲内で「プログラム」及び「記録媒体」等の任意のカテゴリとして表現してもよいことは言うまでもない。

【0022】

また、前記発明を「画像処理プログラム」として表現する場合には、前記「方法」の発明の説明中における「分光画像生成方法であって、」という文言を「分光画像生成装置のコンピュータにインストールされた画像処理プログラムであって、前記分光画像生成装置のコンピュータに」という文言に、「行程」という文言を「手順」と言う文言に、「を含むことを特徴とする分光画像生成方法。」という文言を「を実行させるための画像処理プログラム。」という文言にそれぞれ読み替えるものとする。

【0023】

更に、前記発明を「記録媒体」として表現する場合には、前記「プログラム」の発明の説明中の「プログラム」という文言を「プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体」という文言に読み替えるものとする。

【発明の効果】

【0024】

本発明によれば、信号処理に要する計算量を抑制すると共に、波長解像度及び空間解像度の両方が高い分光画像を生成することを可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

(第1の実施の形態)

以下、本発明の最良の形態に関し、図面を参照して説明する。

【0026】

図1は、本発明の第1の実施の形態に係る分光画像生成装置1の構成の一例を示す機能ブロック図である。

【0027】

本実施の形態に係る分光画像生成装置1は、相異なる特性を有する複数の画像センサのうち一方の画像センサから出力された撮像信号に含まれる静止画の画像データから生成されたスペクトルデータから、予め定められた領域毎に相異なる複数のマトリクスのデータを生成し、生成した領域毎のマトリクスを他方の画像センサから出力された撮像信号に含まれる画像データの対応する領域に作用させることによって、静止画である分光画像を生成して、生成した分光画像を表示部1jの表示画面に表示する装置である。

【0028】

具体的には、本実施の形態に係る分光画像生成装置1は、図2に示すように、波長方向のチャンネル数が少なくとも4以上で、かつ、第1の空間解像度と第1の波長解像度とを有する第1の画像センサ1aから出力された撮像信号に含まれる画像データから生成された空間方向に $M_1 \times M_2$ 個の要素を、波長方向に L 個の要素をそれぞれ有するスペクトルデータと、波長方向のチャンネル数が少なくとも3以下で、かつ、前述した第1の画像センサ1aの有する空間解像度よりも高い第2の空間解像度と、前述した第1の画像センサ1aの有する第1の波長解像度よりも低い第2の波長解像度とを有する第2の画像センサ1b

から出力された $N_1 \times N_2$ 個の画素を有する 3 枚の静止画のデータとから、空間方向に $N_1 \times N_2$ 個の画素と、波長方向に L 個の要素とを有し、前述した第 1 の波長解像度と前述した第 2 の空間解像度とを有する、換言すれば波長解像度及び空間解像度の両方が高い静止画の分光画像を生成する装置である。

【0029】

本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 は、図 1 に示すように、第 1 の画像センサ 1 a と、第 2 の画像センサ 1 b と、スペクトルデータ生成部 1 c と、マトリクス生成部 1 d と、領域分割部 1 e と、領域データ記憶メモリ 1 f と、マトリクス乗算部 1 g と、加重平均算出部 1 h と、領域合成部 1 i と、表示部 1 j とを備えている。

【0030】

なお、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 は、製造時に図示しない内蔵メモリにプログラムが書き込まれた、又は記録媒体もしくは通信ネットワークを介してプログラムがインストールされたコンピュータによって実現される。

【0031】

また、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 を構成する各部は、ソフトウェアもしくはハードウェア又はハードウェアとソフトウェアとの組み合わせの何れから構成されていてもよいことは言うまでもない。

【0032】

第 1 の画像センサ 1 a は、波長方向のチャンネル数が少なくとも 4 以上で、かつ、第 1 の空間解像度と第 1 の波長解像度とを有する撮像素子であり、撮像した撮像信号をスペクトルデータ生成部 1 c に出力する。

【0033】

第 2 の画像センサ 1 b は、波長方向のチャンネル数が少なくとも 3 以下で、かつ、前述した第 1 の撮像素子の有する空間解像度よりも高い第 2 の空間解像度と、前述した第 1 の撮像素子の有する第 1 の波長解像度よりも低い第 2 の波長解像度とを有する撮像素子であり、撮像した撮像信号を領域分割部 1 e に出力する。

【0034】

スペクトルデータ生成部 1 c は、第 1 の画像センサ 1 a から出力された撮像信号を受け取り、受け取った撮像信号の要素毎に、撮像信号からスペクトルデータへと変換する処理を行うことにより、当該第 1 の画像センサ 1 a から出力された撮像信号の要素毎のスペクトルデータを生成して、生成したスペクトルデータをマトリクス生成部 1 d に出力する。

【0035】

具体的には、本実施の形態に係るスペクトルデータ生成部 1 c は、前述した図 2 に示すように、第 1 の画像センサ 1 a から受け取った撮像信号から縦方向に M_1 個、横方向に M_2 個、波長方向に L 個の要素を有するスペクトルデータを生成して、生成したスペクトルデータをマトリクス生成部 1 d に出力する。

【0036】

マトリクス生成部 1 d は、第 1 の画像センサ 1 a によって計測されたスペクトルデータの各要素を重み付けした結果、得られた特定の分光情報群、換言すればマトリクスを生成するためのサンプルデータを用いて、このサンプルデータに対する誤差を最小とするように、第 1 の画像センサ 1 a から出力された撮像信号内の画像データから生成されたスペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) 毎に対応付けられるマトリクスを生成し、生成したスペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) 毎のマトリクスのデータと、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) に関するデータとの組をマトリクス乗算部 1 g に出力する。

【0037】

具体的には、本実施の形態に係るマトリクス生成部 1 d は、スペクトルデータ生成部 1 c から出力された縦方向に M_1 個、横方向に M_2 個、波長方向に L 個の要素を有するスペクトルデータを受け取り、受け取ったスペクトルデータから下記の式 (1) によって、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) 毎のマトリクスを、全領域に関し

10

20

30

40

50

て生成し、生成した領域毎のマトリクスのデータと、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a , b) に関するデータとの組をマトリクス乗算部 1 g に出力する。

【 0 0 3 8 】

ただし、スペクトルデータの空間方向に定義される領域の数は、スペクトルデータの要素の数と同一とする。つまり、a は、 $0 < a \leq M_1$ を満たす自然数である。また、b は、 $0 < b \leq M_2$ を満たす自然数である。更に、 M_1 は、スペクトルデータ生成部 1 c によって生成されたスペクトルデータの空間方向の縦方向における要素の数を意味する。また、 M_2 は、スペクトルデータ生成部 1 c によって生成されたスペクトルデータの空間方向の横方向における要素の数を意味する。

【 0 0 3 9 】

10

【 数 1 】

$$A_{a,b} = SW_{a,b} S^T H^T (H S W_{a,b} S^T H^T + C)^{-1} \dots \text{式 (1)}$$

【 0 0 4 0 】

ここで、「 $A_{a,b}$ 」は、第 1 の画像センサ 1 a から出力された撮像信号に含まれる画像データから生成されたスペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a , b) 毎に定められたマトリクスを意味する。

20

【 0 0 4 1 】

また、「S」は、前述した M 個のスペクトルデータを列ベクトルとして配列した L 行 M 列の行列を意味する。

【 0 0 4 2 】

更に「H」は、オリジナルの分光情報 $f(i, j)$ と、それに対応する画像データ $g(i, j)$ と、画像データに含まれるノイズを示す 3 次元列ベクトル n との間の下記式 (2) で示す入出力関係を規定する 3 行 L 列の行列を意味する。

【 0 0 4 3 】

30

【 数 2 】

$$g(i, j) = H f(i, j) + n \dots \text{式 (2)}$$

【 0 0 4 4 】

40

また、 $W_{a,b}$ は、下記式 (3) で示される M 行 M 列の対角行列である。

【 0 0 4 5 】

【数 3】

$$W_{a,b} = \frac{1}{\sum_{p=1, q=1}^{M_1, M_2} w_{a,b;p,q}^2} \left(w_{a,b;1,1}^2, \dots, w_{a,b;M_1,M_2}^2 \right) \dots \text{式 (3)}$$

10

【0046】

ここで、 $d(a, b, p, q)$ は、第1の画像センサ1aから出力された撮像信号内の画像データから生成されたスペクトルデータの空間方向に定義される位置 (p, q) と、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) の中心位置との間のユークリッド距離を意味する。

【0047】

ただし、 a は、 $0 < a \leq M_1$ を満たす自然数である。また、 b は、 $0 < b \leq M_2$ を満たす自然数である。更に、 M_1 は、スペクトルデータ生成部1cによって生成されたスペクトルデータの空間方向の縦方向における要素の数を意味する。また、 M_2 は、スペクトルデータ生成部1cによって生成されたスペクトルデータの空間方向の横方向における要素の数を意味する。

20

【0048】

更に、「 $w_{a,b;p,q}$ 」は、第1の画像センサ1aから出力された撮像信号内の画像データから生成されたスペクトルデータの空間方向に定義される位置毎に個別に定められる重み付け係数であり、前述した $d(a, b, p, q)$ との間に下記式(4)で示される関係を有している。

【0049】

【数 4】

$$w_{a,b;p,q} = \rho^{d(a,b;p,q)} \dots \text{式 (4)}$$

30

【0050】

ここで、「 ρ 」は、重み付け係数の減少の程度を決定しているパラメータであり、例えば領域の大きさを $D_1 = D_2 = D$ としたとき、この領域の大きさを $D_1 = D_2 = D$ に応じて、 ρ の値を $4.5^D = 0.01$ として、換言すれば $4.5D$ 要素（つまり、 4.5 領域分）離れた点で、重み係数が 0.01 となるように設定することが本実施の形態では、より好ましい。

40

【0051】

なお、このように、重み付け係数を設定すると、 0.01 以下の重みが乗算されたスペクトルデータは、マトリクスの生成にほとんど寄与しないと考えることが出来るので、第1の画像センサ1aから出力された撮像信号内の画像データから生成されたスペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) に対応付けられるマトリクス $A_{a,b}$ は、この領域 (a, b) を中心とする範囲の $9D \times 9D$ 、換言すれば $9 \times 9 = 81$ 個のスペクトルデータを用いてマトリクスの生成を行っていることになる。

【0052】

50

ここで、重み付け係数は、例えば図3に示すように、第1の画像センサ1aから出力された撮像信号に含まれる画像データから生成されたスペクトルデータの空間方向に定義される位置 (p, q) と、第1の画像センサ1aから出力された撮像信号内の画像データから生成されたスペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) の中心位置との間のユークリッド距離 $d(a, b, p, q)$ が0であるとき、換言すれば第1の画像センサ1aから出力された撮像信号に含まれる画像データから生成されたスペクトルデータの空間方向に定義される位置 (p, q) が第1の画像センサ1aから出力された撮像信号内の画像データから生成されたスペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) の中心に存在する場合には、「1」になり、第1の画像センサ1aから出力された撮像信号に含まれる画像データから生成されたスペクトルデータの空間方向に定義される位置 (p, q) と、第1の画像センサ1aから出力された撮像信号に含まれる画像データから生成されたスペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) の中心との間のユークリッド距離 $d(a, b, p, q)$ が大きくなればなるほど値が小さくなるように設定されている。

【0053】

なお、本実施の形態に係る分光画像生成装置1に関しては、パラメータの設定手法、及び重み付けの計算手法は、本実施の形態に係る分光画像生成装置1で実行している手法に限定されないことは言うまでもない。

【0054】

「 S^T 」は、前述したM個のスペクトルデータを列ベクトルとして配列したL行M列の行列「 S 」の転置行列を意味する。

【0055】

「 H^T 」は、前述したオリジナルの分光情報 $f(i, j)$ と、それに対応する画像データ $g(i, j)$ と、画像データに含まれるノイズを示す3次元列ベクトル n との間の前述した式(2)で示す入出力関係を規定する3行L列の行列Hの転置行列を意味する。

【0056】

また、「 C 」は、第1の画像センサ1aから出力された撮像信号に含まれる画像データに含まれるノイズの共分散行列を意味する。

【0057】

領域分割部1eは、第2の画像センサ1bから出力された撮像信号を受け取り、当該撮像信号に含まれる画像データを複数の領域に分割して、分割した各画像データをマトリクス乗算部1gに出力する。

【0058】

具体的には、本実施の形態に係る領域分割部1eは、第2の画像センサ1bから受け取った撮像信号内の画像データを $(M_1 \times M_2)$ 個の複数の領域 $(,)$ に分割して、分割した各画像データと、画像データ上で定義された領域 $(,)$ に関するデータとの組をマトリクス乗算部1gに出力する。ここで、 $0 < M_1$ を満たす自然数である。また、 $0 < j \leq M_2$ を満たす自然数である。

【0059】

領域データ記憶メモリ1fは、操作者の操作によって入力されたスペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) に関するデータと、第2の画像センサ1bから出力された撮像信号に含まれる画像データ内で定義される領域 $(,)$ に関するデータとが各々対応して記憶された領域データ記憶テーブルを有している。

【0060】

マトリクス乗算部1gは、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) 毎のマトリクスと、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) に関するデータとの組をマトリクス生成部1dから受け取ると、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) に関するデータに対応付けられた画像データ上で定義された領域 $(,)$ に関するデータを領域データ記憶メモリ1fから読み出し、下記式(5)～式(13)に示すように、当該画像データの領域 $(,)$ に対応するベクトルデータの空間方

10

20

30

40

50

向に定義される領域 (a , b) に対して生成されたマトリクス $A_{a, b}$ と、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a , b) の周縁に存在する領域 (a - 1 , b + 1) に対して生成されたマトリクス $A_{a-1, b+1}$ と、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a , b) の周縁に存在する領域 (a , b + 1) に対して生成されたマトリクス $A_{a, b+1}$ と、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a , b) の周縁に存在する領域 (a + 1 , b + 1) に対して生成されたマトリクス $A_{a+1, b+1}$ と、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a , b) の周縁に存在する領域 (a - 1 , b) に対して生成されたマトリクス $A_{a-1, b}$ と、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a , b) の周縁に存在する領域 (a + 1 , b) に対して生成されたマトリクス $A_{a+1, b}$ と、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a , b) の周縁に存在する領域 (a - 1 , b - 1) に対して生成されたマトリクス $A_{a-1, b-1}$ と、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a , b) の周縁に存在する領域 (a , b - 1) に対して生成されたマトリクス $A_{a, b-1}$ と、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a , b) の周縁に存在する領域 (a + 1 , b - 1) の領域に対して生成されたマトリクス $A_{a+1, b-1}$ とを読み出した画像データ上で定義された領域 (,) に関するデータに対応する画像データの領域 (,) のデータに各々乗算して、複数の分光情報のデータを得た後、得られた分光情報のデータと、画像データの領域 (,) に関するデータとの組を加重平均算出部 1 h に出力する。

【 0 0 6 1 】

例えば、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 のマトリクス乗算部 1 g は、図 4 に示すように、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (3 , 3) と画像データの領域 (3 , 3) とが対応している場合には、マトリクス生成部 1 d から受け取ったスペクトルデータの空間方向に定義される領域 (3 , 3) に対して生成されたマトリクス $A_{3, 3}$ と、この領域 (3 , 3) の領域の周縁に存在する領域 (2 , 2) に対して生成されたマトリクス $A_{2, 2}$ と、領域 (3 , 3) の領域の周縁に存在する領域 (2 , 3) に対して生成されたマトリクス $A_{2, 3}$ と、領域 (3 , 3) の領域の周縁に存在する領域 (2 , 4) に対して生成されたマトリクス $A_{2, 4}$ と、領域 (3 , 3) の領域の周縁に存在する領域 (3 , 2) に対して生成されたマトリクス $A_{3, 2}$ と、領域 (3 , 3) の領域の周縁に存在する領域 (3 , 4) に対して生成されたマトリクス $A_{3, 4}$ と、領域 (3 , 3) の領域の周縁に存在する領域 (4 , 2) に対して生成されたマトリクス $A_{4, 2}$ と、領域 (3 , 3) の領域の周縁に存在する領域 (4 , 3) に対して生成されたマトリクス $A_{4, 3}$ と、領域 (3 , 3) の領域の周縁に存在する領域 (4 , 4) に対して生成されたマトリクス $A_{4, 4}$ とを画像データ上で定義された領域 (3 , 3) のデータにそれぞれ乗算して、得られた 9 個の分光情報のデータと、画像データ (3 , 3) に関するデータとの組を加重平均算出部 1 h に出力する。

【 0 0 6 2 】

【 数 5 】

$$\hat{f}_{a,b}(i,j) = A_{a,b}g(i,j) \dots \text{式 (5)}$$

【 0 0 6 3 】

10

20

30

40

【 数 6 】

$$\hat{\mathbf{f}}_{a-1,b+1}(i,j) = \mathbf{A}_{a-1,b+1} \mathbf{g}(i,j) \dots \text{式 (6)}$$

【 0 0 6 4 】

【 数 7 】

10

$$\hat{\mathbf{f}}_{a,b+1}(i,j) = \mathbf{A}_{a,b+1} \mathbf{g}(i,j) \dots \text{式 (7)}$$

【 0 0 6 5 】

【 数 8 】

20

$$\hat{\mathbf{f}}_{a+1,b+1}(i,j) = \mathbf{A}_{a+1,b+1} \mathbf{g}(i,j) \dots \text{式 (8)}$$

【 0 0 6 6 】

【 数 9 】

$$\hat{\mathbf{f}}_{a-1,b}(i,j) = \mathbf{A}_{a-1,b} \mathbf{g}(i,j) \dots \text{式 (9)}$$

30

【 0 0 6 7 】

【 数 1 0 】

$$\hat{\mathbf{f}}_{a+1,b}(i,j) = \mathbf{A}_{a+1,b} \mathbf{g}(i,j) \dots \text{式 (10)}$$

40

【 0 0 6 8 】

【数 1 1】

$$\hat{f}_{a-1,b-1}(i,j) = A_{a-1,b-1}g(i,j) \dots \text{式 (1 1)}$$

【0 0 6 9】

10

【数 1 2】

$$\hat{f}_{a,b-1}(i,j) = A_{a,b-1}g(i,j) \dots \text{式 (1 2)}$$

【0 0 7 0】

20

【数 1 3】

$$\hat{f}_{a+1,b-1}(i,j) = A_{a+1,b-1}g(i,j) \dots \text{式 (1 3)}$$

【0 0 7 1】

ここで、 $g(i, j)$ は、画像データ上で定義された領域(,)に含まれる画素の中で(i, j)で指定される画素を、 $A_{a, b}$ は、スペクトルデータの空間方向に定義される領域(a, b)に対して生成された L 行 3 列の行列を、 $\hat{f}_{a, b}(i, j)$ は、スペクトルデータの空間方向に定義される領域(a, b)に対して生成された L 行 3 列の行列 $A_{a, b}$ を画像データ上で定義された領域(,)に含まれる画素の中で(i, j)で指定される画素に対して作用させて得られ、かつ、 L 次元の列ベクトルで示される分光情報をそれぞれ意味する。ここで、 i は $0 < N_1$ を満たす自然数である。また、 j は $0 < N_2$ を満たす自然数である。

30

【0 0 7 2】

本実施の形態に係るマトリクス乗算部 1 g は、第 2 の画像センサ 1 b によって得られた画像データ上で定義される複数の領域のデータに相異なるマトリクスを作用させることによって得られる複数の分光画像の間で生じる境界を除去する観点から、画像データ上で定義された領域(,)に関するデータに対応付けられたスペクトルデータの空間方向に定義される領域(a, b)に対して生成されたマトリクス $A_{a, b}$ のみではなく、スペクトルデータの空間方向に定義される領域(a, b)の周縁に存在する 8 つの領域($a - 1, b + 1$)、($a, b + 1$)、($a + 1, b + 1$)、($a - 1, b$)、($a + 1, b$)、($a - 1, b - 1$)、($a, b - 1$)、及び($a + 1, b - 1$)を含めた 9 つの領域に対して生成されたマトリクス $A_{a-1, b+1}$ 、 $A_{a, b+1}$ 、 $A_{a+1, b+1}$ 、 $A_{a-1, b}$ 、 $A_{a, b}$ 、 $A_{a+1, b}$ 、 $A_{a-1, b-1}$ 、 $A_{a, b-1}$ 、 $A_{a+1, b-1}$ を画像データ上で定義された領域(,)に存在する画像データ $g(i, j)$ に対して、各々乗算して得られた分光情報 $\hat{f}_{a-1, b+1}(i, j)$ 、 $\hat{f}_{a, b+1}(i, j)$ 、 $\hat{f}_{a+1, b+1}(i, j)$ 、 $\hat{f}_{a-1, b}(i, j)$ 、 $\hat{f}_{a, b}(i, j)$ 、 $\hat{f}_{a+1, b}(i, j)$ 、 $\hat{f}_{a-1, b-1}(i, j)$ 、 $\hat{f}_{a, b-1}(i, j)$ 、 $\hat{f}_{a+1, b-1}(i, j)$ を得る。

40

50

j), $f^{a+1, b+1}(i, j)$ 、 $f^{a-1, b}(i, j)$ 、 $f^{a, b}(i, j)$ 、 $f^{a+1, b}(i, j)$ 、 $f^{a-1, b-1}(i, j)$ 、 $f^{a, b-1}(i, j)$ 、 $f^{a+1, b-1}(i, j)$ と画像データの領域(,)に関するデータとの組を加重平均算出部1 hに出力している。

【0073】

加重平均算出部1 hは、マトリクス乗算部1 gから出力された分光情報 $f^{a-1, b+1}(i, j)$ 、 $f^{a, b+1}(i, j)$ 、 $f^{a+1, b+1}(i, j)$ 、 $f^{a-1, b}(i, j)$ 、 $f^{a, b}(i, j)$ 、 $f^{a+1, b}(i, j)$ 、 $f^{a-1, b-1}(i, j)$ 、 $f^{a, b-1}(i, j)$ 、 $f^{a+1, b-1}(i, j)$ と画像データの領域(,)に関するデータとの組を受け取り、下記式(14)に示すように、これら9個のデータの加重平均を算出し、算出した画像データの領域(,)に含まれる要素 (i, j) 毎の分光情報の加重平均のデータと画像データの領域(,)に関するデータとの組を領域合成部1 iに出力する。

10

【0074】

例えば、本実施の形態に係る分光画像生成装置1の加重平均算出部1 hは、図4に示すように、スペクトルデータの空間方向に定義される領域(3, 3)と画像データの領域(3, 3)とが対応している場合には、マトリクス乗算部1 gから受け取ったスペクトルデータの空間方向に定義される領域(3, 3)に対して生成されたマトリクス $A_{3, 3}$ を画像データ上で定義された領域(3, 3)のデータに乗じて得られた分光情報、領域(3, 3)の領域の周縁に存在する領域(2, 2)に対して生成されたマトリクス $A_{2, 2}$ を画像データ上で定義された領域(3, 3)のデータに乗じて得られた分光情報、領域(3, 3)の領域の周縁に存在する領域(2, 3)に対して生成されたマトリクス $A_{2, 3}$ を画像データ上で定義された領域(3, 3)のデータに乗じて得られた分光情報、領域(3, 3)の領域の周縁に存在する領域(2, 4)に対して生成されたマトリクス $A_{2, 4}$ を画像データ上で定義された領域(3, 3)のデータに乗じて得られた分光情報、領域(3, 3)の領域の周縁に存在する領域(3, 2)に対して生成されたマトリクス $A_{3, 2}$ を画像データ上で定義された領域(3, 3)のデータに乗じて得られた分光情報、領域(3, 3)の領域の周縁に存在する領域(3, 4)に対して生成されたマトリクス $A_{3, 4}$ を画像データ上で定義された領域(3, 3)のデータに乗じて得られた分光情報、領域(3, 3)の領域の周縁に存在する領域(4, 2)に対して生成されたマトリクス $A_{4, 2}$ を画像データ上で定義された領域(3, 3)のデータに乗じてえられた分光情報、領域(3, 3)の領域の周縁に存在する領域(4, 3)に対して生成されたマトリクス $A_{4, 3}$ を画像データ上で定義された領域(3, 3)のデータに乗じて得られた分光情報、領域(3, 3)の領域の周縁に存在する領域(4, 4)に対して生成されたマトリクス $A_{4, 4}$ を画像データ上で定義された領域(3, 3)のデータに乗じて得られた分光情報、それぞれの分光情報のデータに対する重み付けを行って、これら9つの分光情報の加重平均を算出した後、分光情報の加重平均のデータと画像データの領域(3, 3)に関するデータとの組を領域合成部1 iに出力する。

20

30

【0075】

【数 1 4】

$$\begin{aligned} \hat{f}(i, j) = \sum_{a \pm 1, b \pm 1} u_{a,b}(i, j) \hat{f}_{a,b}(i, j) = & u_{a,b}(i, j) A_{a,b} g(i, j) + u_{a-1,b+1}(i, j) A_{a-1,b+1} g(i, j) + \\ & u_{a,b+1}(i, j) A_{a,b+1} g(i, j) + u_{a+1,b+1}(i, j) A_{a+1,b+1} g(i, j) + u_{a-1,b}(i, j) A_{a-1,b} g(i, j) + \\ & u_{a+1,b}(i, j) A_{a+1,b} g(i, j) + u_{a-1,b-1}(i, j) A_{a-1,b-1} g(i, j) + u_{a,b-1}(i, j) A_{a,b-1} g(i, j) + \\ & u_{a+1,b-1}(i, j) A_{a+1,b-1} g(i, j) \dots \text{式 (14)} \end{aligned}$$

10

【0 0 7 6】

ここで、 $u_{a,b}(i, j)$ は、分光情報 $f_{a,b}(i, j)$ に対する重み付け関数を意味し、例えば下記式 (15) で示す2次元の separable Hamming windowを用いることも出来る。

【0 0 7 7】

【数 1 5】

$$u_{a,b}(i, j) = v_1(i - aD_1) v_2(j - bD_2) \dots \text{式 (15)}$$

20

【0 0 7 8】

ここで $v_1(i)$ は、下記式 (16) で示される関数である。

【0 0 7 9】

【数 1 6】

$$v_1(i) = \begin{cases} \left[0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{\pi i}{D_1}\right) \right] & 0 \leq i \leq 2D_1 - 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \dots \text{式 (16)}$$

30

【0 0 8 0】

また、 $v_2(j)$ は、下記式 (17) で示される関数である。

【0 0 8 1】

【数 1 7】

$$v_2(j) = \begin{cases} \left[0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{\pi j}{D_2}\right) \right] & 0 \leq j \leq 2D_2 - 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \dots \text{式 (17)}$$

40

【0 0 8 2】

50

ここで、 D_1 は、領域の縦の要素数を意味し、 $D_1 = N_1 / M_1$ で定義される値である。ここで、「/」は、除算を意味する。

【0083】

また、 D_2 は、領域の横の要素数を意味し、 $D_2 = N_2 / M_2$ で定義される値である。ここで、「/」は、除算を意味する。

【0084】

例えば図5に示すような separable Hamming Window $1(i)$ ($D_x = 8$ の場合) では、1つの window 関数は、その中心から ± 8 目盛りで0となっているので、自分自身の領域(8メモリ分)を超えて ± 4 目盛りまで重み付け関数 $u_{a,b}(i, j)$ は値を有することになる。よって、当該領域で定義された重み付け関数 $u_{a,b}(i, j)$ は隣の領域の半分まで影響を及ぼすことになる。その結果、例えば図6及び図7で示す領域 (a, b) の左上の斜線の領域のデータに関して加重平均を算出する場合には、図6及び図7で示す領域 (a, b) の左上の斜線の領域のデータに関して加重平均を算出することは、図6及び図7に示すように、 (a, b) 、 $(a - 1, b - 1)$ 、 $(a, b - 1)$ 、 $(a - 1, b)$ の4つの領域に対応した結果のみを足し合わせることと同一になる。同様に、何れの要素に関して加重平均を算出する場合であっても、何れの要素に関して加重平均を算出することは、実質は4つの結果を足し合わせることと同一になる。

【0085】

領域合成部 1 i は、加重平均算出部 1 h から出力された算出済みの画像データの領域 (i, j) 毎の分光情報の加重平均のデータと、画像データの領域 (i, j) に関するデータとの組を受け取り、受け取った画像データの領域 (i, j) 毎の分光情報の加重平均のデータを、画像データ上で定義されたようにソートすることによって、画像データの領域 (i, j) 毎の分光情報の加重平均のデータの組み合わせからなる分光画像のデータを生成し、生成した分光画像のデータを表示部 1 j の表示画面に表示させる。

【0086】

表示部 1 j は、領域合成部 1 i で生成された分光画像が表示される図示しない表示画面を有している。

【0087】

次に、以上のように構成された分光画像生成装置 1 の実行する実行処理に関し、図面を参照して説明する。

【0088】

図8は、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 の実行する実行処理に関して説明するためのフローチャートである。

【0089】

なお、本実施の形態に係る分光画像生成装置では、第1の画像センサ 1 a から入力された画像データから、縦方向に M_1 個、横方向に M_2 個、波長方向に L 個の要素を有するスペクトルデータが生成され、かつ、第2の画像センサ 1 b から N_1 要素 \times N_2 要素の大きさを有する画像データ3枚が入力された場合に関して説明する。

【0090】

始めに、スペクトル生成部は、第1の画像センサ 1 a から受け取った撮像信号に含まれる画像データ内の画素毎にスペクトルデータへの変換を行い、縦方向に M_1 個、横方向に M_2 個、波長方向に L 個の要素を有するスペクトルデータを生成する(工程 A 1)。

【0091】

次に、マトリクス生成部 1 d は、スペクトルデータ生成部 1 c から出力された縦方向に M_1 個、横方向に M_2 個、波長方向に L 個の要素を有するスペクトルデータを受け取り、受け取ったスペクトルデータから下記の式(18)によって、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) 毎のマトリクスを、スペクトルデータの空間方向に定義される全ての領域に関して生成する(工程 A 2)。

【0092】

ただし、スペクトルデータの空間方向に定義される領域の数を、スペクトルデータの要素の数と同一としているため、 a は、 $0 < a \leq M_1$ を満たす自然数である。また、 b は、 $0 < b \leq M_2$ を満たす自然数である。更に、 M_1 は、スペクトルデータ生成部 1 c によって生成されたスペクトルデータの空間方向の縦方向における要素の数を意味する。また、 M_2 は、スペクトルデータ生成部 1 c によって生成されたスペクトルデータの空間方向の横方向における要素の数を意味する。

【 0 0 9 3 】

【 数 1 8 】

10

$$A_{a,b} = SW_{a,b} S^T H^T (H S W_{a,b} S^T H^T + C)^{-1} \dots \text{式 (18)}$$

【 0 0 9 4 】

ここで、「 $A_{a,b}$ 」は、第 1 の画像センサ 1 a から出力された撮像信号に含まれる画像データから生成されたスペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) 毎に定められたマトリクスを意味する。

【 0 0 9 5 】

20

また、「 M 」は、第 1 の画像センサ 1 a から出力された撮像信号に含まれる画像データから生成されたスペクトルデータの空間方向における要素の数、換言すれば $M_1 \times M_2$ で定まるスペクトルデータの数を意味する。

【 0 0 9 6 】

更に、「 S 」は、前述した M 個のスペクトルデータを列ベクトルとして配列した L 行 M 列の行列を意味する。

【 0 0 9 7 】

更に「 H 」は、オリジナルの分光情報 $f(i, j)$ と、それに対応する画像データ $g(i, j)$ と、画像データに含まれるノイズを示す 3 次元列ベクトル n との間の下記式 (19) で示す入出力関係を規定する 3 行 L 列の行列を意味する。

30

【 0 0 9 8 】

【 数 1 9 】

$$g(i, j) = H f(i, j) + n \dots \text{式 (19)}$$

【 0 0 9 9 】

また、 $W_{a,b}$ は、下記式 (20) で示される M 行 M 列の対角行列である。

40

【 0 1 0 0 】

【数 2 0】

$$w_{a,b} = \frac{1}{\sum_{p=1, q=1}^{M_1, M_2} w_{a,b; p, q}^2} \left(\begin{matrix} w_{a,b; 1, 1}^2 & & \\ & \ddots & \\ & & w_{a,b; M_1, M_2}^2 \end{matrix} \right) \dots \text{式 (20)}$$

10

【0101】

ここで、 $d(a, b, p, q)$ は、第1の画像センサ1aから出力された撮像信号内の画像データから生成されたスペクトルデータの空間方向に定義される位置 (p, q) と、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) の中心位置との間のユークリッド距離を意味する。

【0102】

ただし、 a は、 $0 < a \leq M_1$ を満たす自然数である。また、 b は、 $0 < b \leq M_2$ を満たす自然数である。更に、 M_1 は、スペクトルデータ生成部1cによって生成されたスペクトルデータの空間方向の縦方向における要素の数を意味する。また、 M_2 は、スペクトルデータ生成部1cによって生成されたスペクトルデータの空間方向の横方向における要素の数を意味する。

20

【0103】

更に、「 $w_{a, b, p, q}$ 」は、第1の画像センサ1aから出力された撮像信号内の画像データから生成されたスペクトルデータの空間方向に定義される位置毎に個別に定められる重み付け係数であり、前述した $d(a, b, p, q)$ との間に下記式(21)で示される関係を有している。

【0104】

【数 2 1】

$$w_{a,b;p,q} = \rho^{d(a,b;p,q)} \dots \text{式 (21)}$$

30

【0105】

工程A3では、領域分割部1eは、領域分割部1eは、第2の画像センサ1bから受け取った撮像信号内の画像データを $(M_1 \times M_2)$ 個の複数の領域 $(,)$ に分割する。

ここで、 a は $0 < a \leq M_1$ を満たす自然数である。また、 b は $0 < b \leq M_2$ を満たす自然数である。

40

【0106】

工程A4では、マトリクス乗算部1gは、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) 毎のマトリクスと、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) に関するデータとの組をマトリクス生成部1dから受け取ると、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) に関するデータに対応付けられた画像データ上で定義された領域 $(,)$ に関するデータを領域データ記憶メモリ1fから読み出し、下記式(22)～式(30)に示すように、当該画像データの領域 $(,)$ に対応するベクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) に対して生成されたマトリクス $A_{a, b}$ と、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a, b) の周縁に存在する領域 $(a$

50

- 1 , b + 1) に対して生成されたマトリクス $A_{a-1, b+1}$ と、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a , b) の周縁に存在する領域 (a , b + 1) に対して生成されたマトリクス $A_{a, b+1}$ と、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a , b) の周縁に存在する領域 (a + 1 , b + 1) に対して生成されたマトリクス $A_{a+1, b+1}$ と、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a , b) の周縁に存在する領域 (a - 1 , b) に対して生成されたマトリクス $A_{a-1, b}$ と、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a , b) の周縁に存在する領域 (a + 1 , b) に対して生成されたマトリクス $A_{a+1, b}$ と、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a , b) の周縁に存在する領域 (a - 1 , b - 1) に対して生成されたマトリクス $A_{a-1, b-1}$ と、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a , b) の周縁に存在する領域 (a , b - 1) に対して生成されたマトリクス $A_{a, b-1}$ と、スペクトルデータの空間方向に定義される領域 (a , b) の周縁に存在する領域 (a + 1 , b - 1) の領域に対して生成されたマトリクス $A_{a+1, b-1}$ とを読み出した画像データ上で定義された領域 (,) に関するデータに対応する画像データの領域 (,) のデータに各々乗算して、複数の分光情報のデータを得る。

10

【 0 1 0 7 】

【 数 2 2 】

$$\hat{f}_{a,b}(i,j) = A_{a,b}g(i,j) \dots \text{式 (22)}$$

20

【 0 1 0 8 】

【 数 2 3 】

$$\hat{f}_{a-1,b+1}(i,j) = A_{a-1,b+1}g(i,j) \dots \text{式 (23)}$$

30

【 0 1 0 9 】

【 数 2 4 】

$$\hat{f}_{a,b+1}(i,j) = A_{a,b+1}g(i,j) \dots \text{式 (24)}$$

【 0 1 1 0 】

【 数 2 5 】

40

$$\hat{f}_{a+1,b+1}(i,j) = A_{a+1,b+1}g(i,j) \dots \text{式 (25)}$$

【 0 1 1 1 】

【数 2 6】

$$\hat{f}_{a-1,b}(i,j) = A_{a-1,b}g(i,j) \dots \text{式 (2 6)}$$

【0 1 1 2】

【数 2 7】

10

$$\hat{f}_{a+1,b}(i,j) = A_{a+1,b}g(i,j) \dots \text{式 (2 7)}$$

【0 1 1 3】

【数 2 8】

20

$$\hat{f}_{a-1,b-1}(i,j) = A_{a-1,b-1}g(i,j) \dots \text{式 (2 8)}$$

【0 1 1 4】

【数 2 9】

30

$$\hat{f}_{a,b-1}(i,j) = A_{a,b-1}g(i,j) \dots \text{式 (2 9)}$$

【0 1 1 5】

【数 3 0】

$$\hat{f}_{a+1,b-1}(i,j) = A_{a+1,b-1}g(i,j) \dots \text{式 (3 0)}$$

【0 1 1 6】

40

工程 A 5 では、加重平均算出部 1 h は、マトリクス乗算部 1 g から出力された分光情報 $f^{a-1,b+1}(i,j)$ 、 $f^{a,b+1}(i,j)$ 、 $f^{a+1,b+1}(i,j)$ 、 $f^{a-1,b}(i,j)$ 、 $f^{a,b}(i,j)$ 、 $f^{a+1,b}(i,j)$ 、 $f^{a-1,b-1}(i,j)$ 、 $f^{a,b-1}(i,j)$ 、 $f^{a+1,b-1}(i,j)$ と画像データの領域 (i,j) に関するデータとの組を受け取り、下記式 (3 1) に示すように、これら 9 個のデータの加重平均を算出する。

【0 1 1 7】

【数 3 1】

$$\begin{aligned} \hat{f}(i, j) = \sum_{a \pm 1, b \pm 1} u_{a,b}(i, j) \hat{f}_{a,b}(i, j) = & u_{a,b}(i, j) A_{a,b} g(i, j) + u_{a-1,b+1}(i, j) A_{a-1,b+1} g(i, j) + \\ & u_{a,b+1}(i, j) A_{a,b+1} g(i, j) + u_{a+1,b+1}(i, j) A_{a+1,b+1} g(i, j) + u_{a-1,b}(i, j) A_{a-1,b} g(i, j) + \\ & u_{a+1,b}(i, j) A_{a+1,b} g(i, j) + u_{a-1,b-1}(i, j) A_{a-1,b-1} g(i, j) + u_{a,b-1}(i, j) A_{a,b-1} g(i, j) + \\ & u_{a+1,b-1}(i, j) A_{a+1,b-1} g(i, j) \dots \text{式 (3 1)} \end{aligned}$$

【0 1 1 8】

ここで、 $u_{a,b}(i, j)$ は、分光情報 $f_{a,b}(i, j)$ に対する重み付け関数 10
を意味し、例えば下記式 (3 2) で示す2次元の separable Hamming w
indowを用いることも出来る。

【0 1 1 9】

【数 3 2】

$$u_{a,b}(i, j) = v_1(i - aD_1) v_2(j - bD_2) \dots \text{式 (3 2)}$$

20

【0 1 2 0】

ここで $v_1(i)$ は、下記式 (3 3) で示される関数である。

【0 1 2 1】

【数 3 3】

$$v_1(i) = \begin{cases} \left[0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{\pi i}{D_1}\right) \right] & 0 \leq i \leq 2D_1 - 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \dots \text{式 (3 3)}$$

30

【0 1 2 2】

また、 $v_2(j)$ は、下記式 (3 4) で示される関数である。

【0 1 2 3】

【数 3 4】

$$v_2(j) = \begin{cases} \left[0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{\pi j}{D_2}\right) \right] & 0 \leq j \leq 2D_2 - 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \dots \text{式 (3 4)}$$

40

【0 1 2 4】

ここで、 D_1 は、領域の縦の要素数を意味し、 $D_1 = N_1 / M_1$ で定義される値である。
ここで、「/」は、除算を意味する。

【0 1 2 5】

50

また、 D_2 は、領域の横の要素数を意味し、 $D_2 = N_2 / M_2$ で定義される値である。
ここで、「/」は、除算を意味する。

【0126】

工程 A 6 では、領域合成部 1 i は、加重平均算出部 1 h から出力された算出済みの画像データの領域 (,) 毎の分光情報の加重平均のデータと、画像データの領域 (,) に関するデータとの組を受け取り、受け取った画像データの領域 (,) 毎の分光情報の加重平均のデータを、画像データ上で定義されたようにソートすることによって、画像データの領域 (,) 毎の分光情報の加重平均のデータの組み合わせからなる分光画像のデータを生成する。

【0127】

これにより、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 によれば、画素数、換言すれば空間解像度は、第 2 の画像センサ 1 b から出力された撮像信号に含まれる画像データと同一の空間解像度で、かつ、波長方向の要素数、換言すれば波長解像度は、第 1 の画像センサ 1 a から出力された撮像信号に含まれる画像データと同一の波長解像度であるような分光画像、すなわち波長解像度及び空間解像度の両方が高い分光画像が生成される。

【0128】

工程 A 7 では、領域合成部 1 i は、生成した分光画像のデータを表示部 1 j の表示画面に表示させる。

【0129】

以上のような一連の処理により、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 は、全ての実行処理を終了する。

【0130】

(計算量及び計算精度に関する検証)

本発明者らは、本実施の形態に係る分光画像装置 1 と、従来から知られている 3 つの手法を用いた分光画像生成装置とに関してモデルを設定し、当該モデルを用いた本実施の形態に係る分光画像生成装置と、従来から知られている 3 つの手法を用いた分光画像生成装置とに関するシミュレーションを行い、本実施の形態に係る分光画像生成装置と従来から知られている 3 つの手法を用いた分光画像生成装置との精度と計算量とに対して検証を行った。

【0131】

まず、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 に対する比較例となる各分光画像生成装置に関して簡単に説明する。

【0132】

(比較例 1)

本実施の形態の分光画像生成装置に対する第 1 の比較例の分光画像生成装置は、図 9 に示すように第 1 の空間解像度と第 1 の波長解像度とを有する第 1 の画像センサ 1 a と、波長方向のチャネル数が少なくとも 3 以下で、かつ、第 1 の画像センサ 1 a の有する空間解像度よりも高い第 2 の空間解像度と、第 1 の画像センサ 1 a の有する第 1 の波長解像度よりも低い第 2 の波長解像度とを有する第 2 の画像センサ 1 b と、第 1 の画像センサ 1 a から出力された撮像信号に含まれる画像データから生成されたスペクトルデータに基づいて、特定のサンプルデータに対して、誤差を最小とするように下記式 (35) に示すような周知の Wiener 推定マトリクスを生成するマトリクス生成部 1 d' と、第 1 の画像センサ 1 a の有する空間解像度よりも高い第 2 の空間解像度と第 1 の画像センサ 1 a の有する第 1 の波長解像度よりも低い第 2 の波長解像度とを有する第 2 の画像センサ 1 b から出力された撮像信号に含まれる画像データに含まれる各画素に対して、前述した同一の周知の Wiener 推定マトリクスを乗算することによって、第 2 の撮像素子から出力された撮像信号に含まれる画像データから分光画像を生成するマトリクス乗算部 1 g' と、マトリクス乗算部 1 g' により生成された分光画像を表示する表示部 1 j' とを備えた分光画像生成装置である。なお、比較例 1 の分光画像生成装置は、前述した特許文献 1 により詳細に記載されている。

10

20

30

40

50

【 0 1 3 3 】

【 数 3 5 】

$$\mathbf{A}_W = \frac{1}{M} \mathbf{S} \mathbf{S}^T \mathbf{H}^T \left(\frac{1}{M} \mathbf{H} \mathbf{S} \mathbf{S}^T \mathbf{H}^T + \mathbf{C} \right)^{-1} \dots \text{式 (35)}$$

【 0 1 3 4 】

10

ここで、「 \mathbf{A}_W 」は、特定のサンプルデータに対して、誤差を最小とするような Wiener 推定マトリクスを意味する。

【 0 1 3 5 】

また、「 M 」は、第 1 の画像センサ 1 a から出力された撮像信号に含まれる画像データから生成されたスペクトルデータの空間方向における要素の数、換言すれば $M_1 \times M_2$ で定まるスペクトルデータの数を意味する。

【 0 1 3 6 】

更に、「 \mathbf{S} 」は、前述した M 個のスペクトルデータを列ベクトルとして配列した L 行 M 列の行列を意味する。

【 0 1 3 7 】

20

更に「 \mathbf{H} 」は、オリジナルの分光情報 $f(i, j)$ と、それに対応する第 2 の画像センサ 1 b から出力された撮像信号に含まれる画像データ $g(i, j)$ と、画像データに含まれるノイズを示す 3 次元列ベクトル \mathbf{n} との間の下記式 (36) で示す入出力関係を規定する 3 行 L 列の行列を意味する。

【 0 1 3 8 】

【 数 3 6 】

$$g(i, j) = \mathbf{H} f(i, j) + \mathbf{n} \dots \text{式 (36)}$$

30

【 0 1 3 9 】

「 \mathbf{S}^T 」は、前述した M 個のスペクトルデータを列ベクトルとして配列した L 行 M 列の行列「 \mathbf{S} 」の転置行列を意味する。

【 0 1 4 0 】

「 \mathbf{H}^T 」は、前述したオリジナルの分光情報 $f(i, j)$ と、それに対応する第 2 の画像センサ 1 b から出力された撮像信号に含まれる画像データ $g(i, j)$ と、画像データに含まれるノイズを示す 3 次元列ベクトル \mathbf{n} との間の上記式 (36) で示す入出力関係を規定する 3 行 L 列の行列 \mathbf{H} の転置行列を意味する。

40

【 0 1 4 1 】

また、「 \mathbf{C} 」は、第 2 の画像センサ 1 b から出力された撮像信号に含まれる画像データに含まれるノイズの共分散行列を意味する。

【 0 1 4 2 】

(比較例 2)

本実施の形態の分光画像生成装置に対する第 2 の比較例の分光画像生成装置は、図 10 に示すように第 1 の空間解像度と第 1 の波長解像度とを有する第 1 の画像センサ 1 a と、波長方向のチャネル数が少なくとも 3 以下で、かつ、第 1 の撮像素子の有する空間解像度

50

よりも高い第2の空間解像度と、第1の撮像素子の有する第1の波長解像度よりも低い第2の波長解像度とを有する第2の画像センサ1bと、第1の画像センサ1aから出力された撮像信号に含まれる画像データを複数のクラスにクラス分類するクラス分類部1nと、クラス分類部1nによってクラス分類されたクラス毎にWiener推定マトリクス A_k を生成するマトリクス生成部1d'''と、クラス毎に生成されたWiener推定マトリクス A_k を第2の画像センサ1bから出力された撮像信号に含まれる画像データに対して下記式(37)に示すように乗算するマトリクス乗算部1g'''と、第2の画像センサ1bから出力された撮像信号に含まれる画像データと、クラス分類部1nによりクラス分類されたクラス分類結果とから分光情報の確率密度を示す式(38)に示すような混合ガウス分布 $p(f)$ に基づいて、下記式(39)~式(42)に示すように、重み付け係数 m_k を算出する重み係数生成部1oと、マトリクス乗算部1g'''により得られた分光情報と、重み係数生成部1oから出力された重み付け係数 m_k とを用いて、下記式(43)に示すように各クラスの分光情報を加重平均して、分光画像を生成する加重平均算出部1h'''と、加重平均算出部1h'''により算出された分光画像を表示する表示部1j'''とを備えた分光画像生成装置である。なお、比較例2の分光画像生成装置は、前述した非特許文献1により詳細に記載されている。

10

【0143】

【数37】

20

$$\hat{f}_k(i, j) = A_k g(i, j) \dots \text{式 (37)}$$

【0144】

【数38】

$$P(f) = \sum_{k=1}^K w_k C_k \exp \left[-\frac{1}{2} (f - \bar{f}_k)^T \Sigma_k^{-1} (f - \bar{f}_k) \right] \dots \text{式 (38)}$$

30

【0145】

【数 3 9】

$$m_k = \frac{B_k}{\sum_{j=1}^K B_j} \dots \text{式 (39)}$$

ただし

$$B_k = w_k C_k \exp\left\{-\frac{1}{2} D_k\right\} \sqrt{|\Sigma_k^*|} \dots \text{式 (40)}$$

10

$$D_k = [\mathbf{g}(i, j) - \mathbf{H}\bar{\mathbf{f}}_k]^T (\mathbf{H}\Sigma_k \mathbf{H}^T + \mathbf{C})^{-1} [\mathbf{g}(i, j) - \mathbf{H}\bar{\mathbf{f}}_k] \dots \text{式 (41)}$$

$$\Sigma_k^* = [\mathbf{I} - \Sigma_k \mathbf{H}^T (\mathbf{H}\Sigma_k \mathbf{H}^T + \mathbf{C})^{-1} \mathbf{H}] \Sigma_k \dots \text{式 (42)}$$

20

【0 1 4 6】

【数 4 0】

$$\hat{\mathbf{f}}(i, j) = \sum_{k=1}^K m_k \hat{\mathbf{f}}_k(i, j) \dots \text{式 (43)}$$

30

【0 1 4 7】

(比較例 3)

本実施の形態の分光画像生成装置に対する第 3 の比較例の分光画像生成装置は、図 1 1 に示すように第 1 の空間解像度と第 1 の波長解像度とを有する第 1 の画像センサ 1 a と、波長方向のチャネル数が少なくとも 3 以下で、かつ、第 1 の撮像素子の有する空間解像度よりも高い第 2 の空間解像度と、第 1 の撮像素子の有する第 1 の波長解像度よりも低い第 2 の波長解像度とを有する第 2 の画像センサ 1 b と、第 1 の画像センサ 1 a から出力された撮像信号に含まれる画像データから生成されたスペクトルデータに基づいて、特定のサンプルデータに対して、誤差を最小とするように下記式 (44) に示すような周知の Wiener 推定マトリクスを生成するマトリクス生成部 1 d' ' ' ' と、第 1 の画像センサ 1 a の有する空間解像度よりも高い第 2 の空間解像度と第 1 の画像センサ 1 a の有する第 1 の波長解像度よりも低い第 2 の波長解像度とを有する第 2 の画像センサ 1 b から出力された撮像信号に含まれる画像データに含まれる各画素に対して、前述した同一の周知の Wiener 推定マトリクスを乗算することによって、第 2 の画像センサ 1 b から出力された撮像信号に含まれる画像データから分光画像を生成するマトリクス乗算部 1 g' ' ' ' と、第 2 の画像センサ 1 b から出力された撮像信号に含まれる画像データから下記式 (46) ~ 下記式 (48) に基づいて、補間マトリクス M_p を生成する補間マトリクス生成部 1 q と、第 1 の画像センサ 1 a から出力された撮像信号に含まれる画像データから生成されたスペクトルデータと、補間マトリクス生成部 1 q により生成された補間マトリクスとに基づいて下記式 (49) のようにスペクトルデータの補間処理を実行するデータ補間部

40

50

【数 4 1】

10

20

30

【数 4 2】

40

50

【 0 1 5 7 】

【 数 4 3 】

$$\mathbf{M}_P \equiv \Sigma_P \mathbf{H}_P^T \left(\mathbf{H}_P \Sigma_P \mathbf{H}_P^T \right)^{-1} \dots \text{式 (46)}$$

【 0 1 5 8 】

10

ただし、 \mathbf{H}_P は、 N 本の分光情報ベクトル $f(i, j)$ を行ベクトルとして並べた N 行 L 列の行列を \mathbf{F} としたとき、この行列 \mathbf{F} とスペクトルデータ行列 \mathbf{S} との間で下記式 (47) の関係を有する M 行 N 列の行列である。

【 0 1 5 9 】

【 数 4 4 】

$$\mathbf{S}^T = \mathbf{H}_P \mathbf{F} \dots \text{式 (47)}$$

20

【 0 1 6 0 】

また、 \mathbf{p} は、空間方向の相関行列を表す N 行 N 列の正方行列であり、画像データ $g(i, j)$ $g(\quad)$ に基づいて生成する。具体的には、 \mathbf{p} の (\quad, \quad) 要素は下記式 (48) で与えられる。

【 0 1 6 1 】

【 数 4 5 】

$$[\Sigma_P]_{\alpha, \beta} = \mathbf{g}^T(\alpha) \mathbf{g}(\beta) \times \rho^{d(\alpha, \beta)} \dots \text{式 (48)}$$

30

$d(\alpha, \beta)$ は、 $\mathbf{g}(\alpha)$ と $\mathbf{g}(\beta)$ との間のユークリッド距離を表す。

【 0 1 6 2 】

【 数 4 6 】

$$\tilde{\mathbf{f}}_l = \mathbf{M}_P \mathbf{s}_l \dots \text{式 (49)}$$

40

\mathbf{s}_l は、 M 本のスペクトルデータにおける l 番目の波長要素を縦に並べた M 次元の列ベクトルを意味する。

【 0 1 6 3 】

【数 4 7】

$$\hat{f}(i, j) = \hat{f}^S(i, j) + (I - A_W H) \hat{f}^P(i, j) \dots \text{式 (50)}$$

$\hat{f}^S(i, j)$ は、Wiener推定によって得られた分光情報である。

また、 $\hat{f}^P(i, j)$ は、Wiener推定によって得られた全ての波長要素に対する補間画像 \tilde{f}_i から位置 (i, j) の分光情報を取り出したものを意味する。

【0164】

10

次に、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 と前述した各比較例とをシミュレーションによって検証した検証結果に関して説明する。

【0165】

(前提条件)

本発明者らは、2種類の分光画像 Toy と Scarf (空間方向 512×512 画素、波長方向 65 要素) をオリジナルの分光画像とし、シミュレーションにより 3 バンドの画像データ (512×512 画素、3 バンド) とスペクトルデータ (空間方向 $M_1 \times M_2$ 画素、波長方向 65 要素) とを生成するように各装置のパラメータを設定した。

【0166】

この際、画像データにのみ、PSNR (peak signal to noise ratio) = 50 dB のランダムホワイトノイズを加算し、 $M_1 = M_2$ は 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512 の何れかとなるように設定した。この2種類の観測データに基づいて、本実施の形態に係る分光画像生成装置により出力した分光画像とオリジナルの分光画像とを比較して、各分光画像生成装置が生成した分光画像のデータの精度を評価した。

20

【0167】

この精度評価の際に、撮影したときの照明光スペクトルで分光画像を割り算して得られる分光反射率画像に対して、分光反射率の誤差 (NRMSE: normalized root mean squared error) を計算して、各分光画像生成装置が生成した分光画像のデータの精度評価に用いた。

【0168】

30

(本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 のスペクトルデータの数及び分光画像を分割する領域の数と、出力された分光画像の精度とに関する検証)

まず、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 における第 1 の画像センサ 1 a から出力された分光画像 Toy から生成されたスペクトルデータの数及び第 2 の画像センサ 1 b から出力された分光画像 Toy を分割する領域の数と、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 から出力された分光画像の精度との関係に関して検証する。

【0169】

図 12 は、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 の第 1 の画像センサ 1 a から出力された分光画像 Toy から生成されたスペクトルデータの数及び第 2 の画像センサ 1 b から出力された分光画像 Toy を分割する領域の数と、出力された分光画像から求めた分光反射率画像の誤差を表す分光反射率の誤差 (NRMSE) との関係の一例を示す図である。

40

【0170】

図 12 からわかるように、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 では、領域の数を増やすと、分光反射率の誤差 (NRMSE) が減少しているが、スペクトルデータの要素数と同じ数の領域数以上 (矢印で示す点) に領域数を増やしても、分光反射率の誤差 (NRMSE) が減少しないことがわかる。

【0171】

以上の結果から、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 では、第 1 の画像センサ 1 a から出力された分光画像 Toy から生成されたスペクトルデータの要素数と、第 2 の画像センサ 1 b から出力された分光画像 Toy を分割する場合における領域の数とは、同じ程

50

度の数にすることで、効率的に精度を高めることが可能であることがわかる。

【0172】

(出力した分光画像の精度に関する検証)

次に、本実施の形態に係る分光画像生成装置1と、前述した各比較例の分光画像生成装置とに関し、分光画像から生成されたスペクトルデータの数と、本実施の形態に係る分光画像生成装置1及び各比較例に係る分光画像生成装置から出力された分光画像の精度との関係に関して検証する。

【0173】

図13は、本実施の形態に係る分光画像生成装置1と、前述した各比較例の分光画像生成装置とに関し、第1の画像センサ1aから出力された分光画像T o yから生成されたスペクトルデータの数と、本実施の形態に係る分光画像生成装置1と、前述した各比較例の分光画像生成装置とによってそれぞれ出力された分光画像から求めた分光反射率画像の誤差を表す分光反射率の誤差(N R M S E)との関係の一例を示す図である。

10

【0174】

また、図14は、本実施の形態に係る分光画像生成装置1と、前述した各比較例の分光画像生成装置とに関し、第1の画像センサ1aから出力された分光画像S c a r fから生成されたスペクトルデータの数と、本実施の形態に係る分光画像生成装置1と前述した各比較例の分光画像生成装置とによってそれぞれ出力された分光画像から求めた分光反射率画像の誤差を表す分光反射率の誤差(N R M S E)との関係の一例を示す図である。

【0175】

20

図13及び図14では、横軸は第1の画像センサ1aから出力された分光画像T o y、分光画像S c a r fから生成されたスペクトルデータの数、すなわち前述した $M1 \times M2 = M$ に該当し、このスペクトルデータの数が大きくなるほど、スペクトルデータの解像度が高いことを意味している。

【0176】

また、図13及び図14では、縦軸は、出力した分光画像の誤差を示す分光反射率の誤差(N R M S E)に該当し、この分光反射率の誤差(N R M S E)の値が小さいほど、各分光画像生成装置から出力された分光画像の精度が高いことを意味している。

【0177】

図13及び図14からわかるように、本実施の形態に係る分光画像生成装置1から出力された分光画像の精度は、前述した比較例1及び前述した比較例2の分光画像生成装置から出力された分光画像の精度よりも高く、前述した比較例3の分光画像生成装置から出力された分光画像の精度と同等である。

30

【0178】

(計算量に関する検証)

次に、本実施の形態に係る分光画像生成装置1が分光画像T o y、分光画像S c a r fから分光画像を生成して出力するための計算量と、前述した各比較例の分光画像生成装置が分光画像T o y、分光画像S c a r fから分光画像を生成して出力するための計算量とに関して検証する。

【0179】

40

本発明者らは、1フレームの画像データの処理に必要な乗算の回数を概算することによって、本実施の形態に係る分光画像生成装置がオリジナルの分光画像から出力する分光画像を生成するのに必要となる計算量と、各比較例に係る分光画像生成装置がオリジナルの分光画像から出力する分光画像を生成するのに必要となる計算量とを比較した。

【0180】

図15は、本実施の形態に係る分光画像生成装置1がオリジナルの分光画像から出力する分光画像を生成するのに必要となる計算量と、各比較例に係る分光画像生成装置がオリジナルの分光画像から出力する分光画像を生成するのに必要となる計算量との関係の一例を示す図である。

【0181】

50

また、図 1 6 は、オリジナルの分光画像を分割する領域の数を $N = N_1 \times N_2 = 512 \times 512$ とした場合に、本実施の形態に係る分光画像生成装置がオリジナルの分光画像から出力する分光画像を生成するのに必要となる計算量、及び比較例 2、3 に係る分光画像生成装置がオリジナルの分光画像から出力する分光画像を生成するのに必要となる計算量を示す乗算回数と、第 1 の画像センサ 1 a の画素数との関係の一例を示す図である。

【0182】

図 1 5 及び図 1 6 からわかるように、比較例 3 の分光画像生成装置における計算量は、オリジナルの分光画像から生成されたスペクトルの数である $M = M_1 \times M_2$ の 2 乗に比例して計算量が増加するので、スペクトルデータの解像度が高い場合には、比較例 3 の分光画像生成装置は、オリジナルの分光画像から出力する分光画像を生成するために必要な計

10

【0183】

また、比較例 3 の分光画像生成装置における計算量は何れのスペクトルデータの解像度の場合でも、比較例 1、比較例 2、及び本実施の形態に係る分光画像生成装置における計算量と比較して多いので、比較例 3 の分光画像生成装置は、分光画像を生成する処理に時間を要する。

【0184】

更に、比較例 1 の分光画像生成装置における計算量は、一番少ないが、前述した図 1 3 及び図 1 4 からわかるとおり、比較例 1 の分光画像生成装置は、出力する分光画像の精度が劣る。

20

【0185】

本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 及び比較例 2 の分光画像生成装置の計算量は、 $N / M \gg 40$ を満たす現実的な範囲で比較例 1 の分光画像生成装置における計算量の 4 ~ 6 倍程度の計算量に抑えられた。

【0186】

以上の検証結果からわかるように、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 は、画像センサの画素が多い場合であっても比較例 3 の分光画像生成装置のように実装困難になることなく、出力する分光画像の精度の高い比較例 3 と同等の精度を、当該比較例 3 の分光画像生成装置の計算量よりも小さく抑えた状態で実現することが出来る。

【0187】

30

上述したように、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 によれば、波長方向のチャネル数が少なくとも 4 以上で、かつ、第 1 の空間解像度と第 1 の波長解像度とを有する第 1 の画像センサ 1 a から出力された撮像信号に含まれる画像データを構成する要素毎に、当該画像データ内の要素毎に含まれる光の波長毎の強度分布を示すスペクトルデータがスペクトルデータ生成部 1 c によって生成され、スペクトルデータ生成部 1 c により生成された要素毎のスペクトルデータから、画像センサ 1 a から出力された撮像信号に含まれる画像データを構成する領域毎のマトリクスがマトリクス生成部 1 d により生成され、マトリクス生成部 1 d により生成されたマトリクスのうち、第 1 の画像センサ 1 a から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の第 1 領域に対して生成されたマトリクスが第 2 の画像センサ 1 b から出力された撮像信号に含まれ、かつ、第 1 の画像センサ 1 a から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の第 1 領域に対応する第 3 領域の画像データに乘じられて第 3 領域の分光情報がマトリクス乗算部 1 g によって算出され、マトリクス生成部 1 d により生成されたマトリクスのうち、第 1 の画像センサ 1 a から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の第 1 領域の周縁に存在する第 2 領域に対して生成されたマトリクスが第 2 の画像データから出力された撮像信号に含まれる第 3 領域の画像データに乘じられて第 3 領域の分光情報がマトリクス乗算部 1 g によって算出され、マトリクス乗算部 1 g により算出された第 3 領域の分光情報と、第 1 の画像センサ 1 a から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の第 1 領域の周縁に存在する第 2 領域に対して生成されたマトリクスを第 3 領域に乘じることにより算出された第 3 領域の分光情報との加重平均が加重平均算出部 1 h によって領域毎に算出され、加重平均算出部 1 h により算出された領域

40

50

毎の分光情報の加重平均から第1の波長解像度と第2の空間解像度とを有する分光画像が領域合成部1*i*により生成され、生成された分光画像が表示部1*j*に表示されるので、処理に要する計算量を抑制すると共に、波長解像度及び空間解像度の両方が高い分光画像を生成することが可能になる。

【0188】

なお、本実施の形態に係る分光画像生成装置では、第1の画像センサ1*a*及びスペクトルデータ生成部1*c*を、シーン中の多点を計測できるスペクトルセンサに置換した構成としてもよい。

【0189】

この場合には、スペクトルセンサは、スペクトルデータを計測した位置の位置情報を各点で計測したスペクトルデータに付加して、計測したスペクトルデータとスペクトルデータを計測した位置の位置情報との組をマトリクス生成部1*d*に出力する構成とする。

【0190】

(第2の実施の形態)

次に、本発明の第2の実施の形態に係る分光画像生成装置1'に関して説明する。

【0191】

図17は、本発明の第2の実施の形態に係る分光画像生成装置1'の一例を示す模式図である。

【0192】

本実施の形態に係る分光画像生成装置1'は、相異なる特性を有する複数の画像センサのうちの一方の画像センサから出力された撮像信号に含まれる動画の画像データから生成されたスペクトルデータから予め定められた時空間領域毎に相異なる複数のマトリクスのデータを生成し、生成した時空間領域毎のマトリクスを他方の画像センサから出力された撮像信号に含まれる画像データの対応する時空間領域のデータに作用させることによって、動画である分光画像を生成して、生成した分光画像を表示部1*j*'の表示画面に表示する装置である。

【0193】

具体的には、本実施の形態に係る分光画像生成装置1'は、図18に示すように、波長方向のチャンネル数が少なくとも4以上で、かつ、第1の空間解像度と第1の波長解像度とを有する第1の画像センサ1*a*'から出力された第1のフレームレートを有する撮像信号に含まれる画像データから生成された空間方向に $M_1 \times M_2$ 個の要素を、波長方向にL個の要素をそれぞれ有するスペクトルデータと、波長方向のチャンネル数が少なくとも3以下で、かつ、前述した第1の画像センサ1*a*'の有する空間解像度よりも高い第2の空間解像度と、前述した第1の画像センサ1*a*'の有する第1の波長解像度よりも低い第2の波長解像度とを有する第2の画像センサとしての3バンドのカラービデオカメラ(第2の画像センサ)1*b*'から出力された $N_1 \times N_2$ 個の画素とを有し、かつ、1フレームが3枚の画像データからなる前述した第1の画像センサ1*a*'から出力された撮像信号の有する第1のフレームレートよりも高い第2のフレームレートを有する動画のデータとから、空間方向に $N_1 \times N_2$ 個の画素と、波長方向にL個の要素とを有し、前述した第1の波長解像度と前述した第2のフレームレートと前述した第2の空間解像度とを有する分光画像、換言すれば波長解像度及び空間解像度の両方が高い動画の分光画像を生成し、生成した分光画像を表示画面に表示する装置である。

【0194】

本実施の形態に係る分光画像生成装置1'は、図17に示すように、第1の画像センサ1*a*'と、第1のデータバッファ1*k*と、3バンドのカラービデオカメラ(第2の画像センサ)1*b*'と、第2のデータバッファ1*l*と、スペクトルデータ生成部1*c*'と、マトリクス生成部1*d*'と、領域分割部1*e*'と、時空間領域データ記憶メモリ1*f*'と、マトリクス乗算部1*g*'と、加重平均算出部1*h*'と、第3のデータバッファ1*m*と、領域合成部1*i*'と、表示部1*j*'とを備えている。

【0195】

なお、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1' は、製造時に図示しない内蔵メモリにプログラムが書き込まれた、又は記録媒体もしくは通信ネットワークを介してプログラムがインストールされたコンピュータによって実現される。

【0196】

また、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1' を構成する各部は、ソフトウェアもしくはハードウェア又はハードウェアとソフトウェアとの組み合わせの何れから構成されていてもよいことは言うまでもない。

【0197】

第 1 の画像センサ 1 a' は、波長方向のチャンネル数が少なくとも 4 以上で、かつ、第 1 の空間解像度と第 1 の波長解像度とを有する撮像素子であり、第 1 のフレームレートを有する撮像した撮像信号を第 1 のデータバッファ 1 k に出力する。

10

【0198】

第 1 のデータバッファ 1 k は、第 1 の画像センサ 1 a' から入力された動画のデータを一時的に記憶するバッファであり、記憶した動画のデータをスペクトルデータ生成部 1 c' に出力する。

【0199】

3 バンドのカラービデオカメラ (第 2 の画像センサ) 1 b' は、波長方向のチャンネル数が少なくとも 3 以下で、かつ、前述した第 1 の画像センサ 1 a' の有する空間解像度よりも高い第 2 の空間解像度と、前述した第 1 の画像センサ 1 a' の有する第 1 の波長解像度よりも低い第 2 の波長解像度とを有する撮像素子であり、前述した第 1 の画像センサ 1 a' から出力された撮像信号の有する第 1 のフレームレートよりも高い第 2 のフレームレートを有する撮像した撮像信号を第 2 のデータバッファ 1 l に出力する。

20

【0200】

第 2 のデータバッファ 1 l は、3 バンドのカラービデオカメラ 1 b' から入力された動画のデータを一時的に記憶するバッファであり、記憶した動画のデータを領域分割部 1 e に出力する。

【0201】

スペクトルデータ生成部 1 c' は、第 1 のデータバッファ 1 k から出力された撮像信号を受け取り、受け取った撮像信号の要素毎にスペクトルデータを生成して、生成した要素毎のスペクトルデータをマトリクス生成部 1 d' に出力する。

30

【0202】

ここで、スペクトルデータの「要素」とは、第 1 の画像センサの時間方向 1 フレーム、および第 1 の画像センサの空間方向 1 画素に対応する L 個 1 組のデータを意味する。

【0203】

マトリクス生成部 1 d' は、第 1 の画像センサ 1 a' によって計測されたスペクトルデータの各要素を重み付けした結果、得られた特定の分光反射率データ郡、換言すればマトリクスを生成するためのサンプルデータを用いて、このサンプルデータに対する誤差を最小とするように、第 1 の画像センサ 1 a' から出力された撮像信号内の画像データから生成されたスペクトルデータの時空間方向に定義される時空間領域 (a, b, t) 毎に対応付けられるマトリクスを生成し、生成したスペクトルデータの時空間方向に定義される時空間領域 (a, b, t) 毎のマトリクスのデータと、スペクトルデータの時空間方向に定義される時空間領域 (a, b, t) に関するデータとの組をマトリクス乗算部 1 g' に出力する。

40

【0204】

なお、本明細書において、「時空間領域」とは、画像センサ 1 もしくは画像センサ 2 により取得される動画像上に定義される領域で、時間方向のある一定期間に含まれ、かつ、空間方向のある一定領域に含まれる閉区間を意味する。

【0205】

具体的には、本実施の形態に係るマトリクス生成部 1 d' は、スペクトルデータ生成部 1 c' から出力された縦方向に M_1 個、横方向に M_2 個、時間方向に V 個の要素に対応す

50

る、波長方向に L 個のデータから構成されるスペクトルデータを受け取り、受け取ったスペクトルデータから下記の式 (51) によって、スペクトルデータの時空間方向に定義される時空間領域 (a, b, t) 毎のマトリクスを、スペクトルデータの時空間方向に定義される全時空間領域に関して生成し、生成した時空間領域毎のマトリクスのデータと、スペクトルデータの時空間方向に定義される領域 (a, b, t) に関するデータとの組をマトリクス乗算部 1 g' に出力する。

【0206】

ただし、スペクトルデータの時空間方向に定義される時空間領域の数は、スペクトルデータの要素の数と同一とする。つまり、 a は、 $0 < a \leq M_1$ を満たす自然数である。また、 b は、 $0 < b \leq M_2$ を満たす自然数である。また、 t は、 $0 < t \leq V$ を満たす自然数である。更に、 M_1 は、スペクトルデータ生成部 1 c' によって生成されたスペクトルデータの空間方向の縦方向における要素の数を意味する。また、 M_2 は、スペクトルデータ生成部 1 c' によって生成されたスペクトルデータの空間方向の横方向における要素の数を意味する。また、 V は、スペクトルデータ生成部 1 c' によって生成されたスペクトルデータの時間方向における要素の数を意味する。

【0207】

【数48】

$$A_{a,b,t} = SW_{a,b,t} S^T H^T (H S W_{a,b,t} S^T H^T + C)^{-1} \dots \text{式 (51)}$$

【0208】

ここで、「 $A_{a,b,t}$ 」は、第1の画像センサ 1 a' から出力された撮像信号に含まれる画像データ上の時空間領域 (a, b, t) に対して定められたマトリクスを意味する。

【0209】

更に、「 S 」は、前述した $(M \times V)$ 個のスペクトルデータを列ベクトルとして配列した L 行 $(M \times V)$ 列の行列を意味する。

【0210】

また、「 V 」は、スペクトルデータ生成部 1 c' によって生成されたスペクトルデータの時間方向における要素の数である。

【0211】

更に「 H 」は、オリジナルの分光情報 $f(i, j, t)$ と、それに対応する第2の画像センサ 1 b' から出力された撮像信号に含まれる画像データ $g(i, j, t)$ と、画像データに含まれるノイズを示す3次元列ベクトル n との間の下記式 (52) で示す入出力関係を規定する 3 行 L 列の行列を意味する。

【0212】

【数49】

$$g(i, j, t) = H f(i, j, t) + n \dots \text{式 (52)}$$

【0213】

また、 $W_{a,b,t}$ は、下記式 (53) で示される $(M \times V)$ 行 $(M \times V)$ 列の対角行列

である。

【 0 2 1 4 】

【 数 5 0 】

$$W_{a,b,t} = \frac{1}{\sum_{p=1,q=1,r=1}^{M_1,M_2,V} w_{a,b,t;p,q,r}^2} \left(w_{a,b,t;1,1,1}^2 \quad \dots \quad w_{a,b,t;M_1,M_2,V}^2 \right) \dots \text{式(53)}$$

10

【 0 2 1 5 】

ここで、 $d(a, b, p, q)$ は、第1の画像センサ1 aから出力された撮像信号に含まれる画像データから生成されたスペクトルデータの (p, q, \quad) 要素の空間方向の位置と、画像データ上の (a, b, t) の時空間領域の空間方向の中心との間のユークリッド距離を意味する。

【 0 2 1 6 】

なお、本明細書において、「時空間領域の空間方向の中心」とは、時空間領域のうちの空間方向の領域の中心位置を意味する。

20

【 0 2 1 7 】

また、「 $w_{a,b,t;p,q,r}$ 」は、第1の画像センサから出力された撮像信号から生成されたスペクトルデータの要素毎に個別に定められる重み付け係数であり、前述した $d(a, b; p, q)$ および $d'(t, \quad)$ との間に下記式(54)で示される関係を有している。

【 0 2 1 8 】

【 数 5 1 】

$$w_{a,b,t;p,q,r} = \rho^{d(a,b;p,q)} \rho'^{d'(t, \quad)} \dots \text{式(54)}$$

30

【 0 2 1 9 】

ここで、「 ρ 」は、重み付け係数の減少の程度を決定しているパラメータであり、例えば画像データ内で決定された時空間領域の空間方向の大きさ $D_1 = D_2 = D$ に応じて、 $\rho = 0.01$ として、換言すれば $4.5D$ 要素(つまり、 4.5 領域分)離れた点で、重み係数が 0.01 となるように設定することが出来る。

【 0 2 2 0 】

また、「 ρ' 」は、重み付け係数の減少の程度を決定しているパラメータであり、フレーム周期を T として、 $\rho' = 0.01$ 換言すれば $1.5T$ 要素(つまり、フレーム周期の 1.5 倍)離れた点で、重み係数が 0.01 となるように設定することが出来る。

40

【 0 2 2 1 】

なお、本実施の形態に係る分光画像生成装置1'におけるパラメータ「 ρ 」、及び「 ρ' 」を設定する手法に関しては、本実施の形態に係る分光画像生成装置1'で用いた手法に限定されないことは言うまでもない。

【 0 2 2 2 】

「 S^T 」は、前述した $(M \times V)$ 個のスペクトルデータを列ベクトルとして配列した L 行 $(M \times V)$ 列の行列「 S 」の転置行列を意味する。

【 0 2 2 3 】

「 H^T 」は、前述したオリジナルの分光情報 $f(i, j, t)$ と、それに対応する第2の画像センサ1 b'から出力された撮像信号に含まれる画像データ $g(i, j, t)$ と、

50

画像データに含まれるノイズを示す3次元列ベクトル n との間の前述した式(52)で示す入出力関係を規定する3行 L 列の行列 H の転置行列を意味する。

【0224】

また、「 C 」は、第2の画像センサ1b'から出力された撮像信号に含まれる画像データに含まれるノイズの共分散行列を意味する。

【0225】

領域分割部1e'は、第2のデータバッファ1lから出力された撮像信号を受け取り、当該撮像信号に含まれる画像データを、空間方向に M_1 個 \times M_2 個からなる複数の矩形領域に分割すると共に、時間方向にも T フレーム毎に分割することによって、画像データを複数の時空間領域に分割し、分割した画像データと、時空間領域に関するデータとの組をマトリクス乗算部1g'に出力する。

10

【0226】

時空間領域データ記憶メモリ1f'は、操作者の操作によって入力されたスペクトルデータの空間方向に定義される時空間領域(a, b, t)に関するデータと、第2の画像センサ1b'から出力された撮像信号に含まれる画像データ内で定義される時空間領域(a, b, t)に関するデータとが各々対応して記憶された時空間領域データ記憶テーブルを有している。

【0227】

マトリクス乗算部1g'は、領域分割部1e'から受け取った分割した画像データに、マトリクス生成部1d'から受け取ったマトリクスを下記式(55)に示すように乗算することによって、時空間領域毎の分光画像のデータを得た後、得られた分光画像のデータを加重平均算出部1h'に出力する。

20

【0228】

具体的には、本実施の形態に係る分光画像生成装置1'のマトリクス乗算部1g'は、スペクトルデータ上で定義される時空間領域(a, b, t)毎のマトリクスと、スペクトルデータ上で定義される時空間領域(a, b, t)に関するデータとの組をマトリクス生成部1d'から受け取ると、スペクトルデータ上で定義される時空間領域(a, b, t)に関するデータに対応付けられた画像データ上で定義された時空間領域(a, b, t)に関するデータを時空間領域データ記憶メモリ1f'から読み出し、当該画像データの時空間領域(a, b, t)に対応するスペクトルデータ上で定義される時空間領域(a, b, t)に対して生成されたマトリクス $A_{a, b, t}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域(a, b, t)の周縁に存在する時空間領域($a-1, b+1, t$)に対して生成されたマトリクス $A_{a-1, b+1, t}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域(a, b, t)の周縁に存在する時空間領域($a, b+1, t$)に対して生成されたマトリクス $A_{a, b+1, t}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域(a, b, t)の周縁に存在する時空間領域($a+1, b+1, t$)に対して生成されたマトリクス $A_{a+1, b+1, t}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域(a, b, t)の周縁に存在する時空間領域($a-1, b, t$)に対して生成されたマトリクス $A_{a-1, b, t}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域(a, b, t)の周縁に存在する時空間領域($a+1, b, t$)に対して生成されたマトリクス $A_{a+1, b, t}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域(a, b, t)の周縁に存在する時空間領域($a-1, b-1, t$)に対して生成されたマトリクス $A_{a-1, b-1, t}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域(a, b, t)の周縁に存在する時空間領域($a, b-1, t$)に対して生成されたマトリクス $A_{a, b-1, t}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域(a, b, t)の周縁に存在する時空間領域($a+1, b-1, t$)に対して生成されたマトリクス $A_{a+1, b-1, t}$ とを読み出した画像データ上で定義された時空間領域(a, b, t)に存在する画像データの中で空間方向の位置(i, j)および時間 t で指定される画素 $g(i, j, t)$ に各々乗算する。

30

40

【0229】

また、本実施の形態に係るマトリクス乗算部1g'は、スペクトルデータ上で定義され

50

る時空間領域 (a, b, t) に対して時間方向で直前の $(t - 1)$ に存在する時空間領域 $(a, b, t - 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a, b, t - 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t - 1)$ の周縁に存在する領域 $(a - 1, b + 1, t - 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a - 1, b + 1, t - 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t - 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a, b + 1, t - 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a, b + 1, t - 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t - 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a + 1, b + 1, t - 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a + 1, b + 1, t - 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t - 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a - 1, b, t - 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a - 1, b, t - 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t - 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a + 1, b, t - 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a + 1, b, t - 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t - 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a - 1, b - 1, t - 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a - 1, b - 1, t - 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t - 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a, b - 1, t - 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a, b - 1, t - 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t - 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a + 1, b - 1, t - 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a + 1, b - 1, t - 1}$ とを読み出した画像データ上で定義された時空間領域 (i, j) に存在する画像データの中で空間方向の位置 (i, j) および時間 t で指定される画素 $g(i, j, t)$ に各々乗算する。

【0230】

更に、本実施の形態に係るマトリクス乗算部 1g' は、スペクトルデータの空間方向に定義される時空間領域 (a, b, t) に対して時間方向で直後の $(t + 1)$ に存在するスペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t + 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a, b, t + 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t + 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a - 1, b + 1, t + 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a - 1, b + 1, t + 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t + 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a, b + 1, t + 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a, b + 1, t + 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t + 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a + 1, b + 1, t + 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a + 1, b + 1, t + 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t + 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a - 1, b, t + 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a - 1, b, t + 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t + 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a + 1, b, t + 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a + 1, b, t + 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t + 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a - 1, b - 1, t + 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a - 1, b - 1, t + 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t + 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a, b - 1, t + 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a, b - 1, t + 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t + 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a + 1, b - 1, t + 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a + 1, b - 1, t + 1}$ とを読み出した画像データ上で定義された時空間領域 (i, j) に存在する画像データの中で画素 (i, j) 、時間 t で指定される画素 $g(i, j, t)$ に各々乗算する。

【0231】

従って、本実施の形態に係るマトリクス乗算部 1g' は、対象となる画像データ上で定義される時空間領域 (a, b, t) に対応するスペクトルデータの空間方向に定義される時空間領域 (a, b, t) に対して時空間的に近傍に存在する領域に対して生成された 27 個のマトリクスを画像データ上で定義される領域 (i, j) に存在する画像データ $g(i, j, t)$ に対して各々乗じて得られた 27 個の分光情報のデータと、画像データ

の領域 (, ,) に関するデータとの組を加重平均算出部 1 h ' に出力する。

【 0 2 3 2 】

なお、本明細書において、「時空間的に近傍に存在する」とは、空間的に近傍に存在し、かつ、時間的にも近傍に存在することを意味する。

【 0 2 3 3 】

【数 5 2 】

$$\hat{f}_{a,b,t}(i,j,\theta) = A_{a,b,t} g(i,j,\theta) \dots \text{式(55)}$$

10

【 0 2 3 4 】

加重平均算出部 1 h ' は、マトリクス乗算部 1 g ' から出力された 27 個の分光情報 $f^{a-1,b+1,t}(i,j,)$ 、 $f^{a,b+1,t}(i,j,)$ 、 $f^{a+1,b+1,t}(i,j,)$ 、 $f^{a-1,b,t}(i,j,)$ 、 $f^{a,b,t}(i,j,)$ 、 $f^{a+1,b,t}(i,j,)$ 、 $f^{a-1,b-1,t}(i,j,)$ 、 $f^{a,b-1,t}(i,j,)$ 、 $f^{a+1,b-1,t}(i,j,)$ 、 $f^{a-1,b+1,t-1}(i,j,)$ 、 $f^{a,b+1,t-1}(i,j,)$ 、 $f^{a+1,b+1,t-1}(i,j,)$ 、 $f^{a-1,b,t-1}(i,j,)$ 、 $f^{a,b,t-1}(i,j,)$ 、 $f^{a+1,b,t-1}(i,j,)$ 、 $f^{a-1,b-1,t-1}(i,j,)$ 、 $f^{a,b-1,t-1}(i,j,)$ 、 $f^{a+1,b-1,t-1}(i,j,)$ 、 $f^{a-1,b+1,t+1}(i,j,)$ 、 $f^{a,b+1,t+1}(i,j,)$ 、 $f^{a+1,b+1,t+1}(i,j,)$ 、 $f^{a-1,b,t+1}(i,j,)$ 、 $f^{a,b,t+1}(i,j,)$ 、 $f^{a+1,b,t+1}(i,j,)$ 、 $f^{a-1,b-1,t+1}(i,j,)$ 、 $f^{a,b-1,t+1}(i,j,)$ 、 $f^{a+1,b-1,t+1}(i,j,)$ を受け取り、下記式 (56) に示すように、これら 27 個の分光情報のデータに各々重み付けをして、時空間領域毎に、これら 27 個の分光情報のデータの加重平均を算出し、算出した領域毎の分光情報の加重平均のデータと、時空間領域に関するデータとの組を第 3 のデータバッファ 1 m に出力する。

20

30

【 0 2 3 5 】

【数 5 3 】

$$\hat{f}(i,j,\theta) = \sum_{a \pm 1, b \pm 1, t \pm 1} u_{a,b,t}(i,j,\theta) \hat{f}_{a,b,t}(i,j,\theta) \dots \text{式(56)}$$

40

【 0 2 3 6 】

ここで、 $u_{a,b,t}(i,j,)$ は、分光情報 $f^{a,b,t}(i,j,)$ に対する重み付け関数を意味し、例えば下記式 (57) で示す 3 次元の separable Hamming window を用いることも出来る。

【 0 2 3 7 】

【数 5 4】

$$u_{a,b,t}(i, j, \theta) = v_1(i - aD_1)v_2(j - bD_2)v_3(\theta - tT) \cdots \text{式 (57)}$$

【0 2 3 8】

ここで 1 (i) は、下記式 (5 8) で示される関数である。

【0 2 3 9】

【数 5 5】

10

$$v_1(i) = \begin{cases} \left[0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{\pi i}{D_1}\right) \right] & 0 \leq i \leq 2D_1 - 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \cdots \text{式 (58)}$$

【0 2 4 0】

また、 2 (j) は、下記式 (5 9) で示される関数である。

20

【0 2 4 1】

【数 5 6】

$$v_2(j) = \begin{cases} \left[0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{\pi j}{D_2}\right) \right] & 0 \leq j \leq 2D_2 - 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \cdots \text{式 (59)}$$

30

【0 2 4 2】

また 3 () は、下記式 (6 0) で示される関数である。

【0 2 4 3】

【数 5 7】

$$v_3(\theta) = \begin{cases} \left[0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{\pi \theta}{T}\right) \right] & 0 \leq \theta \leq 2T - 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \cdots \text{式 (60)}$$

40

【0 2 4 4】

ここで、D 1 は、時空間領域の縦の要素数を意味し、D 2 は、時空間領域の横の要素数を意味する。換言すれば D 1 = N 1 / M 1 であり、D 2 = N 2 / M 2 である。ここで、「 / 」は、除算を意味する。また、T は、時空間の時間方向の要素数を意味する。

【0 2 4 5】

第 3 のデータバッファ 1 m は、加重平均算出部 1 h ' から出力された時空間領域毎に算出された分光情報のデータの加重平均のデータと、時空間領域に関するデータとの組を一時的に記憶するバッファであり、記憶した動画のデータを領域合成部 1 i ' に出力する。

【0 2 4 6】

50

領域合成部 1 i ' は、第 3 のデータバッファ 1 m から出力された算出済みの画像データの領域 (, ,) 毎の分光情報の加重平均のデータと、画像データの領域 (, ,) に関するデータとの組を受け取り、受け取った画像データの領域 (, ,) 毎の分光情報の加重平均のデータを画像データの領域 (, ,) に関するデータに基づいて、時間順にソートすることによって、画像データの領域 (, ,) 毎の分光情報の加重平均のデータの組み合わせからなる動画の分光画像のデータを生成し、生成した動画の分光画像のデータを表示部 1 j ' の表示画面に表示させる。

【 0 2 4 7 】

表示部 1 j ' は、領域合成部 1 i ' で生成された分光画像が表示される図示しない表示画面を有している。

10

【 0 2 4 8 】

次に、以上のように構成された分光画像生成装置 1 ' の実行する実行処理に関し、図面を参照して説明する。

【 0 2 4 9 】

図 1 9 は、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 ' の実行する実行処理に関して説明するためのフローチャートである。

【 0 2 5 0 】

なお、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1 ' では、第 1 の画像センサ 1 a ' から入力された画像データから、図 1 5 に示すような、縦方向に M_1 個、横方向に M_2 個、波長方向に L 個の要素を有するスペクトルデータが生成され、かつ、3 バンドのカラービデオカメラ (第 2 の画像センサ) 1 b ' から N_1 画素 \times N_2 画素の大きさを有する 1 フレーム分の画像データ 3 枚が入力された場合に関して説明する。

20

【 0 2 5 1 】

始めに、スペクトル生成部 1 c ' は、第 1 のバッファ 1 k から受け取った撮像信号をスペクトルデータへ変換し、縦方向に M_1 個、横方向に M_2 個、時間方向に V 個の要素に対応する、波長方向に L 個のデータから構成されるスペクトルデータを生成する (工程 B 1) 。

【 0 2 5 2 】

次に、マトリクス生成部 1 d ' は、スペクトルデータ生成部 1 c ' から出力された縦方向に M_1 個、横方向に M_2 個、時間方向に V 個の要素に対応する、波長方向に L 個のデータから構成されるスペクトルデータを受け取り、受け取ったスペクトルデータから下記の式 (6 1) によって、スペクトルデータの空間方向および時間方向に定義される時空間領域 (a , b , t) 毎のマトリクスを、全時空間領域に関して生成する (工程 B 2) 。

30

【 0 2 5 3 】

ただし、a は、 $0 < a \leq M_1$ を満たす自然数である。また、b は、 $0 < b \leq M_2$ を満たす自然数である。また、t は、 $0 < t \leq V$ を満たす自然数である。更に、 M_1 は、スペクトルデータ生成部 1 c ' によって生成されたスペクトルデータの空間方向の縦方向における要素の数を意味する。また、 M_2 は、スペクトルデータ生成部 1 c ' によって生成されたスペクトルデータの空間方向の横方向における要素の数を意味する。また、 V は、スペクトルデータ生成部 1 c ' によって生成されたスペクトルデータの時間方向における要素

40

【 0 2 5 4 】

【 数 5 8 】

$$A_{a,b,t} = SW_{a,b,t} S^T H^T (H S W_{a,b,t} S^T H^T + C)^{-1} \dots \text{式 (6 1)}$$

【 0 2 5 5 】

ここで、「 $A_{a,b,t}$ 」は、第1の画像センサ1 a' から出力された撮像信号に含まれる画像データから生成されたスペクトルデータで定義される時空間領域 (a, b, t) に存在する要素のデータに対して定められたマトリクスを意味する。

【 0 2 5 6 】

また、「 S 」は、前述したM個のスペクトルデータを列ベクトルとして配列したL行 ($M \times V$) 列の行列を意味する。

【 0 2 5 7 】

更に「 H 」は、オリジナルの分光情報 $f(i, j, t)$ と、それに対応する画像データ $g(i, j, t)$ と、画像データに含まれるノイズを示す3次元列ベクトル n との間の下記式 (62) で示す入出力関係を規定する3行L列の行列を意味する。

10

【 0 2 5 8 】

【 数 5 9 】

$$g(i, j, t) = Hf(i, j, t) + n \dots \text{式 (62)}$$

【 0 2 5 9 】

20

また、 $W_{a,b,t}$ は、下記式 (63) で示される ($M \times V$) 行 ($M \times V$) 列の対角行列である。

【 0 2 6 0 】

【 数 6 0 】

$$W_{a,b,t} = \frac{1}{\sum_{p=1, q=1, r=1}^{M_1, M_2, V} w_{a,b,t;p,q,r}^2} \begin{pmatrix} w_{a,b,t;1,1,1}^2 & & \\ & \ddots & \\ & & w_{a,b,t;M_1, M_2, V}^2 \end{pmatrix} \dots \text{式 (63)}$$

30

【 0 2 6 1 】

ここで、 $d(a, b, p, q)$ は、第1の画像センサ1 a' から出力された撮像信号に含まれる画像データから生成されたスペクトルデータの (p, q, \quad) 要素の空間方向の位置と、画像データ上の (a, b, t) の時空間領域の空間方向の中心との間のユークリッド距離を意味する。

【 0 2 6 2 】

40

また、「 $w_{a,b,p,q}$ 」は、第1の画像センサ1 a' から出力された撮像信号から生成されたスペクトルデータの要素毎に個別に定められる重み付け係数であり、前述した $d(a, b, p, q)$ および $d'(t, \quad)$ との間に下記式 (64) で示される関係を有している。

【 0 2 6 3 】

【数 6 1】

$$w_{a,b,t;p,q\tau} = \rho^{d(a,b;p,q)} \rho^{d(t,\tau)} \dots \text{式 (6 4)}$$

【0 2 6 4】

ここで、「 ρ 」は、重み付け係数の減少の程度を決定しているパラメータであり、例えば画像データ内で決定された時空間領域の空間方向の大きさ $D_1 = D_2 = D$ に応じて、
 の値を $\rho^{4.5D} = 0.01$ として、換言すれば $4.5D$ 要素（つまり、 4.5 領域分）
 離れた点で、重み係数が 0.01 となるように設定することが出来る。

10

【0 2 6 5】

また、「 ρ 」は、重み付け係数の減少の程度を決定しているパラメータであり、フレーム周期を T として $\rho^{1.5T} = 0.01$ 換言すれば $1.5T$ 要素（つまり、フレーム周期の 1.5 倍）離れた点で、重み係数が 0.01 となるように設定することが出来る。

【0 2 6 6】

なお、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1' で重み付け係数を定めるために使用するパラメータ及び「 ρ 」の決定手法、及びマトリクスを生成する際の重み付けの手法に関しては、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1' のマトリクス生成部 1d' の実行している手法に限定されるものではないことは言うまでもない。

20

【0 2 6 7】

「 S^T 」は、前述した $(M \times V)$ 個のスペクトルデータを列ベクトルとして配列した L 行 $(M \times V)$ 列の行列「 S 」の転置行列を意味する。

【0 2 6 8】

「 H^T 」は、前述したオリジナルの分光情報 $f(i, j, t)$ と、それに対応する第 2 の画像センサ 1b' から出力された撮像信号に含まれる画像データ $g(i, j, t)$ と、画像データに含まれるノイズを示す 3 次元列ベクトル n との間の前述した式 (5 2) で示す入出力関係を規定する 3 行 L 列の行列 H の転置行列を意味する。

30

【0 2 6 9】

また、「 C 」は、第 2 の画像センサ 1b' から出力された撮像信号に含まれる画像データに含まれるノイズの共分散行列を意味する。

【0 2 7 0】

工程 B 3 では、領域分割部 1e' は、第 2 のデータバッファ 1l から出力された撮像信号を受け取り、当該撮像信号に含まれる画像データを、空間方向に M_1 個 \times M_2 個からなる複数の矩形領域に分割すると共に、時間方向にも T フレーム毎に分割することによって、画像データを複数の時空間領域に分割する。

【0 2 7 1】

工程 B 4 では、マトリクス乗算部 1g' は、スペクトルデータの空間方向に定義される時空間領域 (a, b, t) 毎のマトリクスと、スペクトルデータの空間方向に定義される時空間領域 (a, b, t) に関するデータとの組をマトリクス生成部 1d' から受け取ると、スペクトルデータの空間方向に定義される時空間領域 (a, b, t) に関するデータに対応付けられた画像データ上で定義された時空間領域 (a, b, t) に関するデータを時空間領域データ記憶メモリ 1f' から読み出し、当該画像データの時空間領域 (a, b, t) に対応するスペクトルデータ上で定義される時空間領域 (a, b, t) に対して生成されたマトリクス $A_{a, b, t}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 (a, b, t) の周縁に存在する時空間領域 $(a - 1, b + 1, t)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a - 1, b + 1, t}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 (a, b, t) の周縁に存在する時空間領域 $(a, b + 1, t)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a, b + 1, t}$ と、

40

50

$b + 1, t$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 (a, b, t) の周縁に存在する時空間領域 $(a + 1, b + 1, t)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a + 1, b + 1, t}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 (a, b, t) の周縁に存在する時空間領域 $(a - 1, b, t)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a - 1, b, t}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 (a, b, t) の周縁に存在する時空間領域 $(a + 1, b, t)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a + 1, b, t}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 (a, b, t) の周縁に存在する時空間領域 $(a - 1, b - 1, t)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a - 1, b - 1, t}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 (a, b, t) の周縁に存在する時空間領域 $(a, b - 1, t)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a, b - 1, t}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 (a, b, t) の周縁に存在する時空間領域 $(a + 1, b - 1, t)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a + 1, b - 1, t}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 (a, b, t) に対して時間方向で直前の $(t - 1)$ に存在する時空間領域 $(a, b, t - 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a, b, t - 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t - 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a - 1, b + 1, t - 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a - 1, b + 1, t - 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t - 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a, b + 1, t - 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a, b + 1, t - 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t - 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a + 1, b + 1, t - 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a + 1, b + 1, t - 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t - 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a - 1, b, t - 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a - 1, b, t - 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t - 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a + 1, b, t - 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a + 1, b, t - 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t - 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a - 1, b - 1, t - 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a - 1, b - 1, t - 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t - 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a, b - 1, t - 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a, b - 1, t - 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t - 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a + 1, b - 1, t - 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a + 1, b - 1, t - 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 (a, b, t) に対して時間方向で直後の $(t + 1)$ に存在するスペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t + 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a, b, t + 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される領域 $(a, b, t + 1)$ の周縁に存在する領域 $(a - 1, b + 1, t + 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a - 1, b + 1, t + 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t + 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a, b + 1, t + 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a, b + 1, t + 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t + 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a + 1, b + 1, t + 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a + 1, b + 1, t + 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t + 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a - 1, b, t + 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a - 1, b, t + 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t + 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a + 1, b, t + 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a + 1, b, t + 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t + 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a - 1, b - 1, t + 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a - 1, b - 1, t + 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t + 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a, b - 1, t + 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a, b - 1, t + 1}$ と、スペクトルデータ上で定義される時空間領域 $(a, b, t + 1)$ の周縁に存在する時空間領域 $(a + 1, b - 1, t + 1)$ に対して生成されたマトリクス $A_{a + 1, b - 1, t + 1}$ とを読み出した画像データ上で定義された時空間領域 (i, j) に存在する画像データの中で空間方向の位置 (i, j) および時間 で指定さ

10

20

30

40

50

れる画素 $g(i, j, \cdot)$ に各々乗算して、27個の分光情報を得る。

【0272】

工程B5では、加重平均算出部1h'は、マトリクス乗算部1g'から出力された27個の分光情報 $f^{a-1, b+1, t}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a, b+1, t}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a+1, b+1, t}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a-1, b, t}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a, b, t}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a+1, b, t}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a-1, b-1, t}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a, b-1, t}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a+1, b-1, t}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a-1, b+1, t-1}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a, b+1, t-1}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a+1, b+1, t-1}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a-1, b, t-1}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a, b, t-1}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a+1, b, t-1}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a-1, b-1, t-1}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a, b-1, t-1}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a+1, b-1, t-1}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a-1, b+1, t+1}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a, b+1, t+1}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a+1, b+1, t+1}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a-1, b, t+1}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a, b, t+1}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a+1, b, t+1}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a-1, b-1, t+1}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a, b-1, t+1}(i, j, \cdot)$ 、 $f^{a+1, b-1, t+1}(i, j, \cdot)$ を受け取り、下記式(65)に示すように、これら27個の分光情報のデータに各々重み付けをして、これら27個の分光情報のデータの加重平均を算出し、算出した領域毎の分光情報の加重平均のデータと、時空間領域に関するデータとの組を第3のデータバッファ1mに出力する。

【0273】

【数62】

$$\hat{f}(i, j, \theta) = \sum_{a \pm 1, b \pm 1, t \pm 1} u_{a, b, t}(i, j, \theta) \hat{f}_{a, b, t}(i, j, \theta) \dots \text{式(65)}$$

【0274】

ここで、 $u_{a, b, t}(i, j, \cdot)$ は、分光情報 $f^{a, b, t}(i, j, \cdot)$ に対する重み付け関数を意味し、例えば下記式(66)で示す3次元のseparable Hamming windowを用いることも出来る。

【0275】

【数63】

$$u_{a, b, t}(i, j, \theta) = v_1(i - aD_1) v_2(j - bD_2) v_3(\theta - tT) \dots \text{式(66)}$$

【0276】

ここで $v_1(i)$ は、下記式(67)で示される関数である。

【0277】

10

20

30

40

【数 6 4】

$$v_1(i) = \begin{cases} \left[0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{\pi i}{D_1}\right) \right] & 0 \leq i \leq 2D_1 - 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \dots \text{式 (6 7)}$$

【0 2 7 8】

また、 $2(j)$ は、下記式 (6 8) で示される関数である。

10

【0 2 7 9】

【数 6 5】

$$v_2(j) = \begin{cases} \left[0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{\pi j}{D_2}\right) \right] & 0 \leq j \leq 2D_2 - 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \dots \text{式 (6 8)}$$

20

【0 2 8 0】

ここで、 D_1 は、領域の縦の要素数を意味し、 D_2 は、領域の横の要素数を意味する。換言すれば $D_1 = N_1 / M_1$ であり、 $D_2 = N_2 / M_2$ である。ここで、「/」は、除算を意味する。

【0 2 8 1】

また $3()$ は、下記式 (6 9) で示される関数である。

【0 2 8 2】

【数 6 6】

30

$$v_3(\theta) = \begin{cases} \left[0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{\pi \theta}{T}\right) \right] & 0 \leq \theta \leq 2T - 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \dots \text{式 (6 9)}$$

【0 2 8 3】

工程 B 6 では、領域合成部 1 i' は、第 3 のデータバッファ 1 m から出力された算出済みの画像データの領域 (a, b, t) 毎の分光情報の加重平均のデータと、画像データの領域 (a, b, t) に関するデータとの組を受け取り、受け取った画像データの領域 (a, b, t) 毎の分光情報の加重平均のデータを、画像データの領域 (a, b, t) に関するデータを時間順にソートすることによって、画像データの領域 (a, b, t) 毎の分光情報の加重平均のデータの組み合わせからなる動画の分光画像のデータを生成する。

40

【0 2 8 4】

これにより、本実施の形態に係る分光画像生成装置 1' によれば、画素数、換言すれば空間解像度は、第 2 の画像センサ 1 b から出力された撮像信号に含まれる画像データと同一の空間解像度で、かつ、波長方向の要素数、換言すれば波長解像度は、第 1 の画像センサ 1 a から出力された撮像信号に含まれる画像データと同一の波長解像度であるような分光画像、すなわち波長解像度及び空間解像度の両方が高い動画の分光画像が生成される

50

。

【0285】

工程B7では、領域合成部1i'は、生成した分光画像のデータを表示部1j'の表示画面に表示させる。

【0286】

以上のような一連の処理により、本実施の形態に係る分光画像生成装置1'は、全ての実行処理を終了する。

【0287】

上述したように、本実施の形態に係る分光画像生成装置1'によれば、波長方向のチャネル数が少なくとも4以上で、かつ、第1の空間解像度と第1の波長解像度とを有する第1の画像センサ1a'から出力された第1のフレームレートを有する撮像信号に含まれる画像データを構成する要素毎に、当該画像データ内の要素毎に含まれる光の波長毎の強度分布を示すスペクトルデータがスペクトルデータ生成部1c'によって生成され、スペクトルデータ生成部1c'により生成された要素毎のスペクトルデータから、第1の画像センサ1a'から出力された第1のフレームレートを有する撮像信号に含まれる画像データを構成する領域毎のマトリクスがマトリクス生成部1d'により生成され、マトリクス生成部1d'により生成されたマトリクスのうち、第1の画像センサ1a'から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の第1の時空間領域に対して生成されたマトリクスが3バンドのカラービデオカメラ1b'から出力された第2のフレームレートを有する撮像信号に含まれ、かつ、第1の画像センサ1a'から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の第1の時空間領域に対応する第3の時空間領域の画像データに乘じられて第3の時空間領域の第1の分光情報がマトリクス乗算部1g'によって算出され、マトリクス生成部1d'により生成されたマトリクスのうち、第1の画像センサ1a'から出力された撮像信号に含まれる画像データ内の第1の時空間領域の周縁に存在する第2の時空間領域に対して生成されたマトリクスが第2の画像データから出力された撮像信号に含まれ、前述した第1の時空間領域に対応する第3の時空間領域の画像データに乘じられて第3の時空間領域の第2の分光情報がマトリクス乗算部1g'によって算出され、マトリクス乗算部1g'により算出された第1の分光情報と、第2の分光情報との加重平均が加重平均算出部1h'によって時空間領域毎に算出され、加重平均算出部1h'により算出された時空間領域毎の分光情報の加重平均から第1の波長解像度と第2の空間解像度とを有する分光画像が領域合成部1i'により生成され、生成された分光画像が表示部1j'に表示されるので、処理に要する計算量を抑制すると共に、波長解像度及び空間解像度の両方が高い分光画像を生成することが可能になる。

【0288】

なお、前述した各実施の形態に係る画像処理プログラムは、コンピュータにインストールされた、アプリケーションプログラム、エミュレーター、OS、ブラウザー、ミドルウェア等によってその機能が実現されるものであってもよい。

【0289】

また、前述した実施の形態に示す手法は、コンピュータにより読み出して実行させることの出来るプログラムとして磁気ディスク（フロッピー（登録商標）ディスク、ハードディスクドライブ等）、光ディスク（CD-ROM、DVD、BD（Blu-ray Disk）-ROM（Read Only Memory:再生専用型）、BD（Blu-ray Disk）-R（Recordable:追記型）、BD（Blu-ray Disk）-RE（Rewritable:書き換え型））、光磁気ディスク（MO）、半導体メモリ、ホログラフィックメモリ等の記録媒体に格納して頒布することによりユーザーに提供することが出来る。

【0290】

更に、本発明の画像形成プログラムの提供手法としては、例えば画像形成プログラムを記録媒体に記録させた状態でユーザーに頒布する手法や、例えばインターネット等の通信ネットワークを介してユーザーの保有するコンピュータに送信し、送信したプログラムを

10

20

30

40

50

コンピュータにインストールさせる手法、無線を用いて提供する手法等が挙げられる。また、本実施の形態に係る画像形成プログラムを提供する手法としては、いわゆる周知のASP (Application Service Provider) による手法によってもよいことは言うまでもない。

【0291】

更に、前述した実施の形態に係る画像形成プログラムは、一般的な高級言語、例えばC言語、Delphi、XtL、Perl (Practical Extraction and Report Language)、XML (eXtensible Markup Language) や、オブジェクト指向言語 (C++、JAVA (登録商標)、C#、JAVA2、Small Talk) 等の任意のプログラム言語で作成されたものであって

10

【0292】

また、本発明に関して記録媒体としては、プログラムを記録でき、かつ、コンピュータが読み取り可能な記録媒体であれば、記録形式はいかなる形式であっても、例えば、磁気テープ、半導体フラッシュメモリ、フロッピー (登録商標) ディスク、CD-ROM、CD-R/RW、DVD-ROM、DVD-RAM、DVD-R/-RW、DVD+R/+RW、MO、ホログラフィックメモリ、BD-ROM、BD-R、BD-RE等の何れの形態であってもよい。

【0293】

更に、本発明の記録媒体は、コンピュータと独立した媒体に限らず、NGN (Next Generation Network: 次世代ネットワーク)、LAN、WAN、イントラネット、及びインターネット等の通信ネットワークを介して記憶又は一時記憶した媒体であってもよい。

20

【0294】

また、本発明では、記録媒体の種類及び数は、ひとつである必要は無く、同一の形態又は形態の相異なる複数の記録媒体の組み合わせからなってもよいことは言うまでもない。

【0295】

更に、本発明は、前述した各機能を実現するプログラムを構成するのに必要不可欠なデータ構造、加工用プログラム、及び前述した加工用プログラムが機能する各種ハードウェアを包含する。

30

【0296】

なお、前述した加工用プログラムは、一般的な高級言語、例えばC言語、Delphi、XtL、Perl (Practical Extraction and Report Language)、XML (eXtensible Markup Language) や、オブジェクト指向言語 (C++、JAVA、C#、JAVA2、Small Talk) 等の任意のプログラム言語で作成されたものであってもよい。

【0297】

なお、本発明は、前述した実施の形態に限定されるものではなく、実施段階では本発明の要旨を逸脱しない範囲内で種々の変更が可能である。例えば、本発明の構成のうち、本質的部分以外の構成をこの構成と同様の作用効果を奏する出願時に予見不可能な技術的構成に置換して得られる発明は、本発明に包含され得る。更に前述した実施の形態には種々の段階の発明が含まれており、開示される複数の構成要件における適宜な組み合わせにより種々の発明が生成され得る。例えば実施の形態に示される全構成要件からいくつかの要件が省略されることで発明が生成される場合には、その生成された発明を実施する段階では省略部分が周知慣用技術で補われるものである。

40

【0298】

その他、本発明は、その要旨を逸脱しない範囲内で種々変更して実施することが出来る。例えば、上述した各実施の形態では可視光の波長の範囲内で撮像した画像データから分光画像を生成する装置に関して説明したが、波長は赤外線領域であってもよいし、紫外

50

線領域の波長が含まれる画像データを用いてもよいことは言うまでもない。

【図面の簡単な説明】

【 0 2 9 9 】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態に係る分光画像生成装置 1 の構成の一例を示す機能ブロック図である。

【図 2】同実施の形態に係る分光画像生成装置 1 の実行する実行処理の概要を示す模式図である。

【図 3】同実施の形態に係る分光画像生成装置 1 のマトリクス生成部 1 d がマトリクス生成時の重み付けに用いるパラメータの一例を説明するための図である。

【図 4】同実施の形態に係る分光画像生成装置 1 の実行する実行処理の概要を示す模式図である。

【図 5】同実施の形態に係る分光画像生成装置 1 の加重平均算出部 1 g が分光情報の加重平均を算出する場合に用いる *separable Hamming Window* の一例を説明するための図である。

【図 6】同実施の形態に係る分光画像生成装置 1 の加重平均算出部 1 g が分光情報の加重平均を算出する加重平均算出処理に関して説明するための図である。

【図 7】同実施の形態に係る分光画像生成装置 1 の加重平均算出部 1 g が分光情報の加重平均を算出する加重平均算出処理に関して説明するための図である。

【図 8】同実施の形態に係る分光画像生成装置 1 の実行する実行処理に関して説明するためのフローチャートである。

【図 9】本実施の形態の分光画像生成装置 1 に対する第 1 の比較例の分光画像生成装置の一例を示す機能ブロック図である。

【図 10】本実施の形態の分光画像生成装置 1 に対する第 2 の比較例の分光画像生成装置の一例を示す機能ブロック図である。

【図 11】本実施の形態の分光画像生成装置 1 に対する第 3 の比較例の分光画像生成装置の一例を示す機能ブロック図である。

【図 12】同実施の形態に係る分光画像生成装置の第 1 の画像センサ 1 a から出力された分光画像 *T o y* から生成されたスペクトルデータの数及び第 2 の画像センサ 1 b から出力された分光画像 *T o y* を分割する領域の数と、出力された分光画像から求めた分光反射率画像の誤差を表す分光反射率の誤差 (*N R M S E*) との関係の一例を示す図である。

【図 13】同実施の形態に係る分光画像生成装置と、前述した各比較例の分光画像生成装置とに関し、第 1 の画像センサ 1 a から出力された分光画像 *T o y* から生成されたスペクトルデータの数と、本実施の形態に係る分光画像生成装置と、前述した各比較例の分光画像生成装置とによってそれぞれ出力された分光画像から求めた分光反射率画像の誤差を表す分光反射率の誤差 (*N R M S E*) との関係の一例を示す図である。

【図 14】同実施の形態に係る分光画像生成装置と、前述した各比較例の分光画像生成装置とに関し、第 1 の画像センサ 1 a から出力された分光画像 *S c a r f* から生成されたスペクトルデータの数と、本実施の形態に係る分光画像生成装置と前述した各比較例の分光画像生成装置とによってそれぞれ出力された分光画像から求めた分光反射率画像の誤差を表す分光反射率の誤差 (*N R M S E*) との関係の一例を示す図である。

【図 15】同実施の形態に係る分光画像生成装置がオリジナルの分光画像から出力する分光画像を生成するのに必要となる計算量と、各比較例に係る分光画像生成装置がオリジナルの分光画像から出力する分光画像を生成するのに必要となる計算量との関係の一例を示す図である。

【図 16】オリジナルの分光画像を分割する領域の数を $N = N_1 \times N_2 = 512 \times 512$ とした場合に、本実施の形態に係る分光画像生成装置がオリジナルの分光画像から出力する分光画像を生成するのに必要となる計算量、及び比較例 2、3 に係る分光画像生成装置がオリジナルの分光画像から出力する分光画像を生成するのに必要となる計算量を示す乗算回数と、第 1 の画像センサ 1 a の画素数との関係の一例を示す図である。

【図 17】本発明の第 2 の実施の形態に係る分光画像生成装置 1' の一例を示す模式図で

ある。

【図 18】同実施の形態に係る分光画像生成装置 1' の実行する実行処理の概要を示す模式図である。

【図 19】同実施の形態に係る分光画像生成装置 1' の実行する実行処理に関して説明するためのフローチャートである。

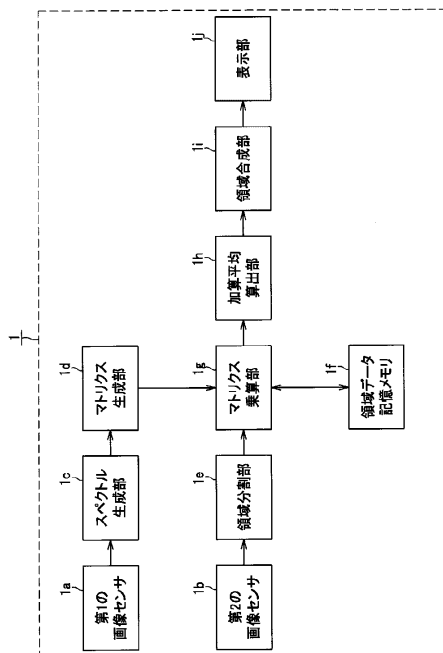
【符号の説明】

【0300】

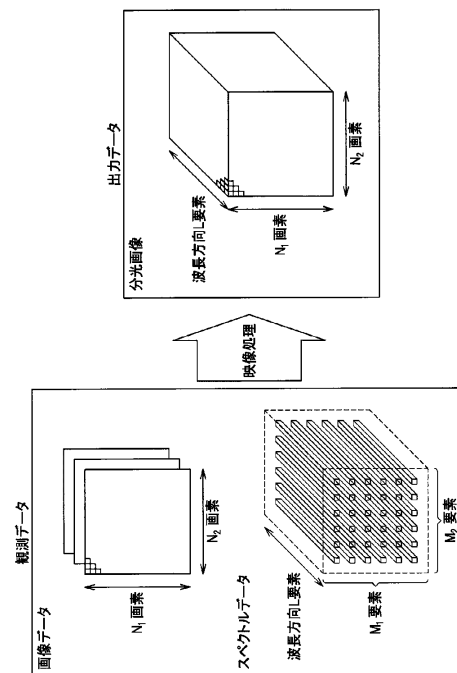
1、1' ... 分光画像生成装置、1a、1a' ... 第 1 の画像センサ、1b ... 第 2 の画像センサ、1b' ... 3 バンドのカラービデオカメラ、1c、1c' ... スペクトルデータ生成部、1d、1d' ... マトリクス生成部、1e、1e' ... 領域分割部、1f ... 領域データ記憶メモリ、1f' ... 時空間領域データ記憶メモリ、1g、1g' ... マトリクス乗算部、1h、1h' ... 加重平均算出部、1i、1i' ... 領域合成部、1j、1j' ... 表示部、1k ... 第 1 のデータバッファ、1l ... 第 2 のデータバッファ、1m ... 第 3 のデータバッファ、

10

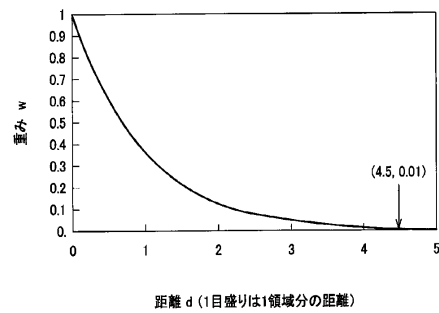
【図 1】



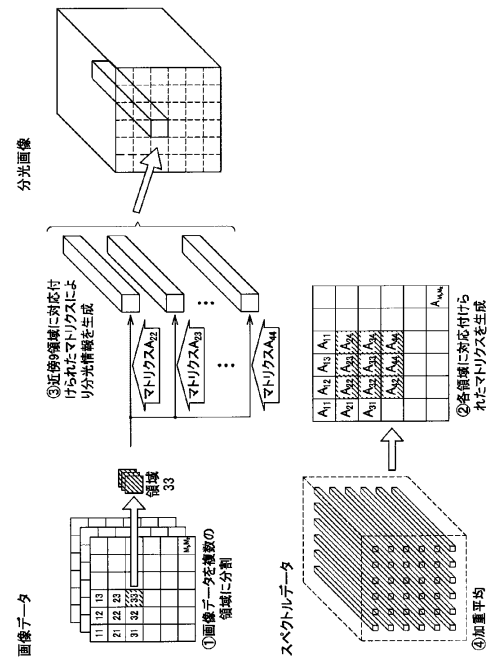
【図 2】



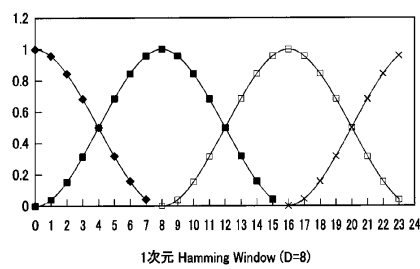
【図3】



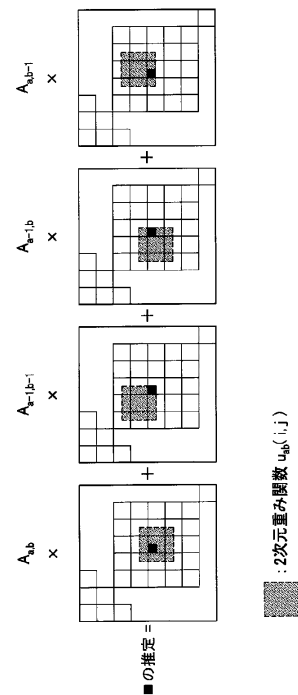
【図4】



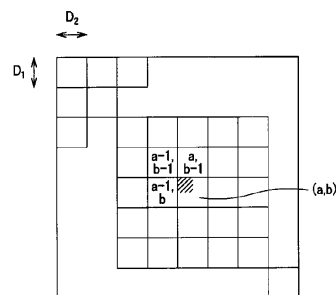
【図5】



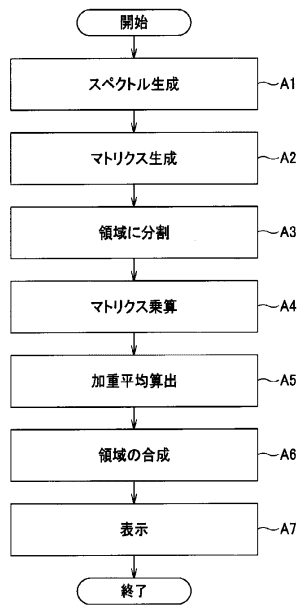
【図7】



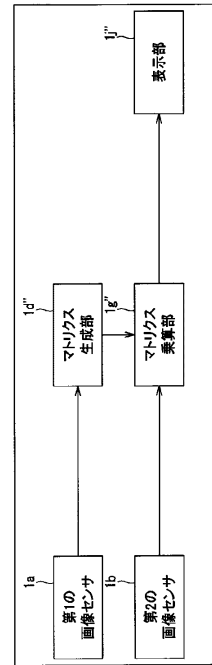
【図6】



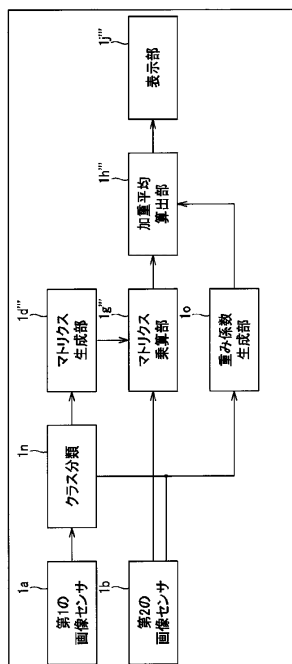
【図 8】



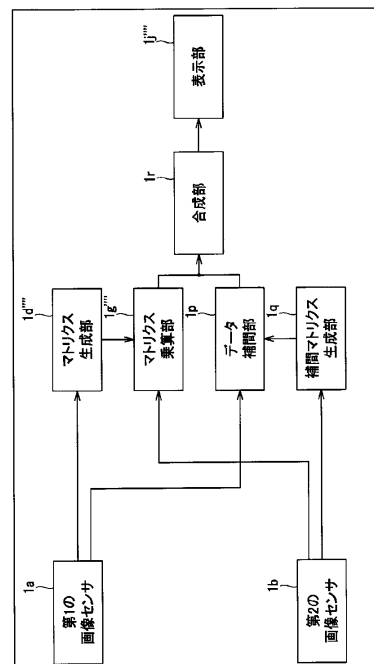
【図 9】



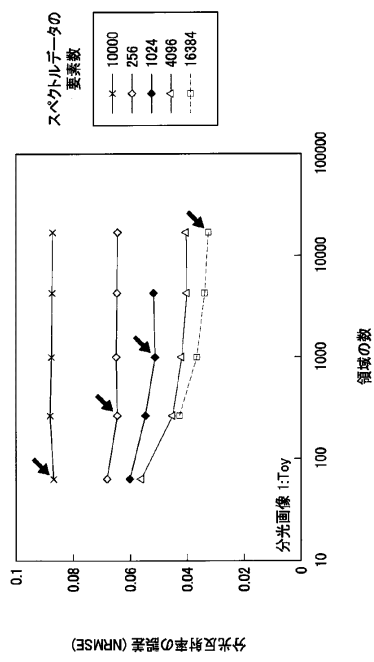
【図 10】



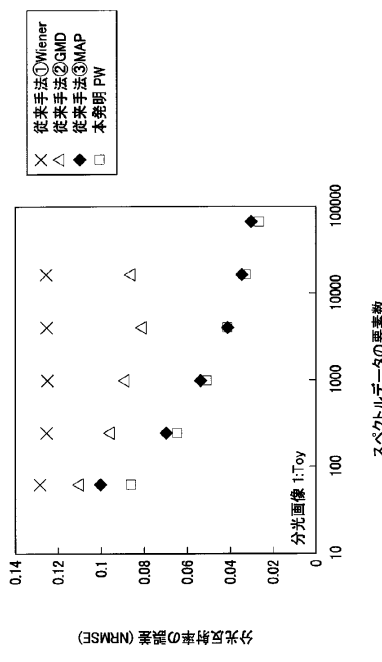
【図 11】



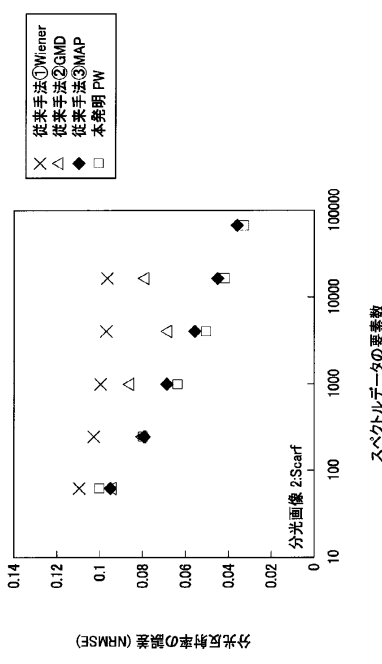
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】

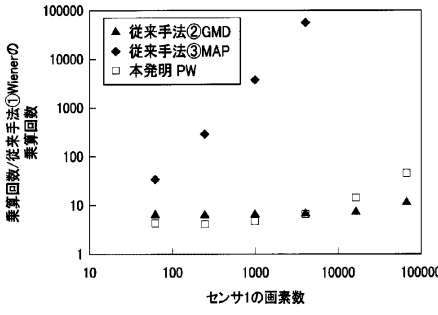


【図 1 5】

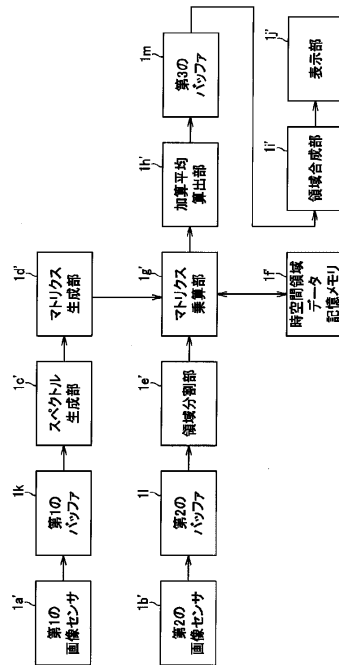
	1フレームの計算に要する乗算の回数 (概数)
Wiener	3LN
GMD	4CLN + ICML
MAP	(L + M)MN
PW	6MKL + 12LN N/M >> 40 の時 → 12LN

M: スペクトルデータの要素数 ($M_1 \times M_2$)
N: 画像データの画素数 ($N_1 \times N_2$)
L: スペクトルデータの波長方向要素
C: GMDにおけるクラス数
I: GMDにおけるスペクトルデータに対するクラスタリングにおけるイタレーション回数
K: PWにおいてスペクトルデータの重み ω が 0.01 以上とする要素数 = 81

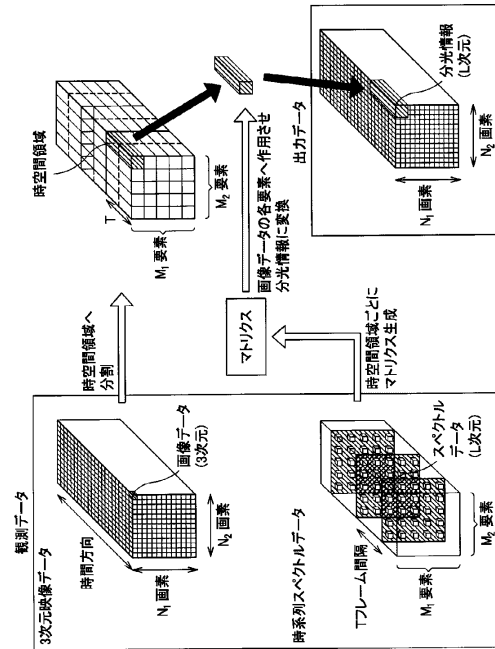
【図 1 6】



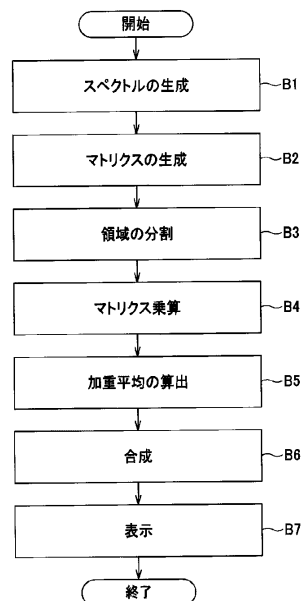
【図 17】



【図 18】



【図 19】



フロントページの続き

- (72)発明者 村上 百合
神奈川県横浜市緑区長津田町4 2 5 9 国立大学法人東京工業大学内
- (72)発明者 山口 雅浩
神奈川県横浜市緑区長津田町4 2 5 9 国立大学法人東京工業大学内
- (72)発明者 大山 永昭
神奈川県横浜市緑区長津田町4 2 5 9 国立大学法人東京工業大学内

審査官 広 島 明芳

- (56)参考文献 特開2 0 0 3 - 0 8 7 5 5 6 (J P , A)
特開2 0 0 6 - 2 5 5 3 2 4 (J P , A)
特開2 0 0 3 - 1 4 1 5 1 8 (J P , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
G 0 6 T 1 / 0 0