

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7668452号  
(P7668452)

(45)発行日 令和7年4月25日(2025.4.25)

(24)登録日 令和7年4月17日(2025.4.17)

(51)国際特許分類		F I	
H 0 4 N	25/10 (2023.01)	H 0 4 N	25/10
H 0 4 N	23/55 (2023.01)	H 0 4 N	23/55
H 0 4 N	23/60 (2023.01)	H 0 4 N	23/60
G 0 6 T	5/00 (2024.01)	G 0 6 T	5/00
H 0 4 N	23/95 (2023.01)	H 0 4 N	23/95

請求項の数 18 (全29頁)

(21)出願番号	特願2022-528738(P2022-528738)	(73)特許権者	314012076 パナソニックIPマネジメント株式会社 大阪府門真市元町2番6号
(86)(22)出願日	令和3年5月21日(2021.5.21)	(74)代理人	100101683 弁理士 奥田 誠司
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/019288	(74)代理人	100155000 弁理士 喜多 修市
(87)国際公開番号	WO2021/246192	(74)代理人	100188813 弁理士 川喜田 徹
(87)国際公開日	令和3年12月9日(2021.12.9)	(74)代理人	100184985 弁理士 田中 悠
審査請求日	令和6年5月7日(2024.5.7)	(74)代理人	100202197 弁理士 村瀬 成康
(31)優先権主張番号	特願2020-98415(P2020-98415)	(74)代理人	100218981 弁理士 武田 寛之
(32)優先日	令和2年6月5日(2020.6.5)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 信号処理方法、信号処理装置、および撮像システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

コンピュータによって実行される信号処理方法であって、  
対象波長域に含まれる少なくとも4つの波長バンドの各々についての輝度情報であるハイパースペクトル情報を含み、前記ハイパースペクトル情報が圧縮された2次元画像を示す第1の圧縮画像データを取得することと、

前記第1の圧縮画像データから部分画像データを抽出することと、

前記部分画像データから、第1の波長バンドに対応する第1の2次元画像データ、及び第2の波長バンドに対応する第2の2次元画像データを生成することと、  
を含む方法。

【請求項2】

前記第1の圧縮画像データは、複数の画素のデータを含み、

前記複数の画素の各々のデータは、互いに重畳された第1の情報及び第2の情報を含み、前記第1の情報及び前記第2の情報の各々は、前記少なくとも4つの波長バンドにおける1つの波長バンドに対応する、

請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記第1の圧縮画像データは、空間的に符号化された第1の情報及び空間的に符号化された第2の情報を含み、

前記第1の情報及び前記第2の情報の各々は、前記少なくとも4つの波長バンドにおけ

る 1 つの波長バンドに対応する、  
請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記部分画像データが、前記部分画像データから前記第 1 の 2 次元画像データ及び前記第 2 の 2 次元画像データを生成することに適しているか否かを判断することと、

前記部分画像データが、前記部分画像データから前記第 1 の 2 次元画像データ及び前記第 2 の 2 次元画像データを生成することに適していると判断された場合、前記部分画像データから前記第 1 の 2 次元画像データ及び前記第 2 の 2 次元画像データを生成すること、  
とをさらに含む、

請求項 1 から 3 のいずれかに記載の方法。

10

【請求項 5】

前記部分画像データが、前記部分画像データから前記第 1 の 2 次元画像データ及び前記第 2 の 2 次元画像データを生成することに適しているか否かを判断することは、前記部分画像データの画素数に基づいて実行される、

請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記部分画像データが、前記部分画像データから前記第 1 の 2 次元画像データ及び前記第 2 の 2 次元画像データを生成することに適していないと判断された場合、前記部分画像データの前記画素数を増加させることをさらに含む、

請求項 5 に記載の方法。

20

【請求項 7】

前記第 1 の圧縮画像データは、分光透過率が互いに異なる複数種類の光学フィルタを含むフィルタアレイと、前記フィルタアレイを通過した光により形成される像を取得するイメージセンサとを備えた撮像装置によって生成される、

請求項 1 から 6 のいずれかに記載の方法。

【請求項 8】

前記第 1 の圧縮画像データは、分光透過率が互いに異なる複数種類の光学フィルタを含むフィルタアレイと、前記フィルタアレイを通過した光により形成される像を取得するイメージセンサとを備えた撮像装置によって生成され、

前記方法は、さらに、

前記部分画像データが、前記部分画像データから前記第 1 の 2 次元画像データ及び前記第 2 の 2 次元画像データを生成することに適していないと判断された場合、前記撮像装置に、前記部分画像データに対応する領域を拡大して撮像させることによって第 2 の圧縮画像データを生成させることを含む、

30

前記第 1 の 2 次元画像データ及び前記第 2 の 2 次元画像データは、前記第 2 の圧縮画像データに基づいて生成される、

請求項 4 に記載の方法。

【請求項 9】

前記フィルタアレイの前記分光透過率の空間分布が反映されたマスクデータを取得することをさらに含む、

40

前記第 1 の 2 次元画像データ及び前記第 2 の 2 次元画像データは、前記マスクデータのうち、前記部分画像データに対応する部分のデータと、前記部分画像データとに基づいて生成される、

請求項 7 または 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記部分画像データが、前記部分画像データから前記第 1 の 2 次元画像データ及び前記第 2 の 2 次元画像データを生成することに適していないと判断された場合、表示装置にエラーを表示させることをさらに含む、

請求項 4 に記載の方法。

【請求項 11】

50

前記２次元画像のうち、前記部分画像データとして抽出される領域をユーザに指定させるグラフィカルユーザインターフェースを表示装置に表示させることをさらに含む、請求項１から１０のいずれかに記載の方法。

【請求項１２】

前記２次元画像のエッジを検出することをさらに含み、前記部分画像データは、前記エッジに基づいて抽出される、請求項１から１１のいずれかに記載の方法。

【請求項１３】

前記第１の圧縮画像データから特定の波長成分の輝度情報を抽出することをさらに含み、前記部分画像データは、前記輝度情報に基づいて抽出される、請求項１から１２のいずれかに記載の方法。

10

【請求項１４】

前記部分画像データが、前記部分画像データから前記第１の２次元画像データ及び前記第２の２次元画像データを生成することに適しているか否かを判断するための閾値データを、ユーザに入力させるグラフィカルユーザインターフェースを表示装置に表示させることをさらに含む、請求項４に記載の方法。

【請求項１５】

前記閾値データは、画素数又は輝度誤差に関連するパラメータを含む、請求項１４に記載の方法。

20

【請求項１６】

プロセッサと、前記プロセッサによって実行されるコンピュータプログラムを格納したメモリと、を備え、前記コンピュータプログラムは、前記プロセッサに、対象波長域に含まれる少なくとも４つの波長バンドの各々についての輝度情報であるハイパースペクトル情報を含み、前記ハイパースペクトル情報が圧縮された２次元画像を示す圧縮画像データを取得することと、前記圧縮画像データから部分画像データを抽出することと、前記部分画像データから、第１の波長バンドに対応する第１の２次元画像データ、及び第２の波長バンドに対応する第２の２次元画像データを生成することと、を実行させる、信号処理装置。

30

【請求項１７】

請求項１６に記載の信号処理装置と、前記圧縮画像データを生成する撮像装置と、を備える、撮像システム。

【請求項１８】

コンピュータに、対象波長域に含まれる少なくとも４つの波長バンドの各々についての輝度情報であるハイパースペクトル情報を含み、前記ハイパースペクトル情報が圧縮された２次元画像を示す圧縮画像データを取得することと、前記圧縮画像データから部分画像データを抽出することと、前記部分画像データから、第１の波長バンドに対応する第１の２次元画像データ、及び第２の波長バンドに対応する第２の２次元画像データを生成することと、を実行させる、コンピュータプログラム。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本開示は、信号処理方法、信号処理装置、および撮像システムに関する。

【背景技術】

50

## 【 0 0 0 2 】

各々が狭帯域である多数のバンド、例えば数十バンドのスペクトル情報を活用することにより、従来のRGB画像では不可能であった対象物の詳細な物性の把握が可能になる。このような多波長の情報を取得するカメラは、「ハイパースペクトルカメラ」と呼ばれる。ハイパースペクトルカメラは、食品検査、生体検査、医薬品開発、および鉱物の成分分析などの様々な分野で利用されている。

## 【 0 0 0 3 】

特許文献1および特許文献2は、圧縮センシングを利用してハイパースペクトル画像を取得する撮像装置の例を開示している。特許文献1および特許文献2に開示された撮像装置は、被写体とイメージセンサとを結ぶ光路上に、透過スペクトルが互いに異なる複数の光学フィルタのアレイを備える。特許文献1においては、主に単一モード干渉フィルタアレイを用いて空間的な圧縮センシングが行われる。一方、特許文献2においては、多モード干渉フィルタアレイを用いて波長情報の圧縮センシングが行われる。特許文献1および特許文献2に開示された方法は、圧縮されたハイパースペクトル情報を含む圧縮画像からハイパースペクトル画像を生成する点に特徴を有している。そのような方法は、解像度および撮像に要する時間の点で、他の方式と比較して優位性を有する。

10

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【 0 0 0 4 】

【文献】国際公開第2016/012980号明細書

20

【文献】米国特許第9599511号明細書

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【 0 0 0 5 】

本開示は、ハイパースペクトル画像の生成に要する計算量および時間をさらに低減するための技術を提供する。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 0 6 】

本開示の一態様に係る信号処理方法は、コンピュータによって実行される。前記信号処理方法は、対象波長域に含まれる少なくとも4つの波長バンドの各々についての輝度情報であるハイパースペクトル情報を含み、前記ハイパースペクトル情報が圧縮された2次元画像を示す第1の圧縮画像データを取得することと、前記第1の圧縮画像データから部分画像データを抽出することと、前記部分画像データから、第1の波長バンドに対応する第1の2次元画像データ、及び第2の波長バンドに対応する第2の2次元画像データを生成することと、を含む。

30

## 【 0 0 0 7 】

本開示の包括的または具体的な態様は、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラムまたはコンピュータ読み取り可能な記録ディスク等の記録媒体で実現されてもよく、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラムおよび記録媒体の任意の組み合わせで実現されてもよい。コンピュータ読み取り可能な記録媒体は、例えばCD-ROM (Compact Disc Read Only Memory) 等の不揮発性の記録媒体を含み得る。装置は、1つ以上の装置で構成されてもよい。装置が2つ以上の装置で構成される場合、当該2つ以上の装置は、1つの機器内に配置されてもよく、分離した2つ以上の機器内に分かれて配置されてもよい。本明細書および特許請求の範囲では、「装置」とは、1つの装置を意味し得るだけでなく、複数の装置からなるシステムも意味し得る。

40

## 【発明の効果】

## 【 0 0 0 8 】

本開示の一態様によれば、ハイパースペクトル画像の生成に要する計算量および時間を低減することができる。

50

## 【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1A】図1Aは、例示的なハイパースペクトル撮像システムを模式的に示す図である。

【図1B】図1Bは、例示的なハイパースペクトル撮像システムの第1の変形例を模式的に示す図である。

【図1C】図1Cは、例示的なハイパースペクトル撮像システムの第2の変形例を模式的に示す図である。

【図1D】図1Dは、例示的なハイパースペクトル撮像システムの第3の変形例を模式的に示す図である。

【図2A】図2Aは、フィルタアレイの例を模式的に示す図である。

10

【図2B】図2Bは、対象波長域に含まれる複数の波長バンド $W_1$ 、 $W_2$ 、 $\dots$ 、 $W_N$ のそれぞれの光の透過率の空間分布の一例を示す図である。

【図2C】図2Cは、図2Aに示すフィルタアレイに含まれる領域A1の分光透過率の例を示す図である。

【図2D】図2Dは、図2Aに示すフィルタアレイに含まれる領域A2の分光透過率の例を示す図である。

【図3A】図3Aは、対象波長域 $W$ と、それに含まれる複数の波長バンド $W_1$ 、 $W_2$ 、 $\dots$ 、 $W_N$ との関係の一例を示す図である。

【図3B】図3Bは、対象波長域 $W$ と、それに含まれる複数の波長バンド $W_1$ 、 $W_2$ 、 $\dots$ 、 $W_N$ との関係の他の例を示す図である。

20

【図4A】図4Aは、フィルタアレイのある領域における分光透過率の特性を説明するための図である。

【図4B】図4Bは、図4Aに示す分光透過率を、波長バンド $W_1$ 、 $W_2$ 、 $\dots$ 、 $W_N$ ごとに平均化した結果を示す図である。

【図5】図5は、ハイパースペクトルカメラによって取得される圧縮画像の例を示す図である。

【図6】図6は、圧縮センシングに基づく演算によって生成されたハイパースペクトル画像の誤差と画素数との関係の例を示す図である。

【図7】図7は、本開示の例示的な実施形態における撮像システムの構成を示す図である。

【図8】図8は、撮像システムの動作を示すフローチャートである。

30

【図9】図9は、撮像条件を入力するためのGUIの画面の例を示す図である。

【図10】図10は、抽出対象の領域を設定するためのGUIの例を示す図である。

【図11A】図11Aは、マスクデータの編集処理を説明するための図である。

【図11B】図11Bは、マスクデータの編集処理を説明するための図である。

【図12】図12は、第1の変形例における撮像システムの動作を示すフローチャートである。

【図13A】図13Aは、エラー画面の例を示す図である。

【図13B】図13Bは、領域拡大処理を説明するための図である。

【図13C】図13Cは、領域拡大処理を説明するための図である。

【図14】図14は、第2の変形例における撮像システムの動作を示すフローチャートである。

40

【図15】図15は、エラー画面の例を示す図である。

【図16】図16は、圧縮画像から抽出すべき領域をエッジ検出によって決定する例を説明するための図である。

【図17A】図17Aは、圧縮画像から抽出すべき領域を色判別の結果に基づいて決定する例を説明するための図である。

【図17B】図17Bは、圧縮画像から抽出すべき領域を色判別の結果に基づいて決定する例を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

50

以下で説明される実施形態は、いずれも包括的または具体的な例を示すものである。以下の実施形態で示される数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置、位置および接続形態、ステップ、およびステップの順序は、一例であり、本開示の技術を限定する趣旨ではない。以下の実施形態における構成要素のうち、最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。各図は模式図であり、必ずしも厳密に図示されたものではない。さらに、各図において、実質的に同一または類似の構成要素には同一の符号が付されている。重複する説明は省略または簡略化されることがある。

#### 【0011】

本開示において、回路、ユニット、装置、部材または部の全部または一部、またはブロック図における機能ブロックの全部または一部は、例えば、半導体装置、半導体集積回路(IC)、またはLSI(Large scale integration)を含む1つまたは複数の電子回路によって実行され得る。LSIまたはICは、1つのチップに集積されてもよいし、複数のチップを組み合わせて構成されてもよい。例えば、記憶素子以外の機能ブロックは、1つのチップに集積されてもよい。ここでは、LSIまたはICと呼んでいるが、集積の度合いによって呼び方が変わり、システムLSI、VLSI(very large scale integration)、もしくはULSI(ultra large scale integration)と呼ばれるものであってもよい。LSIの製造後にプログラムされる、Field Programmable Gate Array(FPGA)、またはLSI内部の接合関係の再構成またはLSI内部の回路区画のセットアップができるreconfigurable logic deviceも同じ目的で使うことができる。

#### 【0012】

さらに、回路、ユニット、装置、部材または部の全部または一部の機能または動作は、ソフトウェア処理によって実行することが可能である。この場合、ソフトウェアは、1つまたは複数のROM、光学ディスク、ハードディスクドライブなどの非一時的記録媒体に記録され、ソフトウェアが処理装置(processor)によって実行されたときに、そのソフトウェアで特定された機能が処理装置および周辺装置によって実行される。システムまたは装置は、ソフトウェアが記録されている1つまたは複数の非一時的記録媒体、処理装置、および必要とされるハードウェアデバイス、例えばインターフェースを備えていてもよい。

#### 【0013】

まず、本開示の実施形態に係るハイパースペクトル撮像システムの構成例、および本発明者らによって見出された知見を説明する。

#### 【0014】

図1Aは、例示的なハイパースペクトル撮像システムを模式的に示す図である。このシステムは、撮像装置100と、信号処理装置200とを備える。撮像装置100は、特許文献2に開示された撮像装置と同様の構成を備える。撮像装置100は、光学系140と、フィルタレイ110と、イメージセンサ160とを備える。フィルタレイ110は、特許文献2に開示されている「符号化素子」と同様の構造および機能を有する。光学系140およびフィルタレイ110は、被写体である対象物70から入射する光の光路上に配置されている。フィルタレイ110は、光学系140とイメージセンサ160との間に配置される。

#### 【0015】

図1Aには、対象物70の一例として、リングが例示されている。対象物70は、リングに限らず、任意の物体であり得る。イメージセンサ160は、複数の波長バンドの情報が2次元のモノクロ画像として圧縮された圧縮画像120のデータを生成する。信号処理装置200は、イメージセンサ160が生成した圧縮画像120のデータに基づいて、対象波長域に含まれる複数の波長バンドのそれぞれについての画像データを生成する。この生成される複数の波長バンドの画像データを、本明細書において「ハイパースペクトル画

10

20

30

40

50

像データ」と称する。ここで、対象波長域に含まれる波長バンドの数を $N$  ( $N$ は4以上の整数)とする。以下の説明において、生成される複数の波長バンドの画像データを、ハイパースペクトル画像 $220W_1$ 、 $220W_2$ 、 $\dots$ 、 $220W_N$ と称し、これらをハイパースペクトル画像 $220$ と総称する。本明細書において、画像を示す信号、すなわち、各画素の画素値を表す信号の集合を、単に「画像」と称することがある。

【0016】

フィルタアレイ110は、行および列状に配列された透光性を有する複数のフィルタのアレイである。複数のフィルタは、分光透過率、すなわち光透過率の波長依存性が互いに異なる複数種類のフィルタを含む。フィルタアレイ110は、入射光の強度を波長ごとに変調して出力する。フィルタアレイ110によるこの過程を、本明細書において「符号化」と称する。

10

【0017】

図1Aに示す例において、フィルタアレイ110は、イメージセンサ160の近傍または直上に配置されている。ここで「近傍」とは、光学系140からの光の像がある程度鮮明な状態でフィルタアレイ110の面上に形成される程度に近接していることを意味する。「直上」とは、ほとんど隙間が生じない程度両者が近接していることを意味する。フィルタアレイ110およびイメージセンサ160は一体化されていてもよい。

【0018】

光学系140は、少なくとも1つのレンズを含む。図1Aでは、光学系140が1つのレンズとして示されているが、光学系140は複数のレンズの組み合わせであってもよい。光学系140は、フィルタアレイ110を介して、イメージセンサ160の撮像面上に像を形成する。

20

【0019】

フィルタアレイ110は、イメージセンサ160から離れて配置されていてもよい。図1Bから図1Dは、フィルタアレイ110がイメージセンサ160から離れて配置されている撮像装置100の構成例を示す図である。図1Bの例では、フィルタアレイ110が、光学系140とイメージセンサ160との間で且つイメージセンサ160から離れた位置に配置されている。図1Cの例では、フィルタアレイ110が対象物70と光学系140との間に配置されている。図1Dの例では、撮像装置100が2つの光学系140Aおよび140Bを備え、それらの間にフィルタアレイ110が配置されている。これらの例のように、フィルタアレイ110とイメージセンサ160との間に1つ以上のレンズを含む光学系が配置されていてもよい。

30

【0020】

イメージセンサ160は、2次元的に配列された複数の光検出素子(本明細書において、「画素」とも呼ぶ。)を有するモノクロタイプの光検出器である。イメージセンサ160は、例えばCCD(Charge-Coupled Device)、CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)センサ、赤外線アレイセンサ、テラヘルツアレイセンサ、またはミリ波アレイセンサであり得る。光検出素子は、例えばフォトダイオードを含む。イメージセンサ160は、必ずしもモノクロタイプのセンサである必要はない。例えば、R/G/B、R/G/B/IR、またはR/G/B/Wのフィルタを有するカラータイプのセンサを用いてもよい。カラータイプのセンサを使用することで、波長に関する情報量を増やすことができ、ハイパースペクトル画像 $220$ の再構成の精度を向上させることができる。取得対象の波長範囲は任意に決定してよく、可視の波長範囲に限らず、紫外、近赤外、中赤外、遠赤外、マイクロ波・電波の波長範囲であってもよい。

40

【0021】

信号処理装置200は、プロセッサと、メモリ等の記憶媒体とを備えるコンピュータである。信号処理装置200は、イメージセンサ160によって取得された圧縮画像120に基づいて、複数の波長バンドの情報をそれぞれ含む複数のハイパースペクトル画像 $220W_1$ 、 $220W_2$ 、 $\dots$ 、 $220W_N$ のデータを生成する。

50

## 【 0 0 2 2 】

図 2 A は、フィルタアレイ 1 1 0 の例を模式的に示す図である。フィルタアレイ 1 1 0 は、2 次元的に配列された複数の領域を有する。本明細書では、当該領域を、「セル」と称することがある。各領域には、個別に設定された分光透過率を有する光学フィルタが配置されている。分光透過率は、入射光の波長を  $\lambda$  として、関数  $T(\lambda)$  で表される。分光透過率  $T(\lambda)$  は、0 以上 1 以下の値を取り得る。

## 【 0 0 2 3 】

図 2 A に示す例では、フィルタアレイ 1 1 0 は、6 行 8 列に配列された 4 8 個の矩形領域を有する。これはあくまで例示であり、実際の用途では、これよりも多くの領域が設けられ得る。その数は、例えばイメージセンサ 1 6 0 の画素数と同程度であってもよい。フィルタアレイ 1 1 0 に含まれるフィルタ数は、例えば数十から数千万の範囲で用途に応じて決定される。

10

## 【 0 0 2 4 】

図 2 B は、対象波長域に含まれる複数の波長バンド  $W_1$ 、 $W_2$ 、 $\dots$ 、 $W_N$  のそれぞれの光の透過率の空間分布の一例を示す図である。図 2 B に示す例では、各領域の濃淡の違いは、透過率の違いを表している。淡い領域ほど透過率が高く、濃い領域ほど透過率が低い。図 2 B に示すように、波長バンドによって光透過率の空間分布が異なっている。

## 【 0 0 2 5 】

図 2 C および図 2 D は、それぞれ、図 2 A に示すフィルタアレイ 1 1 0 に含まれる領域 A 1 および領域 A 2 の分光透過率の例を示す図である。領域 A 1 の分光透過率と領域 A 2 の分光透過率とは、互いに異なる。このように、フィルタアレイ 1 1 0 の分光透過率は、領域によって異なる。ただし、必ずしもすべての領域の分光透過率が異なっている必要はない。フィルタアレイ 1 1 0 では、複数の領域の少なくとも一部の領域の分光透過率が互いに異なっている。フィルタアレイ 1 1 0 は、分光透過率が互いに異なる 2 つ以上のフィルタを含む。ある例では、フィルタアレイ 1 1 0 に含まれる複数の領域の分光透過率のパターンの数は、対象波長域に含まれる波長バンドの数  $N$  と同じか、それ以上であり得る。フィルタアレイ 1 1 0 は、半数以上の領域の分光透過率が異なるように設計されていてもよい。

20

## 【 0 0 2 6 】

図 3 A および図 3 B は、対象波長域  $W$  と、それに含まれる複数の波長バンド  $W_1$ 、 $W_2$ 、 $\dots$ 、 $W_N$  との関係を示すための図である。対象波長域  $W$  は、用途によって様々な範囲に設定され得る。対象波長域  $W$  は、例えば、約 4 0 0 nm から約 7 0 0 nm の可視光の波長域、約 7 0 0 nm から約 2 5 0 0 nm の近赤外線波長域、または約 1 0 nm から約 4 0 0 nm の近紫外線の波長域であり得る。あるいは、対象波長域  $W$  は、中赤外、遠赤外、テラヘルツ波、またはミリ波などの電波域であってもよい。このように、使用される波長域は可視光域とは限らない。本明細書では、可視光に限らず、近紫外線、近赤外線、および電波などの非可視光も便宜上「光」と称する。

30

## 【 0 0 2 7 】

図 3 A に示す例では、 $N$  を 4 以上の任意の整数として、対象波長域  $W$  を  $N$  等分したそれぞれの波長域を波長バンド  $W_1$ 、 $W_2$ 、 $\dots$ 、 $W_N$  としている。ただしこのような例に限定されない。対象波長域  $W$  に含まれる複数の波長バンドは任意に設定してもよい。例えば、波長バンドによって帯域幅を不均一にしてもよい。隣接する波長バンドの間にギャップまたは重なりがあってもよい。図 3 B に示す例では、波長バンドによって帯域幅が異なり、且つ隣接する 2 つの波長バンドの間にギャップがある。このように、複数の波長バンドは、互いに異なっていればよく、その決め方は任意である。

40

## 【 0 0 2 8 】

図 4 A は、フィルタアレイ 1 1 0 のある領域における分光透過率の特性を説明するための図である。図 4 A に示す例では、分光透過率は、対象波長域  $W$  内の波長に関して、複数の極大値  $P_1$  から  $P_5$ 、および複数の極小値を有する。図 4 A に示す例では、対象波長域  $W$  内の光透過率の最大値が 1、最小値が 0 となるように正規化されている。図 4 A に示

50

す例では、波長バンド $W_2$ 、および波長バンド $W_{N-1}$ などの波長域において、分光透過率が極大値を有している。このように、各領域の分光透過率は、複数の波長バンド $W_1$ から $W_N$ のうち、少なくとも2つの複数の波長域において極大値を有する。図4Aの例では、極大値 $P_1$ 、 $P_3$ 、 $P_4$ および $P_5$ は0.5以上である。

#### 【0029】

以上のように、各領域の光透過率は、波長によって異なる。したがって、フィルタレイ110は、入射する光のうち、ある波長域の成分を多く透過させ、他の波長域の成分をそれほど透過させない。例えば、 $N$ 個の波長バンドのうち $k$ 個の波長バンドの光については、透過率が0.5よりも大きく、残りの $N-k$ 個の波長域の光については、透過率が0.5未満であり得る。 $k$ は、 $2 \leq k < N$ を満たす整数である。仮に入射光が、すべての可視光の波長成分を均等に含む白色光であった場合には、フィルタレイ110は、入射光を領域ごとに、波長に関して離散的な複数の強度のピークを有する光に変調し、これらの多波長の光を重畳して出力する。

10

#### 【0030】

図4Bは、一例として、図4Aに示す分光透過率を、波長バンド $W_1$ 、 $W_2$ 、 $\dots$ 、 $W_N$ ごとに平均化した結果を示す図である。平均化された透過率は、分光透過率 $T(\lambda)$ を波長バンドごとに積分してその波長バンドの帯域幅で除算することによって得られる。本明細書では、このように波長バンドごとに平均化した透過率の値を、その波長バンドにおける透過率とする。この例では、極大値 $P_1$ 、 $P_3$ および $P_5$ をとる3つの波長域において、透過率が突出して高くなっている。特に、極大値 $P_3$ および $P_5$ をとる2つの波長域において、透過率が0.8を超えている。

20

#### 【0031】

図2Aから図2Dに示す例では、各領域の透過率が0以上1以下の任意の値をとり得るグレースケールの透過率分布が想定されている。しかし、必ずしもグレースケールの透過率分布にする必要はない。例えば、各領域の透過率がほぼ0またはほぼ1のいずれかの値を取り得るバイナリスケールの透過率分布を採用してもよい。バイナリスケールの透過率分布では、各領域は、対象波長域に含まれる複数の波長域のうち少なくとも2つの波長域の光の大部分を透過させ、残りの波長域の光の大部分を透過させない。ここで「大部分」とは、概ね80%以上を指す。

#### 【0032】

全セルのうちの一部、例えば半分のセルを、透明領域に置き換えてもよい。そのような透明領域は、対象波長域 $W$ に含まれるすべての波長バンド $W_1$ から $W_N$ の光を同程度の高い透過率、例えば80%以上の透過率で透過させる。そのような構成では、複数の透明領域は、例えば市松(chessboard)状に配置され得る。すなわち、フィルタレイ110における複数の領域の2つの配列方向において、光透過率が波長によって異なる領域と、透明領域とが交互に配列され得る。

30

#### 【0033】

このようなフィルタレイ110の分光透過率の空間分布を示すデータは、設計データまたは実測キャリブレーションに基づいて事前に取得され、信号処理装置200が備える記憶媒体に格納される。このデータは、後述する演算処理に利用される。

40

#### 【0034】

フィルタレイ110は、例えば、多層膜、有機材料、回折格子構造、または金属を含む微細構造を用いて構成され得る。多層膜を用いる場合、例えば、誘電体多層膜または金属層を含む多層膜が用いられ得る。この場合、フィルタごとに各多層膜の厚さ、材料、および積層順序の少なくとも1つが異なるように形成される。これにより、フィルタによって異なる分光特性を実現できる。多層膜を用いることにより、分光透過率におけるシャープな立ち上がりおよび立ち下りを実現できる。有機材料を用いた構成は、フィルタによって含有する顔料または染料が異なるようにしたり、異種の材料を積層させたりすることによって実現され得る。回折格子構造を用いた構成は、フィルタごとに異なる回折ピッチまたは深さの回折構造を設けることによって実現され得る。金属を含む微細構造を用いる場合

50

は、プラズモン効果による分光を利用して作製され得る。

【0035】

次に、信号処理装置200による信号処理の例を説明する。信号処理装置200は、イメージセンサ160から出力された圧縮画像120、およびフィルタアレイ110の波長ごとの透過率の空間分布特性に基づいて、多波長のハイパースペクトル画像220を再構成する。ここで多波長とは、例えば通常のカラーカメラで取得されるRGBの3色の波長域よりも多くの波長域を意味する。この波長域の数は、例えば4から100程度の数であり得る。この波長域の数を、バンド数と称する。用途によっては、バンド数は100を超えていてもよい。

【0036】

求めたいデータはハイパースペクトル画像220のデータであり、そのデータを $f$ とする。バンド数を $N$ とすると、 $f$ は、各バンドの画像データ $f_1$ 、 $f_2$ 、 $\dots$ 、 $f_N$ を統合したデータである。ここで、図1Aに示すように、画像の横方向を $x$ 方向、画像の縦方向を $y$ 方向とする。求めるべき画像データの $x$ 方向の画素数を $n$ とし、 $y$ 方向の画素数を $m$ とすると、画像データ $f_1$ 、 $f_2$ 、 $\dots$ 、 $f_N$ の各々は、 $n \times m$ 画素の2次元データである。したがって、データ $f$ は要素数 $n \times m \times N$ の3次元データである。この3次元データを、「ハイパースペクトル画像データ」または「ハイパースペクトルデータキューブ」と称する。一方、フィルタアレイ110によって符号化および多重化されて取得される圧縮画像120のデータ $g$ の要素数は $n \times m$ である。データ $g$ は、以下の式(1)によって表すことができる。

【数1】

$$g = Hf = H \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_N \end{bmatrix} \quad (1)$$

【0037】

ここで、 $f_1$ 、 $f_2$ 、 $\dots$ 、 $f_N$ の各々は、 $n \times m$ 個の要素を有するデータである。したがって、右辺のベクトルは、厳密には $n \times m \times N$ 行1列の1次元ベクトルである。ベクトル $g$ は、 $n \times m$ 行1列の1次元ベクトルに変換されて表され、計算される。行列 $H$ は、ベクトル $f$ の各成分 $f_1$ 、 $f_2$ 、 $\dots$ 、 $f_N$ を波長バンドごとに異なる符号化情報(以下、「マスク情報」とも称する。)で符号化および強度変調し、それらを加算する変換を表す。したがって、 $H$ は、 $n \times m$ 行 $n \times m \times N$ 列の行列である。

【0038】

ベクトル $g$ と行列 $H$ が与えられれば、式(1)の逆問題を解くことにより、 $f$ を算出することができそうである。しかし、求めるデータ $f$ の要素数 $n \times m \times N$ が取得データ $g$ の要素数 $n \times m$ よりも多いため、この問題は不良設定問題であり、このままでは解くことができない。そこで、信号処理装置200は、データ $f$ に含まれる画像の冗長性を利用し、圧縮センシングの手法を用いて解を求める。具体的には、以下の式(2)を解くことにより、求めるデータ $f$ が推定される。

【数2】

$$f' = \arg \min_f \{ \|g - Hf\|_{l_2} + \tau \Phi(f) \} \quad (2)$$

【0039】

ここで、 $f'$  は、推定された  $f$  のデータを表す。上式の括弧内の第 1 項は、推定結果  $Hf$  と取得データ  $g$  とのずれ量、いわゆる残差項を表す。ここでは 2 乗和を残差項としているが、絶対値または二乗和平方根等を残差項としてもよい。括弧内の第 2 項は、正則化項または安定化項である。式 (2) は、第 1 項と第 2 項との和を最小化する  $f$  を求めることを意味する。信号処理装置 200 は、再帰的な反復演算によって解を収束させ、最終的な解  $f'$  を算出することができる。

#### 【0040】

式 (2) の括弧内の第 1 項は、取得データ  $g$  と、推定過程の  $f$  を行列  $H$  によって変換した  $Hf$  との差の二乗和を求める演算を意味する。第 2 項の  $\lambda \|f\|$  は、 $f$  の正則化における制約条件であり、推定データのスパース情報を反映した関数である。この関数は、推定データを滑らかまたは安定にする効果をもたらす。正則化項は、例えば、 $f$  の離散的コサイン変換 (DCT)、ウェーブレット変換、フーリエ変換、またはトータルバリエーション (TV) などによって表され得る。例えば、トータルバリエーションを使用した場合、観測データ  $g$  のノイズの影響を抑えた安定した推定データを取得できる。それぞれの正則化項の空間における対象物 70 のスパース性は、対象物 70 のテクスチャによって異なる。対象物 70 のテクスチャが正則化項の空間においてよりスパースになる正則化項を選んでもよい。あるいは、複数の正則化項を演算に含んでもよい。 $w$  は、重み係数である。重み係数  $w$  が大きいほど冗長的なデータの削減量が多くなり、圧縮する割合が高まる。重み係数  $w$  が小さいほど解への収束性が弱くなる。重み係数  $w$  は、 $f$  がある程度収束し、かつ、過圧縮にならない適度な値に設定される。

#### 【0041】

なお、図 1B および図 1C の構成においては、フィルタアレイ 110 によって符号化された像は、イメージセンサ 160 の撮像面上でボケた状態で取得される。したがって、予めこのボケ情報を保有しておき、そのボケ情報を前述の行列  $H$  に反映させることにより、ハイパースペクトル画像 220 を再構成することができる。ここで、ボケ情報は、点拡がり関数 (Point Spread Function: PSF) によって表される。PSF は、点像の周辺画素への拡がりの程度を規定する関数である。例えば、画像上で 1 画素に相当する点像が、ボケによってその画素の周囲の  $k \times k$  画素の領域に広がる場合、PSF は、その領域内の各画素の輝度への影響を示す係数群、すなわち行列として規定され得る。PSF による符号化パターンのボケの影響を、行列  $H$  に反映させることにより、ハイパースペクトル画像 220 を再構成することができる。フィルタアレイ 110 が配置される位置は任意であるが、フィルタアレイ 110 の符号化パターンが拡散しすぎて消失しない位置が選択され得る。

#### 【0042】

以上の処理により、イメージセンサ 160 によって取得された圧縮画像 120 から、ハイパースペクトル画像 220 を構成することができる。上記の例では、信号処理装置 200 は、圧縮画像 120 の全体について圧縮センシングアルゴリズムを適用してハイパースペクトル画像 220 を生成する。この場合、圧縮画像 120 の解像度が高いと、ハイパースペクトル画像 220 を生成するための計算量および時間が増大する。

#### 【0043】

そこで、本開示の実施形態では、取得された圧縮画像 120 から必要な領域のみを抽出して復元する方法が用いられる。以下、本開示の実施形態の概要を説明する。

#### 【0044】

本開示の例示的な実施形態による信号処理方法は、コンピュータによって実行される。前記信号処理方法は、対象波長域に含まれる少なくとも 4 つの波長バンドの各々についての輝度情報であるハイパースペクトル情報を含み、前記ハイパースペクトル情報が圧縮された 2 次元画像を示す第 1 の圧縮画像データを取得することと、前記第 1 の圧縮画像データから部分画像データを抽出することと、前記部分画像データから、第 1 の波長バンドに対応する第 1 の 2 次元画像データ、及び第 2 の波長バンドに対応する第 2 の 2 次元画像データを生成することと、を含む。

## 【 0 0 4 5 】

ここで、「ハイパースペクトル情報」とは、予め定められた対象波長域に含まれる4つ以上の波長バンドのそれぞれについての輝度情報を意味する。圧縮画像データは、例えば前述のように、互いに異なる透過スペクトルを有する複数種類の光学フィルタを含むフィルタアレイを用いた撮像によって取得され得る。圧縮画像データの各画素のデータには、例えば4つ以上の、複数の波長バンドの情報が重畳され得る。各画素のデータには、用途に応じて、10以上または100以上の波長バンドの情報が重畳されていてもよい。また、圧縮画像データは、それぞれが空間的に符号化された複数の波長バンドの情報を含んでいてもよい。部分画像データは、例えば画像認識またはユーザからの指示に基づいて抽出され得る。上記の方法によれば、圧縮画像データから抽出された部分画像データから、複数の波長バンドについての複数の2次元画像データが生成される。このため、圧縮画像の全体から複数の波長バンドについての複数の2次元画像データを生成する場合と比較して、計算量および計算時間を低減することができる。なお、2次元画像データは、対象波長域に含まれる全ての波長バンドについて生成される必要はなく、一部の波長バンドについてのみ生成されてもよい。2次元画像データは、例えば前述のような圧縮センシングアルゴリズムを部分画像データに適用することによって生成され得る。

10

## 【 0 0 4 6 】

前記第1の圧縮画像データは、複数の画素のデータを含み、

前記複数の画素の各々のデータは、互いに重畳された第1の情報及び第2の情報を含み、

前記第1の情報及び前記第2の情報の各々は、前記少なくとも4つの波長バンドにおける1つの波長バンドに対応していてもよい。

20

## 【 0 0 4 7 】

前記第1の圧縮画像データは、空間的に符号化された第1の情報及び空間的に符号化された第2の情報を含み、

前記第1の情報及び前記第2の情報の各々は、前記少なくとも4つの波長バンドにおける1つの波長バンドに対応していてもよい。

## 【 0 0 4 8 】

前記方法は、前記部分画像データが、前記部分画像データから前記第1の2次元画像データ及び前記第2の2次元画像データを生成することに適しているか否かを判断することをさらに含んでいてもよい。その場合、前記判断の結果に応じて異なる処理が実行される。

30

## 【 0 0 4 9 】

すなわち、前記方法は、

前記部分画像データが、前記部分画像データから前記第1の2次元画像データ及び前記第2の2次元画像データを生成することに適していると判断された場合、第1の処理を実行し、

前記部分画像データが、前記部分画像データから前記第1の2次元画像データ及び前記第2の2次元画像データを生成することに適していないと判断された場合、前記第1の処理と異なる第2の処理を実行することをさらに含んでいてもよい。

## 【 0 0 5 0 】

前記部分画像データが、前記部分画像データから前記第1の2次元画像データ及び前記第2の2次元画像データを生成することに適しているか否かを判断することは、前記部分画像データの画素数に基づいて実行され得る。例えば、部分画像データの画素数が所定の閾値を上回っている場合にのみ、前記複数の2次元画像データを生成してもよい。

40

## 【 0 0 5 1 】

前記第2の処理は、前記部分画像データの前記画素数を増加させることであってもよい。

## 【 0 0 5 2 】

すなわち、前記方法は、前記部分画像データが、前記部分画像データから前記第1の2次元画像データ及び前記第2の2次元画像データを生成することに適していないと判断された場合に、前記圧縮画像データから抽出される前記部分画像データの前記画素数を増加させることをさらに含んでいてもよい。その場合、前記複数の2次元画像データは、前記

50

画素数が増加した前記部分画像データから生成され得る。

【0053】

前記第1の圧縮画像データは、例えば、分光透過率が互いに異なる複数種類の光学フィルタを含むフィルタアレイと、前記フィルタアレイを通過した光により形成される像を取得するイメージセンサとを備えた撮像装置によって生成され得る。

【0054】

前記第2の処理は、前記撮像装置に、前記部分画像データに対応する領域を拡大して撮像させることによって第2の圧縮画像データを生成させることであり、

前記第1の2次元画像データ及び前記第2の2次元画像データは、前記第2の圧縮画像データに基づいて生成されてもよい。

10

【0055】

すなわち、前記方法は、前記部分画像データが、前記部分画像データから前記第1の2次元画像データ及び前記第2の2次元画像データを生成することに適していないと判断された場合に、前記撮像装置に、前記部分画像データに対応する領域を拡大して撮像させることによって新たな圧縮画像データを生成させることをさらに含んでいてもよい。前記第1の2次元画像データ及び前記第2の2次元画像データは、前記新たな圧縮画像データに基づいて生成され得る。

【0056】

前記方法は、前記フィルタアレイの前記分光透過率の空間分布が反映されたマスクデータを取得することをさらに含んでいてもよい。前記第1の2次元画像データ及び前記第2の2次元画像データは、前記マスクデータのうち、前記部分画像データに対応する部分のデータと、前記部分画像データとに基づいて生成され得る。

20

【0057】

前記第2の処理は、表示装置にエラーを表示させることであってもよい。

【0058】

すなわち、前記方法は、前記部分画像データが、前記部分画像データから前記第1の2次元画像データ及び前記第2の2次元画像データを生成することに適していないと判断された場合に、表示装置にエラーを表示させることをさらに含んでいてもよい。

【0059】

前記方法は、前記2次元画像のうち、前記部分画像データとして抽出される領域をユーザに指定させるグラフィカルユーザインターフェース(GUI)を表示装置に表示させることをさらに含んでいてもよい。

30

【0060】

前記方法は、前記2次元画像のエッジを検出することをさらに含んでいてもよい。前記部分画像データは、検出された前記エッジに基づいて抽出され得る。

【0061】

前記方法は、前記第1の圧縮画像データから特定の波長成分の輝度情報を抽出することをさらに含んでいてもよい。前記部分画像データは、前記輝度情報に基づいて抽出され得る。

【0062】

前記方法は、前記部分画像データが、前記部分画像データから前記第1の2次元画像データ及び前記第2の2次元画像データを生成することに適しているか否かを判断するための閾値データを、ユーザに入力させるグラフィカルユーザインターフェースを表示装置に表示させることをさらに含んでいてもよい。

40

【0063】

前記方法において、前記閾値データは、画素数又は輝度誤差に関連するパラメータを含んでいてもよい。

【0064】

本開示の他の実施形態による信号処理装置は、プロセッサと、前記プロセッサによって実行されるコンピュータプログラムを格納したメモリと、を備える。前記コンピュータプ

50

プログラムは、前記プロセッサに、対象波長域に含まれる少なくとも4つの波長バンドの各々についての輝度情報であるハイパースペクトル情報を含み、前記ハイパースペクトル情報が圧縮された2次元画像を示す圧縮画像データを取得することと、前記圧縮画像データから部分画像データを抽出することと、前記部分画像データから、第1の波長バンドに対応する第1の2次元画像データ、及び第2の波長バンドに対応する第2の2次元画像データを生成することと、を実行させる。

【0065】

本開示の他の実施形態による撮像システムは、前記信号処理装置と、前記圧縮画像データを生成する撮像装置と、を備える。

【0066】

本開示の他の実施形態によるコンピュータプログラムは、コンピュータに、対象波長域に含まれる少なくとも4つの波長バンドの各々についての輝度情報であるハイパースペクトル情報を含み、前記ハイパースペクトル情報が圧縮された2次元画像を示す圧縮画像データを取得することと、前記圧縮画像データから部分画像データを抽出することと、前記部分画像データから、第1の波長バンドに対応する第1の2次元画像データ、及び第2の波長バンドに対応する第2の2次元画像データを生成することと、を実行させる。

【0067】

本開示の他の実施形態によるコンピュータ読み取り可能な非一時的記録媒体は、コンピュータによって実行されるときに、前記コンピュータに、対象波長域に含まれる少なくとも4つの波長バンドの各々についての輝度情報であるハイパースペクトル情報を含み、前記ハイパースペクトル情報が圧縮された2次元画像を示す圧縮画像データを取得することと、前記圧縮画像データから部分画像データを抽出することと、前記部分画像データから、第1の波長バンドに対応する第1の2次元画像データ、及び第2の波長バンドに対応する第2の2次元画像データを生成することと、を実行させるコンピュータプログラムを格納する。

【0068】

以下、本開示のより具体的な実施形態を説明する。ただし、必要以上に詳細な説明は省略する場合がある。例えば、既によく知られた事項の詳細説明および実質的に同一の構成に対する重複する説明を省略することがある。これは、以下の説明が不必要に冗長になることを避け、当業者の理解を容易にするためである。なお、発明者らは、当業者が本開示を十分に理解するために添付図面および以下の説明を提供するのであって、これらによって特許請求の範囲に記載の主題を限定することを意図するものではない。以下の説明において、同一または類似の構成要素については、同じ参照符号を付している。以下の説明において、図中に示されたx y z座標を用いる。本明細書において、画像を示すデータを単に「画像」と称することがある。

【0069】

(実施形態)

まず、図5を参照して、本開示の実施形態による撮像システムの例であるハイパースペクトルカメラの利用シーンを説明する。図5は、ハイパースペクトルカメラによって取得される圧縮画像120の例を示す図である。この例では、複数の野菜が被写体として撮影されている。信号処理装置200は、イメージセンサ160から圧縮画像120を取得し、圧縮画像120について前述の演算処理を行うことによってハイパースペクトル画像220を生成する。

【0070】

ここで、複数の対象物が含まれる圧縮画像120の中で、領域121にある特定の対象物についてのみハイパースペクトル画像が必要である場合を考える。このような状況は、例えば、青果物の選別、工業製品の検査、または建造物の外観検査などの広い場面で生じ得る。このような場合、本実施形態のハイパースペクトルカメラは、圧縮画像120から一部の領域121を抽出し、当該領域121についてのみ、圧縮センシングに基づく演算処理を行うことにより、ハイパースペクトル画像を生成する。このような処理により、圧縮

10

20

30

40

50

画像 120 の全領域について演算処理を行ってハイパースペクトル画像を生成する場合に比べ、必要な計算量を減らすことができる。これにより、演算速度の向上、および必要な演算処理装置（例えば、メモリおよびCPUなど）のコスト削減が可能になる。

【0071】

一方、本発明者らの検討によれば、演算対象の領域を小さくするに従い、生成されたハイパースペクトル画像の色に誤差が生じやすくなることがわかった。この課題について、図6を参照して説明する。

【0072】

図6は、前述の圧縮センシングに基づく演算によって生成されたハイパースペクトル画像の誤差と画素数との関係の例を示す図である。図6に示すグラフは、図6の部分(a)から(d)に示す4つの画像のそれぞれについて、生成されたハイパースペクトル画像と実際の画像との間の平均輝度誤差の、画素数に対する依存性を示している。ここで、平均輝度誤差は、生成されたハイパースペクトル画像の画素の輝度値と、実際の画像の対応する画素の輝度値との差の絶対値を、全ての画素および全ての波長バンドについて平均化した値を、最大輝度値で割った値の百分率である。図6からわかるように、圧縮画像の画素数の減少に伴い、生成されたハイパースペクトル画像に生じる輝度誤差が大きくなることが確認された。図6の例では、画素数の減少に伴い、輝度誤差が、例えば5%を超えるほどに大きくなり得る。ここで、輝度誤差が5%であるということは、画像の各画素の輝度値が例えば10ビット（即ち1024階調）で表現される場合、ある波長バンドについてのある画素の輝度値が50程度本来の値からずれて計算されることを意味する。このように、圧縮画像の画素数が少ないと、生成されたハイパースペクトル画像に偽色が発生し易くなる。例えば、本来であればある波長バンドについて信号が極めて小さいはずの画素に無視できない大きさの信号が生じたり、逆に、本来であれば比較的大きい信号があるはずの画素に信号が検出されない、といった振る舞いが生じ得る。そのような振る舞いは、例えば異物検査または外観検査といった用途において誤った結論を導く可能性がある。

【0073】

そこで、本実施形態における撮像システムは、圧縮画像から特定の領域を抽出してハイパースペクトル画像を生成する処理において、抽出された領域が輝度誤差の小さなハイパースペクトル画像を取得するために十分な大きさを有するか否かを判断し、抽出された領域が十分な大きさを有しない場合、抽出された領域を拡大したり、エラーを出力したりする動作を実行する。そのような動作を導入することにより、撮像によって生成された圧縮画像から抽出された部分領域の解像度または画素数が不足することによる偽色の発生を抑制し、実際の画像とは大きく異なるハイパースペクトル画像が生成されることを回避することができる。

【0074】

以下、本実施形態の撮像システムの構成および動作をより具体的に説明する。

【0075】

図7は、本実施形態の撮像システムの構成を示す図である。本システムは、撮像装置100と、信号処理装置200と、表示装置300と、入力ユーザインターフェース(UI)400とを備える。

【0076】

撮像装置100は、イメージセンサ160と、イメージセンサ160を制御する制御回路150とを備える。図7には示されていないが、撮像装置100は、図1Aから図1Dに示すように、フィルタアレイ110および少なくとも1つの光学系140も備える。フィルタアレイ110および光学系140の配置は、図1Aから図1Dのいずれの配置であってもよい。フィルタアレイ110は、分光透過率が互いに異なる複数種類の光学フィルタを含む。イメージセンサ160は、フィルタアレイ110によって領域ごとに強度が変調された光に基づくモノクロ画像を取得する。このモノクロ画像の各画素のデータには、対象波長域W内の複数の波長バンドの情報が重畳されている。よって、このモノクロ画像は、対象波長域W内のハイパースペクトル情報が2次元画像に圧縮されたものであるとい

10

20

30

40

50

える。このようなモノクロ画像は、「圧縮画像」の一例である。本明細書において、圧縮画像を示すデータを「圧縮画像データ」と称する。

【0077】

なお、上述した圧縮画像の例では、各画素のデータに複数の波長バンドの情報が重畳されていること、また各波長バンドの輝度が空間的に符号化されていることから、波長方向および空間方向にハイパースペクトル情報が圧縮されていると言える。圧縮画像はそのような例に限定されず、例えば特許文献1に開示されるような、各波長バンドの情報が空間方向にのみ符号化された2次元画像であってもよい。

【0078】

信号処理装置200は、信号処理回路250と、RAMおよびROMなどのメモリ210とを備える。信号処理回路250は、イメージセンサ160から出力された圧縮画像データに基づく復元処理を行う。この復元処理は、図1Aから図1Dに示す信号処理装置200が行う処理と基本的に同じであるが、本実施形態では、入力UI400から入力された復元条件に従って復元処理が行われる。信号処理回路250は、圧縮画像のうち、指定された部分領域についてのみ、圧縮センシングアルゴリズムに基づく演算を行うことにより、当該部分領域についてのハイパースペクトル画像を生成する。これにより、計算量および計算時間を短縮することができる。

10

【0079】

ハイパースペクトル画像のデータは、空間2次元と波長1次元の、計3次元の情報を含む。本明細書において、ハイパースペクトル画像を示すデータを、「3次元ハイパースペクトルデータ」とも称する。

20

【0080】

表示装置300は、画像処理回路320と、ディスプレイ330とを備える。画像処理回路320は、信号処理回路250によって復元された画像に必要な処理を施した上でディスプレイ330に表示させる。ディスプレイ330は、例えば液晶または有機LEDなどの任意のディスプレイであり得る。

【0081】

入力UI400は、撮像条件および復元条件などの各種の条件を設定するためのハードウェアおよびソフトウェアを含む。撮像条件は、例えば解像度、ゲイン、および露光時間などの条件を含み得る。復元条件は、例えば圧縮画像から特定の領域を抽出するか否かを示す情報、抽出される部分領域を指定する情報、および計算回数などの条件を含み得る。入力された撮像条件は、撮像装置100の制御回路150に送られる。制御回路150は、撮像条件に従って、イメージセンサ160に撮像を実行させる。これにより、イメージセンサ160は、対象波長域W内の複数の波長バンドの情報が重畳された圧縮画像を生成する。入力された復元条件は、信号処理回路250に送られ、記録される。信号処理回路250は、設定された復元条件に従って復元処理を行い、指定された部分領域についての3次元ハイパースペクトルデータを生成する。画像処理回路320は、ディスプレイ330に、3次元ハイパースペクトルデータが示す複数の波長バンドの画像を表示させる。

30

【0082】

信号処理回路250は、復元の際に、入力UI400によって入力された復元条件に従って、メモリ210に予め記録されているマスクデータを必要に応じて編集して用いる。マスクデータは、フィルタレイ110の分光透過率の空間分布が反映されたデータであり、前述の式(2)における行列Hに相当する。信号処理回路250は、マスクデータから、指定された部分領域に対応する部分を抽出した部分マスクデータを用いて、その部分領域についてのハイパースペクトル画像を生成する。生成されたハイパースペクトル画像は、画像処理回路320によって必要に応じて処理される。画像処理回路320は、例えば、画面内での配置の決定、バンド情報との紐づけ、または波長に対応した色付けなどの処理を行った上で、ハイパースペクトル画像をディスプレイ330に表示させる。

40

【0083】

図8は、本実施形態のシステムの動作を示すフローチャートである。本実施形態では、

50

まず、ユーザが入力UI 400を介して撮像条件および復元条件を入力する（ステップS101）。入力された撮像条件を示すデータは、制御回路150に送られる。入力された復元条件を示すデータは、信号処理回路250に送られる。次に、撮像装置100は、撮像条件に従って対象物を撮像することにより、圧縮画像を取得する（ステップS102）。

#### 【0084】

圧縮画像が取得されると、信号処理回路250は、圧縮画像から特定の領域を抽出する必要があるか否かを判断する（ステップS103）。圧縮画像から特定の領域を抽出する必要があるか否かは、例えばユーザが入力した復元条件に基づいて判断され得る。信号処理回路250は、圧縮画像の内容に基づいて領域抽出の要否を自動で判別してもよい。例えば、特定の形状が圧縮画像内に検出された場合、その領域を除く領域を抽出してもよい。そのような処理は、例えば、陳列棚における青果物を選別する用途において、直線の多い棚の部分を圧縮画像から除去する処理が該当する。信号処理回路250は、大まかな色判別によって領域を制限してもよい。例えば、建造物の外観検査において、空の青色部分を除去するなどの処理が可能である。

10

#### 【0085】

特定の領域を抽出する必要がないと判断した場合、信号処理回路250は、圧縮画像とマスクデータとに基づいて、前述の方法により、ハイパースペクトル画像を生成する（ステップS104）。画像処理回路320は、生成されたハイパースペクトル画像をディスプレイ330に表示させる（ステップS130）。

#### 【0086】

ステップS103において、圧縮画像から特定の領域を抽出する必要があると判断された場合、信号処理回路250は、抽出する領域の候補を決定する（ステップS111）。信号処理回路250は、例えば、ユーザが指定した領域を候補として決定する。あるいは、信号処理回路250は、圧縮画像またはそれに準じる画像から、エッジ検出、または特定の波長成分の輝度情報の検出などの方法により、抽出する領域の候補を決定してもよい。圧縮画像に準じる画像は、例えば、圧縮画像からR（赤）、G（緑）、B（青）の三原色を復元して生成したカラー画像、または、圧縮画像に全波長バンドのマスクデータが示す透過率分布の逆数を掛けてデノイズしたモノクロ画像などであり得る。

20

#### 【0087】

信号処理回路250は、抽出する領域の候補が、復元演算を行う上で十分な解像度を有しているか、すなわち空間的な情報量が十分であるか否かを判断する（ステップS112）。ここで、抽出する領域の候補が、復元演算を行う上で十分な解像度を有しているか否かは、例えば、当該領域の候補の画素数が、予め設定された閾値を超えているか否かに基づいて判断され得る。閾値は、復元演算の対象によって異なってもよい。閾値をユーザが入力UI 400を介して設定することができるように、撮像システムが構成されていてもよい。ここで、ユーザが画素数を閾値として入力してもよいが、これに限定されない。例えば、ユーザが輝度誤差を閾値として入力し、図6に示されている関係に基づいて、撮像システムが入力された輝度誤差を画素数に変換してもよい。空間的な情報量が不足している場合、信号処理回路250は、抽出する領域の候補を拡大する（ステップS113）。例えば、ステップS111で決定された領域の最外周部に隣接する全ての画素を領域の候補に追加することによって抽出する領域の候補が拡大され得る。これにより、空間的な情報量を補充して新たな抽出領域の候補が決定される。ステップS112において、決定された領域の候補の大きさが十分であると判断されるまで、ステップS111からS113の処理が繰り返される。

30

40

#### 【0088】

以上の動作により、復元演算を行うのに十分な解像度を有する抽出領域が決定され、圧縮画像から部分画像が抽出される。信号処理回路250は、メモリ210に格納されたマスクデータから、抽出される領域に対応するデータを切り出すことにより編集する（ステップS121）。続いて、信号処理回路250は、圧縮画像から抽出された部分画像と、切り出されたマスクデータとを用いて、ハイパースペクトル画像を生成する（ステップS

50

122)。ハイパースペクトル画像を生成する演算は、式(1)および(2)を参照して説明した演算と同様である。画像処理回路320は、生成されたハイパースペクトル画像をディスプレイ330に表示させる(ステップS130)。

【0089】

上記の抽出および演算の処理は、圧縮画像における単一の領域について行われてもよいし、複数の領域について行われてもよい。複数の領域について上記の処理を行う場合、各々の領域について個別に上記の処理が実行され得る。

【0090】

続いて、図9および図10を参照して、上記の情報処理を行うプログラムによって表示されるグラフィカルユーザインターフェース(GUI)の例を説明する。これらのGUIを実現するための画像は、信号処理回路250および画像処理回路320によって生成され、ディスプレイ330に表示される。

【0091】

図9は、撮像条件を入力するためのGUIの画面の例を示している。この例では、ユーザは、ハイパースペクトル撮像を行う前に、解像度、ゲイン、露光時間、およびフレームレートを設定する。解像度は、表示される画像の縦横の画素数を表す。解像度は、例えばユーザがプルダウンメニューからVGA、HD、4Kなどの名称を選択するか、縦横の画素数を直接入力することによって指定され得る。ゲインは、0以上の有理数で指定され、有理数同士の加減乗除によって入力されてもよい。例えば、 $8/3$ と入力した場合、ゲインが $2.6666\dots$  dBのように設定され得る。露光時間およびフレームレートは、両方が入力される必要はない。ユーザは、露光時間およびフレームレートの少なくとも一方を入力し、競合が発生した場合(例えば露光時間100msでフレームレート30fpsなど)、いずれか一方が優先されるようにしてもよい。上記4条件の入力その他、自動でゲイン、露光時間、およびフレームレートを調整する機能を設けてもよい。例えば、平均輝度が最大輝度の $1/2$ になるように自動で調整されるようにしてもよい。図9に示す例のように、撮像条件を入力するためのGUIは、設定された撮像条件のセーブおよびロードの機能を備えていてもよい。また、GUIは、設定された撮像条件で取得される圧縮画像120をリアルタイムで表示する機能を備えていてもよい。ここで、必ずしも圧縮画像そのものを表示する必要はない。その時点で設定されている撮像条件で取得される任意の画像を表示してもよい。例えば、赤(R)、緑(G)、青(B)の値のみを出力する画素を配置し、それらの画素の値のみを用いて取得したRGB画像を表示してもよい。また、例えば、後述する単位バンドの合成処理によって400nmから500nmを第1バンド、500nmから600nmを第2バンド、600nmから700nmを第3バンドとした3バンドでの復元を行い、復元結果をRGB画像として表示してもよい。

【0092】

図10は、ユーザが手動で抽出する領域を設定できるGUIの例を示す図である。このGUIでは、表示される圧縮画像120またはそれに準じる画像から、抽出すべき領域121を、例えばドラッグ&ドロップ、または座標入力などの方法で指定することができる。演算対象の領域は、例えば、点線で囲む、1%以上の透過率をもつ図形を重畳表示する方法でGUI上に表示され得る。ユーザによって指定された領域は、自動で修正されてもよい。例えば、手書きの円を真円または楕円に自動で修正してもよい。図10は、単一の領域が演算対象として指定される場合の例を示しているが、複数の領域を演算対象として指定できるようにしてもよい。このように、信号処理回路250は、部分画像として抽出される画像領域をユーザに指定させるGUIを表示装置300に表示させる。

【0093】

図10に示すような方法で抽出すべき領域の候補が決定された後、信号処理回路250は、決定された領域の画素数に基づいて、演算処理に十分な量の空間的情報が含まれているか否かを判断する。演算処理に必要な画素数の最小値は、観察対象または許容される輝度誤差に応じて変化する。信号処理回路250は、決定された領域に、演算処理に必要な画素数が含まれていないと判断した場合、当該領域の候補の周辺部を拡大し、演算処理に

10

20

30

40

50

必要な画素数を得る。例えば、当該領域の候補の周辺部に隣接する全ての画素を、当該領域の候補に組み入れる処理を繰り返すことにより、領域を拡大することができる。

【0094】

図11Aおよび図11Bは、図8のステップS121におけるマスクデータの編集処理を説明するための図である。図11Aに示すように、圧縮画像120内に含まれる領域121を抽出して、ハイパースペクトル画像を生成する場合を考える。ここで、圧縮画像120は、図11Bに示されるような透過率情報170を有するフィルタアレイを用いた撮影によって取得されるものとする。領域121についてのハイパースペクトル画像の生成演算は、透過率情報170のうちの、領域121に対応する領域の透過率情報171を用いて行われる。このように、ステップS121におけるマスクデータの編集は、マスクデータに含まれる透過率情報の一部のみを切り出して演算に用いるマスクデータを生成することを含み得る。

10

【0095】

このように、本実施形態によれば、信号処理回路250は、ハイパースペクトル情報を含む2次元のモノクロ画像である圧縮画像から部分画像を抽出し、圧縮センシングアルゴリズムを用いて、部分画像からハイパースペクトル画像を生成する。信号処理回路250は、部分画像からハイパースペクトル画像を生成することが可能か否かを、部分画像の画素数に基づいて判断する。部分画像からハイパースペクトル画像を生成することが可能であると判断した場合、信号処理回路250は、その部分画像に基づいてハイパースペクトル画像を生成する。一方、部分画像からハイパースペクトル画像を生成することが可能で

20

【0096】

以上の処理により、ハイパースペクトル画像の生成に要する計算量を低減することができる。さらに、ハイパースペクトル画像における偽色の発生を抑制することができる。

【0097】

続いて、本実施形態の変形例を説明する。

【0098】

図12は、図8におけるステップS113に代えて、ステップS114およびS115の動作が実行される例を示すフローチャートである。この例では、ステップS112において、抽出される領域の候補の大きさが不十分であると判断した場合、信号処理回路250は、表示装置300にエラーを表示させる(ステップS114)。信号処理回路250は、抽出された領域の周辺を拡大して撮影するように撮像装置100に指示する(ステップS115)。撮像装置100は、この指示を受けて、前回よりも対象物の領域が拡大された新たな圧縮画像を生成する。続くステップS111においては、この新たな圧縮画像から、抽出すべき領域の候補が決定される。

30

【0099】

図13Aは、ステップS114において表示されるエラー画面の例を示す図である。この例では、抽出された領域が小さすぎる旨と、対象領域周辺を拡大して再度撮影する旨を示すエラーメッセージが表示される。ここで、「対象領域周辺を拡大して再度撮影する」とは、例えば図13Bに示すような元の圧縮画像120Aから、抽出領域121の周辺を拡大した図13Cに示すような新たな圧縮画像120Bを生成することを指す。撮像装置100は、例えばズーム機能を用いて、対象領域の周辺が拡大された圧縮画像を生成する。

40

【0100】

なお、図12の例では、自動で拡大された圧縮画像が生成されるが、ユーザが手動で操作することによって圧縮画像が生成されるようにしてもよい。その場合、ユーザは、エラーメッセージを見た後、撮像装置100を操作して、画像中の対象物がより拡大されるように撮影する。これにより、対象領域の周辺が拡大された圧縮画像が生成され、その圧縮画像に基づいてハイパースペクトル画像が生成される。

【0101】

50

図14は、ステップS112において、抽出された領域が演算に十分な大きさを有していないと判断されたときに、ステップS114においてエラーを表示した後、処理を終え、抽出領域の再設定を促す変形例を示すフローチャートである。

【0102】

図15は、表示されるエラー画面の例を示す図である。この例では、抽出領域が小さすぎるためにハイパースペクトルデータを構成できず、処理を中断する旨を示すエラーメッセージが表示される。このようなメッセージに代えて、対象領域の周辺を拡大して再度撮影を行うようにユーザに促すメッセージを表示してもよい。

【0103】

図16は、図8、12、14におけるステップS111において、圧縮画像またはそれに準じる画像から、抽出すべき領域をエッジ検出によって決定する例を説明するための図である。この例では、ステップS111において、信号処理回路250は、圧縮画像内のエッジを検出し、検出されたエッジに基づいて、抽出すべき領域の候補を決定する。図16の例では、直線によって囲まれた構造を検出することで、建築物201および202が判別される。エッジ検出によって抽出された領域について復元演算を行うか否かを、ユーザに判断させるようにしてもよい。例えば、図10に示すようなGUIに、検出された領域を点線または1%以上の透過率を有する図形で表示し、ユーザが手動でその領域を抽出対象にすることを決定できるようにしてもよい。このように、図16の例では、信号処理回路250は、圧縮画像データが示す2次元画像内のエッジを検出し、検出されたエッジに基づいて部分画像データを抽出する。

【0104】

図17Aおよび図17Bは、図8、12、14におけるステップS111において、大まかな色判別の結果に基づいて領域を抽出する例を説明するための図である。この例では、ステップS111において、信号処理回路250は、圧縮画像またはそれに準じる画像から、特定の波長成分の輝度情報を抽出し、当該特定の波長成分の輝度情報に基づいて、部分画像を抽出する。例えば図17Aに示すような、果樹園に生るぶどうのハイパースペクトル画像を生成する場合、緑色の葉および茶色の枝に囲まれて青色または紫色の実が生っている状況が考えられる。この場合、紫から青の波長域の輝度情報を多く持つ箇所を抽出することで、図17Bに示すように、ぶどうの実の情報を持つ領域を選別してハイパースペクトル画像を生成することができる。このような場合、対象波長域の全体にわたって各波長バンドの画像を生成する必要はなく、一部の波長バンド（例えば紫から青に対応するバンド）の画像のみを生成してもよい。このように、図17Aおよび図17Bに示す例では、信号処理回路250は、圧縮画像データから特定の波長成分の輝度情報を抽出し、当該特定の波長成分の輝度情報に基づいて部分画像データを抽出する。

【0105】

なお、撮像装置の構成、ハイパースペクトル情報の圧縮方法、および3次元ハイパースペクトルデータの再構成アルゴリズムは、上述した実施形態に限られない。例えば、フィルタアレイ110、光学系140、およびイメージセンサ160の配置は、図1Aから図1Dに示す配置に限定されず、適宜変形してもよい。また、フィルタアレイ110の特性は、図2Aから図4Bを参照して例示した特性に限らず、用途または目的に応じて最適な特性のフィルタアレイ110が用いられる。

【産業上の利用可能性】

【0106】

本開示の技術は、例えば、多波長の画像を取得するカメラおよび測定機器に有用である。本開示の技術は、例えば、生体・医療・美容向けセンシング、食品の異物・残留農薬検査システム、リモートセンシングシステムおよび車載センシングシステムにも応用できる。

【符号の説明】

【0107】

- 70 対象物
- 100 撮像装置

10

20

30

40

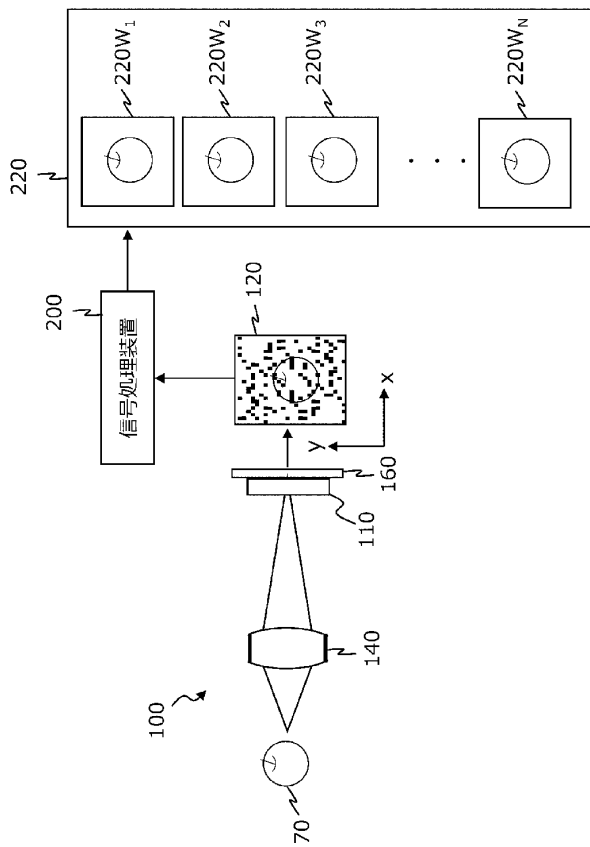
50

- 1 1 0 フィルタアレイ
- 1 2 0 圧縮画像
- 1 4 0 光学系
- 1 5 0 制御回路
- 1 6 0 イメージセンサ
- 2 0 0 信号処理装置
- 2 1 0 メモリ
- 2 2 0 ハイパースペクトル画像
- 2 5 0 信号処理回路
- 3 0 0 表示装置
- 3 2 0 画像処理回路
- 3 3 0 ディスプレイ
- 4 0 0 入力U I

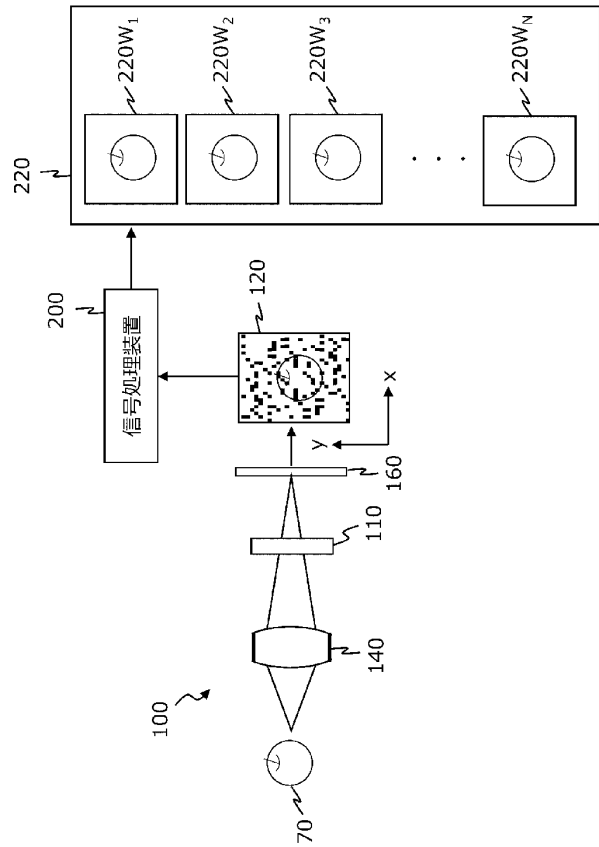
10

【図面】

【図 1 A】



【図 1 B】



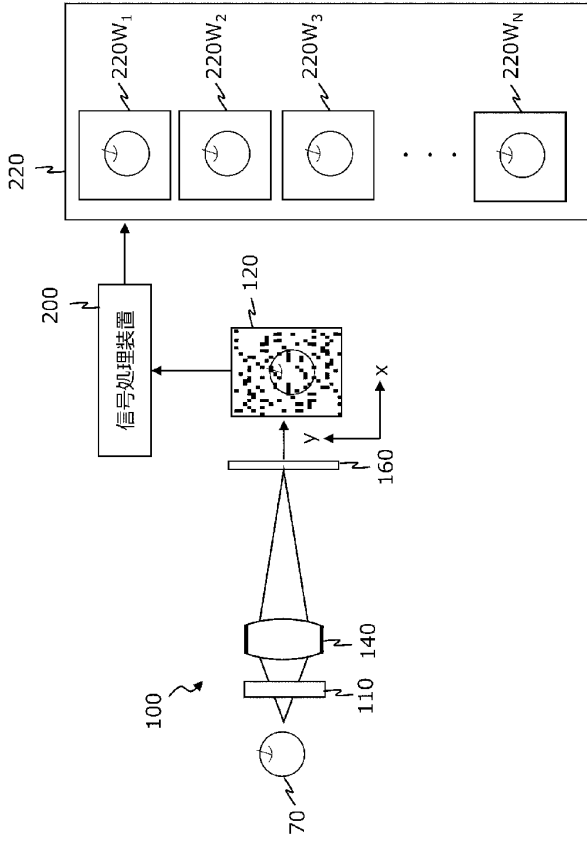
20

30

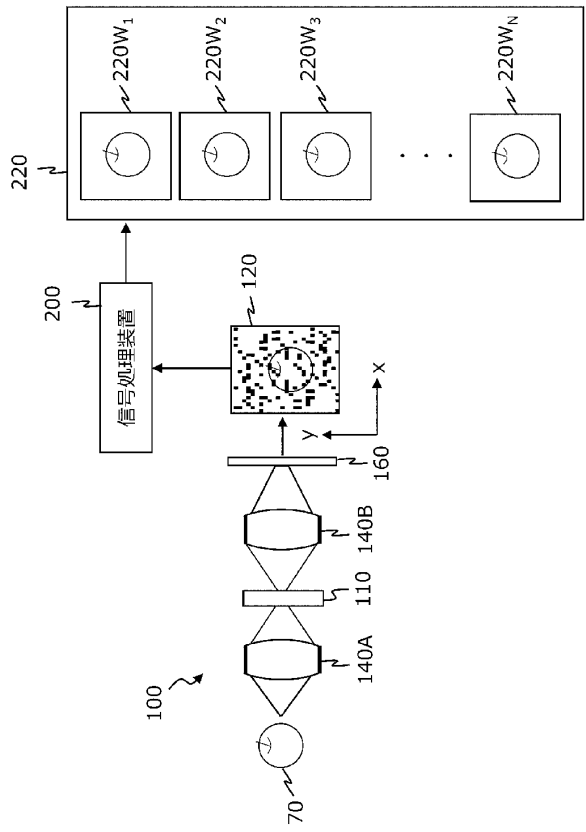
40

50

【图 1 C】



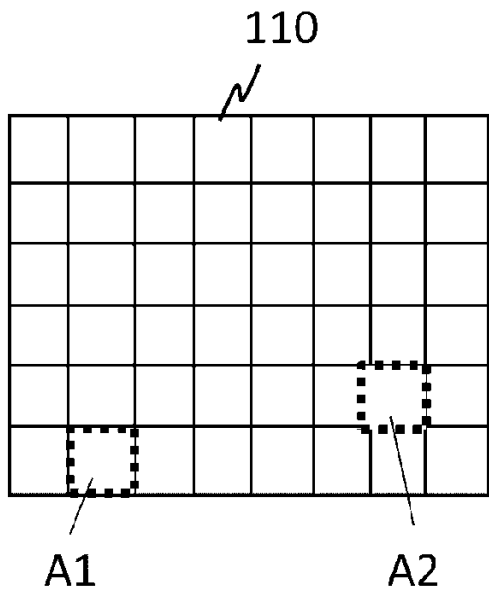
【图 1 D】



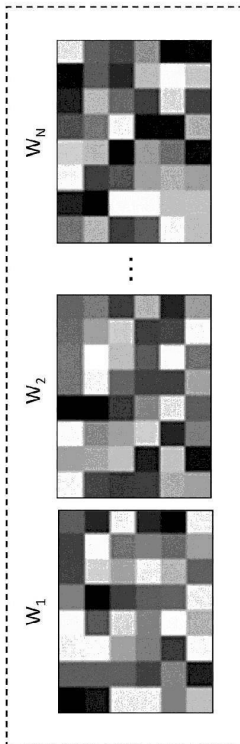
10

20

【图 2 A】



【图 2 B】

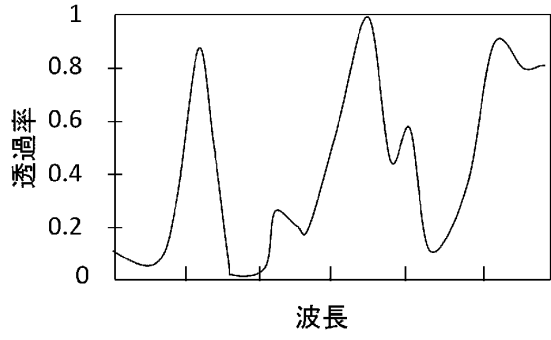


30

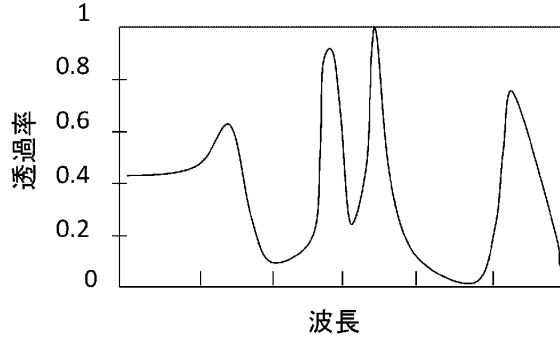
40

50

【 図 2 C 】

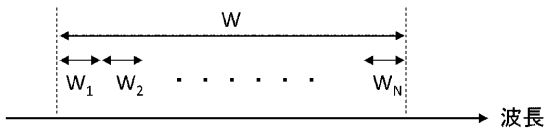


【 図 2 D 】

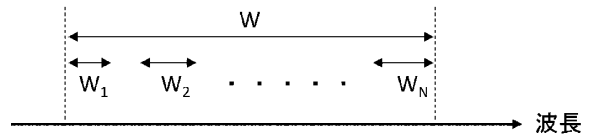


10

【 図 3 A 】

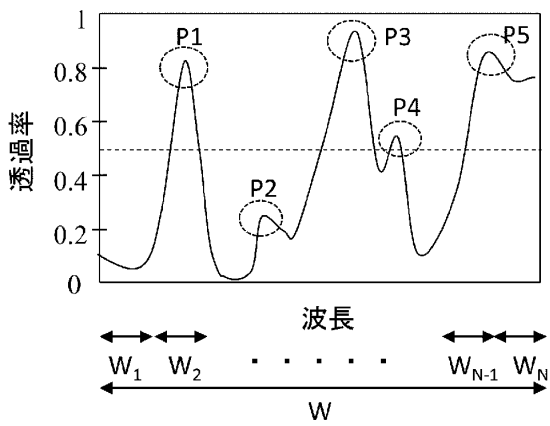


【 図 3 B 】

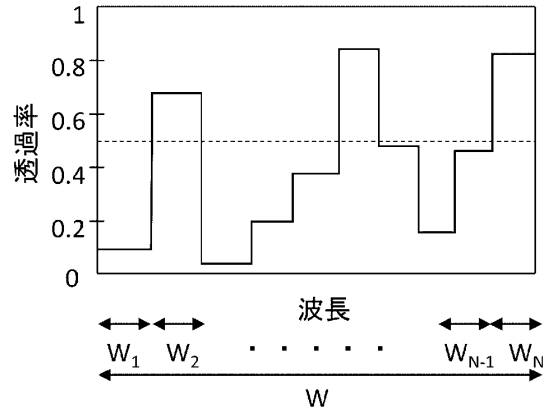


20

【 図 4 A 】



【 図 4 B 】

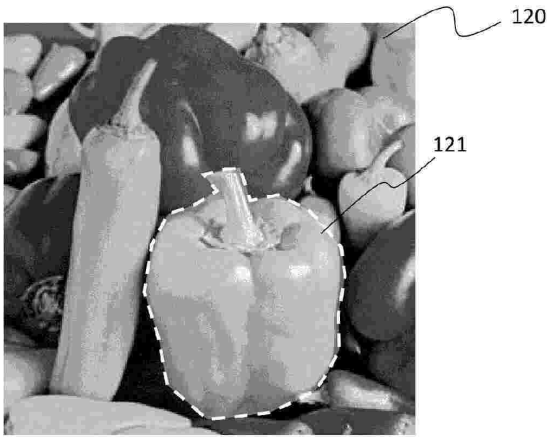


30

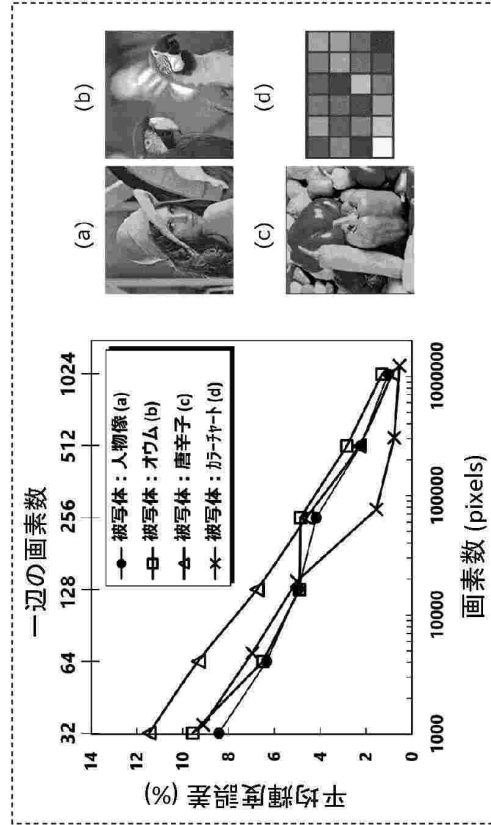
40

50

【図5】



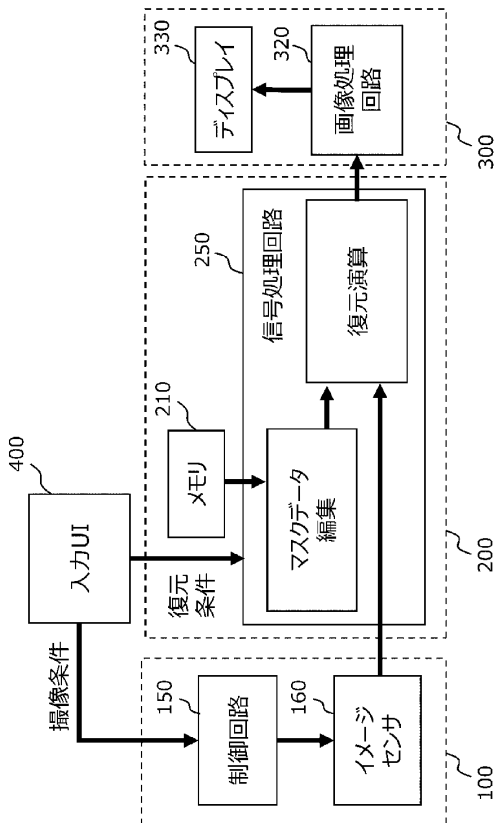
【図6】



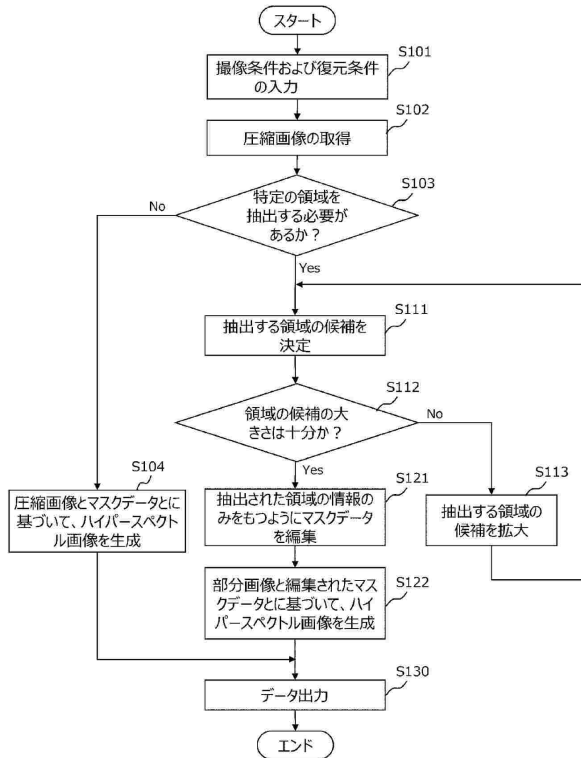
10

20

【図7】



【図8】

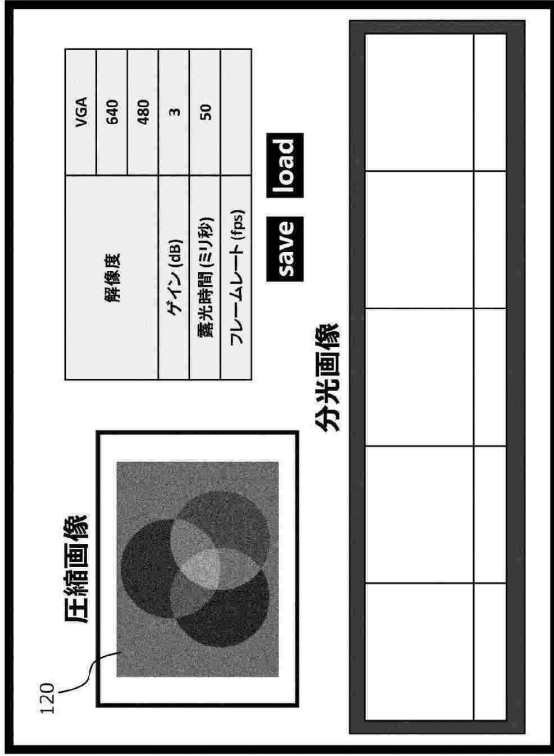


30

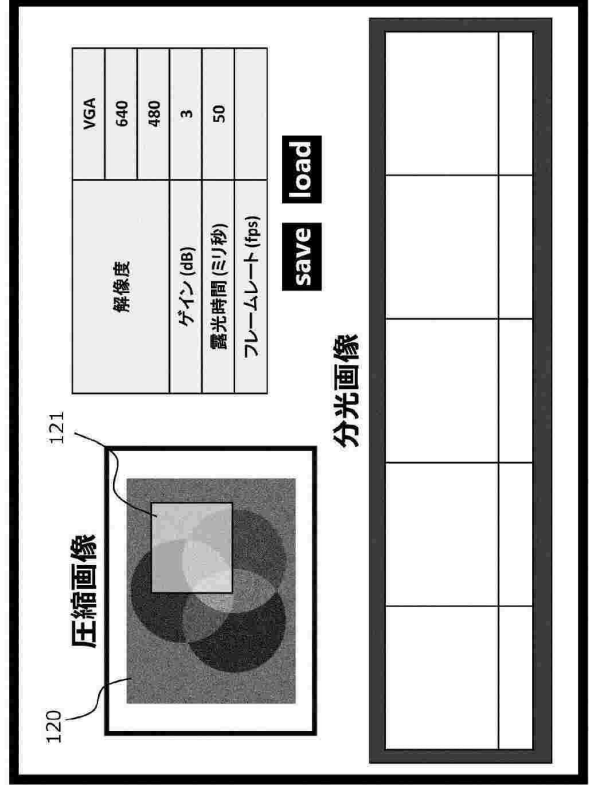
40

50

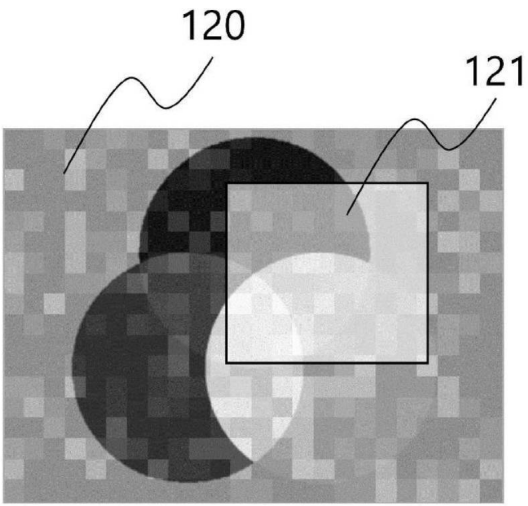
【図 9】



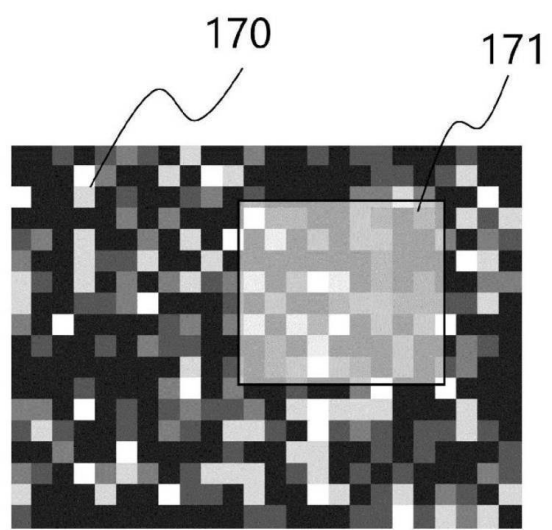
【図 10】



【図 11 A】



【図 11 B】



10

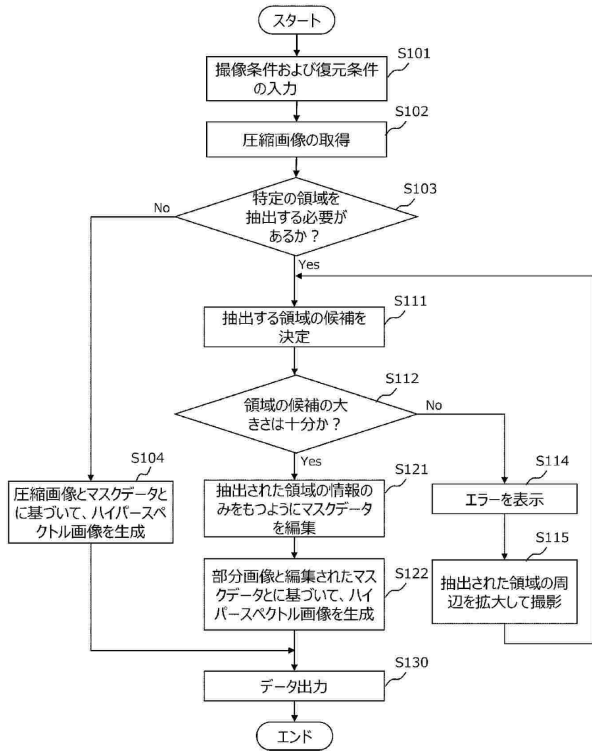
20

30

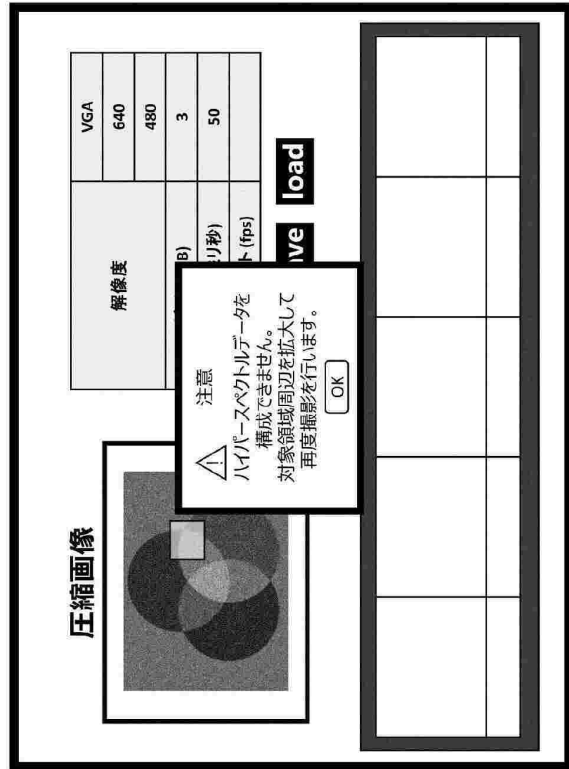
40

50

【図 1 2】



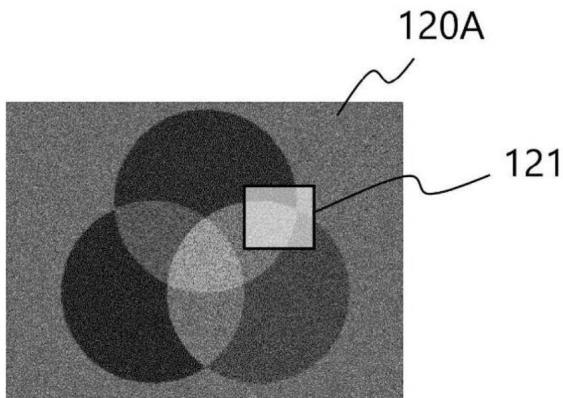
【図 1 3 A】



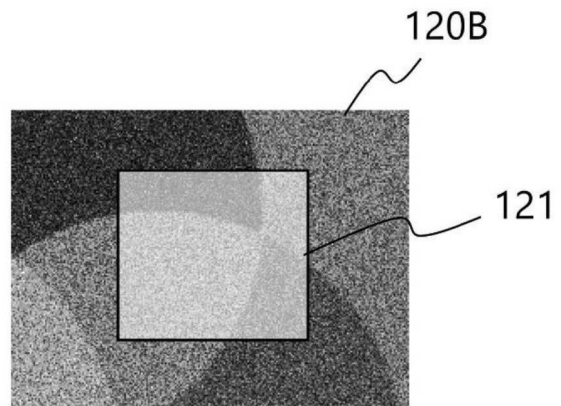
10

20

【図 1 3 B】



【図 1 3 C】

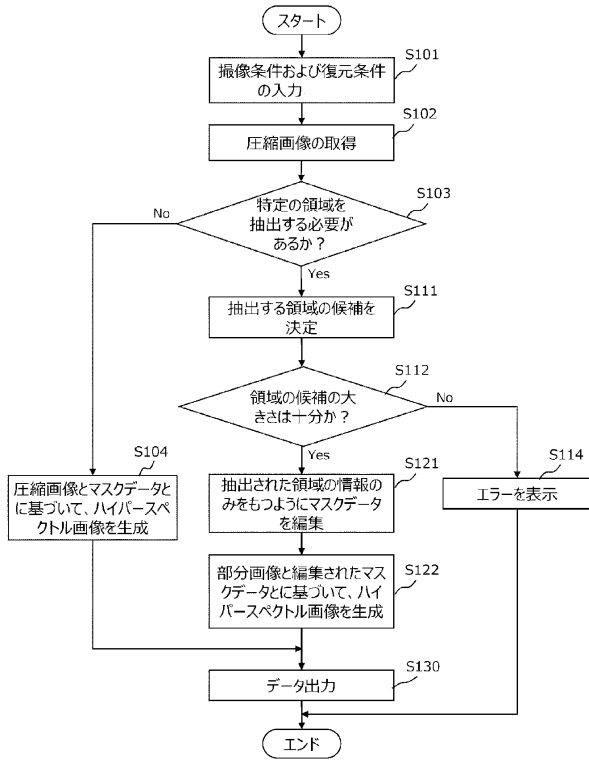


30

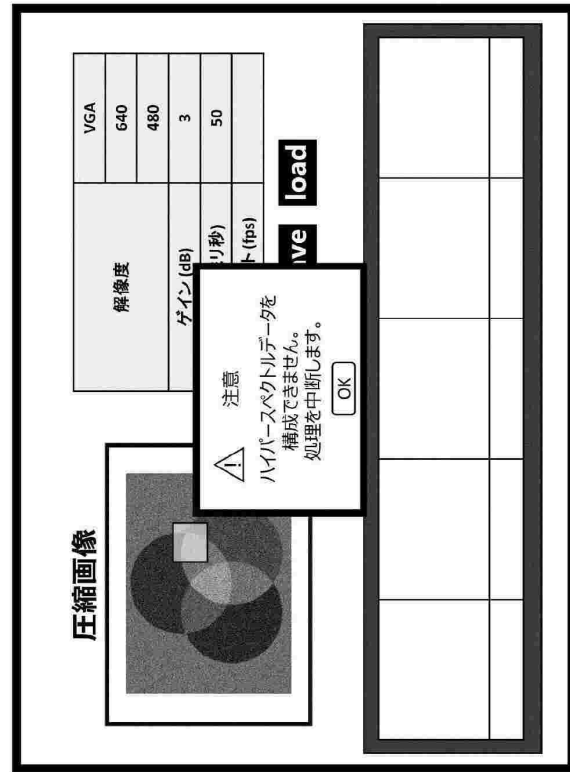
40

50

【 図 1 4 】



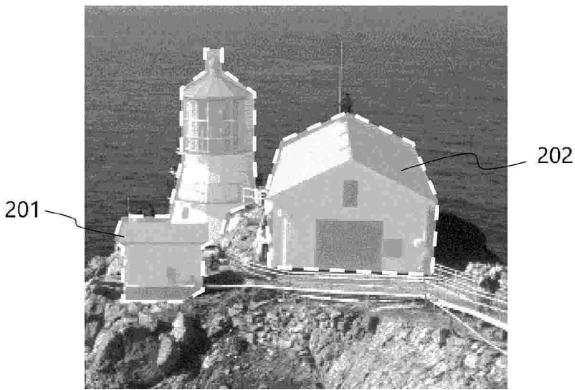
【 図 1 5 】



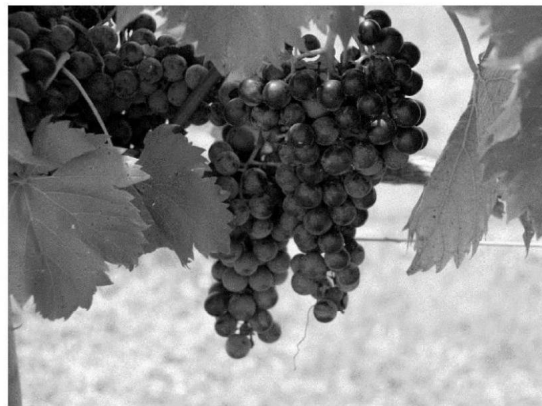
10

20

【 図 1 6 】




【 図 1 7 A 】



30

40

50

【 1 7 B】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

- (72)発明者 八子 基樹  
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニックホールディングス株式会社内
- (72)発明者 石川 篤  
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニックホールディングス株式会社内
- 審査官 小野 博之
- (56)参考文献 特開2009-211296(JP,A)  
特開2016-156801(JP,A)  
特開2020-053910(JP,A)  
特開2016-130727(JP,A)  
特開2018-107731(JP,A)  
国際公開第2019/230443(WO,A1)  
国際公開第2020/080045(WO,A1)  
国際公開第2016/012980(WO,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
- H04N 5/30 - 5/33  
23/11  
23/20 - 23/30  
23/67  
25/00  
25/20 - 25/79  
H01L 27/14 - 27/148  
29/76  
39/32 - 39/34  
H04N 9/01 - 9/11  
23/10  
23/12 - 23/17  
25/10 - 25/17  
25/611  
G06T 1/00 - 1/40  
3/00 - 5/94