

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-151832

(P2018-151832A)

(43) 公開日 平成30年9月27日(2018.9.27)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)
G 0 6 T 1/00 (2006.01) G 0 6 T 1/00 5 1 0 5 B 0 5 7

審査請求 未請求 請求項の数 21 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2017-47327 (P2017-47327)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成29年3月13日 (2017.3.13)		キヤノン株式会社
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
		(74) 代理人	100110412
			弁理士 藤元 亮輔
		(74) 代理人	100104628
			弁理士 水本 敦也
		(74) 代理人	100121614
			弁理士 平山 倫也
		(72) 発明者	古賀 悠修
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
			ヤノン株式会社内
		Fターム(参考)	5B057 BA02 CA01 CA08 CA12 CA16
			CB01 CB08 CB12 CB16 CC01
			CE17 CH08

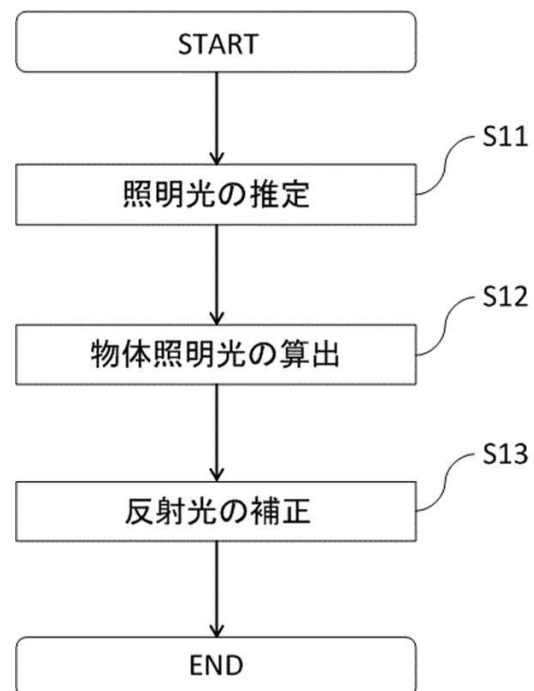
(54) 【発明の名称】 情報処理装置、情報処理方法、および、プログラム

(57) 【要約】

【課題】物体の特性を正確に取得することが可能な情報処理方法を提供する。

【解決手段】情報処理方法は、照明光の空間分布情報 ($B_i(\theta_i, \phi_i)$) と物体の向き情報 (θ_i) とに基づいて、物体を照明する物体照明光に関する情報 ($E_i(\theta_i, \phi_i)$) を算出するステップと、物体照明光に関する情報 ($E_i(\theta_i, \phi_i)$) と物体の反射光に関する情報 ($R(\theta_i, \phi_i)$) とに基づいて、物体照明光の影響を低減するように反射光に関する情報を補正するステップとを有する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

照明光の空間分布情報と物体の向き情報とに基づいて、該物体を照明する物体照明光に関する情報を算出するステップと、

前記物体照明光に関する情報と前記物体の反射光に関する情報とに基づいて、前記物体照明光の影響を低減するように該反射光に関する情報を補正するステップと、を有することを特徴とする情報処理方法。

【請求項 2】

前記反射光に関する情報を補正するステップは、前記物体照明光に関する情報と前記物体の反射光に関する情報と前記反射光の向き情報とに基づいて、前記物体の反射特性を算出するステップを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の情報処理方法。

10

【請求項 3】

前記反射光に関する情報を補正するステップは、前記照明光の下における前記物体の反射光を、前記照明光とは異なる照明光の下における該物体の反射光に変換するステップを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の情報処理方法。

【請求項 4】

前記物体の向き情報は、該物体の面法線ベクトル、物体面の方位角および仰角、または、該物体面の 2 方向の傾きであることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の情報処理方法。

【請求項 5】

前記物体の向き情報は、複数の局所的物体を 1 つの物体とみなして得られる情報であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の情報処理方法。

20

【請求項 6】

前記物体の向き情報は、局所的な向き情報を平均化して得られることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の情報処理方法。

【請求項 7】

前記反射光の向き情報は、前記物体の向き情報を基準とした該反射光の単位ベクトルであることを特徴とする請求項 2 に記載の情報処理方法。

【請求項 8】

前記照明光の前記空間分布情報を少なくとも 3 バンドのマルチバンド画像を用いて取得するステップを更に有することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の情報処理方法。

30

【請求項 9】

前記マルチバンド画像は、全方位に対して 180 度以上の画角を有することを特徴とする請求項 8 に記載の情報処理方法。

【請求項 10】

前記マルチバンド画像の射影は等立体角射影であることを特徴とする請求項 8 または 9 に記載の情報処理方法。

【請求項 11】

前記物体の向き情報を該物体の三次元計測情報に基づいて算出するステップを更に有することを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の情報処理方法。

40

【請求項 12】

照明光の空間分布情報を入力する照明情報入力部と、

物体の向き情報を入力する物体向き情報入力部と、

前記照明光の前記空間分布情報と前記物体の向き情報とに基づいて、前記物体を照明する物体照明光に関する情報を算出する物体照明光算出部と、

前記物体の反射光に関する情報を入力する反射光情報入力部と、

前記物体照明光に関する情報と前記物体の反射光に関する情報とに基づいて、前記物体照明光の影響を低減するように該反射光に関する情報を補正する反射光補正部と、を有することを特徴とする情報処理装置。

50

【請求項 13】

前記反射光の向き情報を入力する反射光向き情報入力部を更に有し、

前記反射光補正部は、前記物体照明光に関する情報と前記物体の反射光に関する情報と該反射光の向き情報とに基づいて、該反射光に関する情報を補正することを特徴とする請求項 12 に記載の情報処理装置。

【請求項 14】

前記照明光の空間分布情報を取得する照明情報取得部を更に有し、

前記照明情報入力部は、前記照明情報取得部により取得された前記照明光の空間分布情報を入力することを特徴とする請求項 12 または 13 に記載の情報処理装置。

【請求項 15】

前記照明情報取得部は、

少なくとも 3 バンドのマルチバンド画像を取得する照明光撮像部と、

前記マルチバンド画像に基づいて前記照明光を推定する照明光推定部と、を有することを特徴とする請求項 14 に記載の情報処理装置。

【請求項 16】

前記照明光撮像部は光学系を有し、

前記光学系は、全方位に対して 180 度以上の画角を有することを特徴とする請求項 15 に記載の情報処理装置。

【請求項 17】

前記光学系の射影は等立体角射影であることを特徴とする請求項 16 に記載の情報処理装置。

【請求項 18】

前記物体の向き情報を取得する物体向き情報取得部を更に有し、

前記物体向き情報入力部は、前記物体向き情報取得部により取得された前記物体の向き情報を入力することを特徴とする請求項 12 乃至 17 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

【請求項 19】

前記物体向き情報取得部は、

前記物体の三次元計測を行う三次元計測部と、

前記三次元計測部から出力される三次元計測情報に基づいて前記物体の向き情報を算出する物体向き情報算出部と、を有することを特徴とする請求項 18 に記載の情報処理装置。

【請求項 20】

前記物体の反射光に関する情報を取得する反射光情報取得部を更に有し、

前記反射光情報入力部は、前記反射光情報取得部により取得された前記物体の反射光に関する情報を入力することを特徴とする請求項 12 乃至 19 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

【請求項 21】

照明光の空間分布情報と物体の向き情報とに基づいて、該物体を照明する物体照明光に関する情報を算出するステップと、

前記物体照明光に関する情報と前記物体の反射光に関する情報とに基づいて、該物体照明光の影響を低減するように該反射光に関する情報を補正するステップと、をコンピュータに実行させることを特徴とするプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、照明光に応じて物体の反射光に関する情報を補正する情報処理装置に関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

物体の反射光は、照明光が物体の表面で反射・拡散された光である。そのため、反射・拡散特性が同一の物体であっても、照明光が異なると反射光が変化する。このように照明光の変化に応じて反射光が変化するため、物体の反射・拡散特性を正確に取得することは困難である。このことは、マルチバンド画像やハイパースペクトラル画像を用いたりリモートセンシングにおいて重要な課題となっている。この課題を解決するには、照明光を推定し、その影響を低減する必要がある。

【 0 0 0 3 】

特許文献 1 には、照明光を推定する方法として、撮影時の天候情報に基づいて決定された重み係数を用いて自然光の直達光成分と散乱光成分とを合成する方法が開示されている。

10

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 特許第 5 9 5 0 1 1 7 号 公 報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

特許文献 1 に開示されている方法では、天候情報としての曇り度合いや、オブジェクトによる直達光成分の遮蔽の有無を用いることにより、晴天のみならず曇天や日陰などの撮影環境下においても照明光を推定することが可能である。しかしながら、曇り度合いに関して、雲の濃さは異なり、同じ雲量でも雲が太陽を遮っているか否かなどの状況に応じて照明光は変化する。このため、特許文献 1 に開示されている方法では、正確に照明光を推定することは困難である。

20

【 0 0 0 6 】

また屋外撮影の際に、物体は空の各方向から到達する光により照明されるが、それらの照明光は各々異なるため、物体の向きに応じて照明光は異なる。しかしながら、特許文献 1 に開示されている方法では、物体の向きに応じた照明光を推定することは困難である。

【 0 0 0 7 】

そこで本発明は、物体の特性を正確に取得することが可能な情報処理方法、情報処理装置、および、プログラムを提供することを目的とする。

30

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 8 】

本発明の一側面としての情報処理方法は、照明光の空間分布情報と物体の向き情報とに基づいて、該物体を照明する物体照明光に関する情報を算出するステップと、前記物体照明光に関する情報と前記物体の反射光に関する情報とに基づいて、前記物体照明光の影響を低減するように該反射光に関する情報を補正するステップとを有する。

【 0 0 0 9 】

本発明の他の側面としての情報処理装置は、照明光の空間分布情報を入力する照明情報入力部と、物体の向き情報を入力する物体向き情報入力部と、前記照明光の前記空間分布情報と前記物体の向き情報とに基づいて、前記物体を照明する物体照明光に関する情報を算出する物体照明光算出部と、前記物体の反射光に関する情報を入力する反射光情報入力部と、前記物体照明光に関する情報と前記物体の反射光に関する情報とに基づいて、前記物体照明光の影響を低減するように該反射光に関する情報を補正する反射光補正部とを有する。

40

【 0 0 1 0 】

本発明の他の側面としてのプログラムは、照明光の空間分布情報と物体の向き情報とに基づいて、該物体を照明する物体照明光に関する情報を算出するステップと、前記物体照明光に関する情報と前記物体の反射光に関する情報とに基づいて、該物体照明光の影響を低減するように該反射光に関する情報を補正するステップとをコンピュータに実行させる

50

。

【 0 0 1 1 】

本発明の他の目的及び特徴は、以下の実施例において説明される。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 2 】

本発明によれば、物体の特性を正確に取得することが可能な情報処理方法、情報処理装置、および、プログラムを提供することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 3 】

【 図 1 】 実施例 1 における情報処理方法のフローチャートである。

10

【 図 2 】 実施例 1 における照明光の推定方法の説明図である。

【 図 3 】 実施例 1 における物体照明光の算出方法の説明図である。

【 図 4 】 実施例 2 における物体照明光の算出方法の説明図である。

【 図 5 】 実施例 3 における情報処理装置のブロックである。

【 図 6 】 実施例 4 における情報処理装置の構成図である。

【 図 7 】 各実施例における物体による照明光の反射のモデル図である。

【 図 8 】 各実施例における光線の単位ベクトルの算出方法の説明図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 4 】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。本実施形態の情報処理方法は、照明光の空間分布情報と物体の向き情報とに基づいて物体照明光に関する情報を算出する処理と、物体照明光に関する情報と物体の反射光に関する情報とに基づいて反射光に関する情報を補正する処理とを有する。以下、各処理について詳述する。

20

【 0 0 1 5 】

（ 物体照明光の算出方法 ）

まず、図 7 を参照して、物体を照明する物体照明光の算出方法について説明する。図 7 は、物体による照明光の反射のモデル図である。

【 0 0 1 6 】

照明光の空間分布情報と、その照明光下にある物体の向き情報とがそれぞれ既知の場合、物体を照明する物体照明光 E_i () は、以下の式 (1) のように算出される。

30

【 0 0 1 7 】

【 数 1 】

$$E_i(\lambda) = \int_{\Omega_i} B_i(\lambda, \omega_i) \cos \theta_i d\Omega_i \quad \cdots \quad (1)$$

【 0 0 1 8 】

式 (1) において、 Ω_i は物体が置かれた半球空間、 $d\Omega_i$ は半球空間 Ω_i 内の微小立体角、 $B_i(\lambda, \omega_i)$ は物体に入射する照明光の角度 ω_i の方向の微小立体角 $d\Omega_i$ から物体に到達する光の放射輝度、 θ_i は角度 ω_i と物体の面法線とが為す角度である。照明光の空間分布情報が既知であることは放射輝度 $B_i(\lambda, \omega_i)$ が既知であることを意味する。物体の向き情報が既知であることは、角度 θ_i が既知であることを意味する。従って、照明光の空間分布情報と物体の向き情報とに基づいて、物体の向きに応じた物体照明光 E_i () (物体照明光に関する情報) を算出することができる。

40

【 0 0 1 9 】

（ 物体照明光による影響の補正方法 ）

物体照明光 E_i () により照明された物体の反射光 R () は、以下の式 (2) のように表される。

【 0 0 2 0 】

【数 2】

$$R(\lambda) = \int_{\Omega_i} BRDF(\omega_i \rightarrow \omega_r) B_i(\lambda, \omega_i) \cos\theta_r d\Omega_r \cos\theta_i d\Omega_i \quad \cdots \quad (2)$$

【0021】

式(2)において、 $BRDF(\omega_i \rightarrow \omega_r)$ は角度 ω_i の方向から物体へ入射する光の照度に対する角度 ω_r の方向への物体の反射・散乱光の輝度の比である双方向反射率分布関数である。また、 $d\Omega_r$ は計測した反射・散乱光の微小立体角、 ω_r は角度 ω_r (物体の反射光の角度情報)と物体の面法線とが為す角度である。

【0022】

式(2)に示されるように、反射光 $R(\lambda)$ は、放射輝度 $B_i(\lambda, \omega_i)$ 、すなわち物体照明光 $E_i(\lambda, \omega_i)$ の影響を受ける。従って、物体照明光 $E_i(\lambda, \omega_i)$ の影響を低減するように補正して物体そのものの反射率を求めるには、式(2)で表される反射光 $R(\lambda)$ を物体照明光 $E_i(\lambda, \omega_i)$ で除算する必要がある。物体照明光 $E_i(\lambda, \omega_i)$ の影響を補正した物体の真の反射率特性(反射特性)を $S(\lambda)$ とすると、反射率特性 $S(\lambda)$ は、以下の式(3)のように算出される。

【0023】

【数 3】

$$S(\lambda) = \frac{R(\lambda)}{\int_{\Omega_i} BRDF_{ideal}(\omega_i \rightarrow \omega_r) B_i(\lambda, \omega_i) \cos\theta_r d\Omega_r \cos\theta_i d\Omega_i} \quad \cdots \quad (3) \quad 20$$

【0024】

式(3)において、 $BRDF_{ideal}(\omega_i \rightarrow \omega_r)$ は、反射・散乱特性の角度特性の形状が $BRDF(\omega_i \rightarrow \omega_r)$ と等しく、かつ、反射率が1である理想物体の双方向反射率分布関数である。通常、物体の $BRDF(\omega_i \rightarrow \omega_r)$ は未知であるため、 $BRDF_{ideal}(\omega_i \rightarrow \omega_r)$ を求めることは困難である。しかし、物体が完全拡散面である場合、 $BRDF_{ideal}(\omega_i \rightarrow \omega_r) = 1/\pi$ となるため、式(3)は以下の式(4)のように表すことができる。

【0025】

【数 4】

$$S(\lambda) = \frac{\pi R(\lambda)}{\int_{\Omega_i} B_i(\lambda, \omega_i) \cos\theta_r d\Omega_r \cos\theta_i d\Omega_i} = \frac{\pi R(\lambda)}{E_i(\lambda)} \quad \cdots \quad (4)$$

【0026】

従って、物体照明光 $E_i(\lambda, \omega_i)$ と角度 ω_r (反射光の向き情報)とを用いて、物体照明光 $E_i(\lambda, \omega_i)$ の影響を低減するように補正した物体の反射率特性 $S(\lambda)$ (物体の真の反射光に関する情報)を求めることができる。

【0027】

また、物体の反射光がマルチバンドカメラにより取得される場合、以下のようにして物体照明光の影響を補正した物体の反射率特性(反射特性)を求めることができる。まず、 n 個のバンドを有するマルチバンドカメラの各バンド輝度値 I_k は、以下の式(5)のように表される。

【0028】

【数 5】

$$I_k = C \int_{\lambda_{k1}}^{\lambda_{k2}} R(\lambda) L(\lambda) \phi_k(\lambda) d\lambda \quad \cdots \quad (5)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 2 9 】

式 (5) において、 C は比例定数、 $R (\quad)$ は式 (2) に示す反射光、 $L (\quad)$ は撮影に使用した光学系の分光透過率である。また、 λ_k ($k = 1、2、\dots、n$) は撮影に使用したマルチバンドカメラの k 番目のバンドの分光感度特性、 λ_{k1} 、 λ_{k2} ($k = 1、2、\dots、n$) はそれぞれ、マルチバンドカメラの k 番目のバンドの分光感度特性の最小波長と最大波長である。

【 0 0 3 0 】

式 (5) 中の反射光 $R (\quad)$ は、式 (2) より、照明光の放射輝度 $B_i (\quad , \quad)$ の影響を受ける。このとき、照明光の影響を補正した物体の反射率特性 (反射特性) を S_k とすると、反射率特性 S_k は、以下の式 (6) のように表される。

10

【 0 0 3 1 】

【 数 6 】

$$S_k = \frac{\pi I_k}{C \cos \theta_r d\Omega_r \int_{\lambda_{k1}}^{\lambda_{k2}} E_i(\lambda) L(\lambda) \phi_k(\lambda) d\lambda} \dots (6)$$

【 0 0 3 2 】

式 (6) では、式 (4) と同様に、物体が完全拡散面であるという前提を用いている。式 (6) を用いることにより、物体照明光の影響を低減するように補正した物体の反射率特性 S_k を求めることができる。式 (4)、(6) により、照明光 ($E_i (\quad)$) の下で取得された物体の反射光から、物体の絶対反射率を得ることができる。

20

【 0 0 3 3 】

一方、照明光 ($E_i (\quad)$) の下で取得された物体の反射光 ($R (\quad)$ 、 I_k) から、別の照明光 ($E'_i (\quad)$) の下で取得された物体の反射光 ($R' (\quad)$ 、 I'_k) への変換は、以下の式 (7)、(8) のように表される。

【 0 0 3 4 】

【 数 7 】

$$R'(\lambda) = \frac{E'_i(\lambda)}{E_i(\lambda)} R(\lambda) \dots (7)$$

30

$$I'_k = \frac{\int_{\lambda_{k1}}^{\lambda_{k2}} E'_i(\lambda) L(\lambda) \phi_k(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_{k1}}^{\lambda_{k2}} E_i(\lambda) L(\lambda) \phi_k(\lambda) d\lambda} I_k \dots (8)$$

【 0 0 3 5 】

この場合、反射光の向き情報 (角度 θ_r) を用いなくてもよい。

【 0 0 3 6 】

(照明光の空間分布情報の取得方法)

次に、照明光の空間分布情報の取得方法について説明する。ここでは、空の半球球画像から照明光の空間分布情報を取得する方法について説明する。

40

【 0 0 3 7 】

まず、前提条件として、自然光 $B (\quad)$ は、以下の式 (9) のように近似することができる。

【 0 0 3 8 】

【数 8】

$$B(\lambda) = F(\lambda)T(\lambda)[a_0 + a_1(\lambda/\lambda_0)^{-1} + a_2(\lambda/\lambda_0)^{-4}] \quad \cdots \quad (9)$$

【0039】

式(9)において、 $F(\quad)$ は大気外太陽放射スペクトル、 $T(\quad)$ は大気分光透過率、 λ は波長、 λ_0 は基準波長である。また、 a_0 は直達光成分を表す係数、 a_1 は大気分子によるレイリー散乱成分を表す係数、 a_2 は大気エアロゾル粒子によるミー散乱成分を表す係数である。 $F(\quad)$ 、 $T(\quad)$ については事前観測結果を用いることができるため、自然光 $B(\quad)$ は a_0 、 a_1 、 a_2 の三つの変数により決定される。なお、自然光 $B(\quad)$ は、太陽位置、気象条件、大気状態などに応じて変化するが、係数 a_0 、 a_1 、 a_2 の値を変化させることにより、これらの影響を受けた自然光 $B(\quad)$ を表現することが可能である。

10

【0040】

次に、空の半天球画像から照明光の空間分布情報を取得する方法について説明する。本実施形態ではRGB3バンドの画像を用いた例を説明するが、これに限定されるものではなく、少なくとも3バンドのマルチバンド画像を用いることができる。空を撮影した場合のRGB値は、以下の式(10)のように表される。

【0041】

【数 9】

20

$$\begin{aligned} R &= C \int_{\lambda_{R1}}^{\lambda_{R2}} B(\lambda)L(\lambda)\phi_R(\lambda) d\lambda \\ G &= C \int_{\lambda_{G1}}^{\lambda_{G2}} B(\lambda)L(\lambda)\phi_G(\lambda) d\lambda \quad \cdots \quad (10) \\ B &= C \int_{\lambda_{B1}}^{\lambda_{B2}} B(\lambda)L(\lambda)\phi_B(\lambda) d\lambda \end{aligned}$$

【0042】

30

式(10)において、 $L(\quad)$ は撮影に使用した光学系の分光透過率、 ϕ_k ($k = R, G, B$)は撮影に使用したカメラの分光感度特性、 λ_{k1} 、 λ_{k2} ($k = R, G, B$)はそれぞれ、カメラの分光感度特性の最小波長と最大波長である。また、 C は比例定数である。

【0043】

式(10)に式(9)を代入すると、以下の式(11)のようにまとめることができる。式(11)中の I_0^k 、 I_1^k 、 I_2^k は、以下の式(12)のように定義される。また、式(11)の b_0 、 b_1 、 b_2 は、以下の式(13)のように定義される。

【0044】

【数 1 0】

$$\begin{aligned} R &= b_0 I_0^R + b_1 I_1^R + b_2 I_2^R \\ G &= b_0 I_0^G + b_1 I_1^G + b_2 I_2^G \quad \cdots \quad (11) \\ B &= b_0 I_0^B + b_1 I_1^B + b_2 I_2^B \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_0^k &= \int_{\lambda_{k1}}^{\lambda_{k2}} F(\lambda) T(\lambda) L(\lambda) \phi_k(\lambda) d\lambda \\ I_1^k &= \int_{\lambda_{k1}}^{\lambda_{k2}} F(\lambda) T(\lambda) (\lambda/\lambda_0)^{-1} L(\lambda) \phi_k(\lambda) d\lambda \quad \cdots \quad (12) \end{aligned}$$

$$I_2^k = \int_{\lambda_{k1}}^{\lambda_{k2}} F(\lambda) T(\lambda) (\lambda/\lambda_0)^{-4} L(\lambda) \phi_k(\lambda) d\lambda$$

$$\begin{aligned} b_0 &= C a_0 \\ b_1 &= C a_1 \quad \cdots \quad (13) \\ b_2 &= C a_2 \end{aligned}$$

【0 0 4 5】

式 (12) の値は、事前に算出することが可能である。従って、係数 a_0 、 a_1 、 a_2 は、RGB 値を用いて、以下の式 (14) により求めることができる。 20

【0 0 4 6】

【数 1 1】

$$\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{C} \begin{bmatrix} I_0^R & I_1^R & I_2^R \\ I_0^G & I_1^G & I_2^G \\ I_0^B & I_1^B & I_2^B \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad \cdots \quad (14)$$

30

【0 0 4 7】

以上より、求められた係数 a_0 、 a_1 、 a_2 を式 (9) に代入することにより、空の特定領域からの照明光を取得することができる。空の半球画像からは、画像内の各点について係数 a_0 、 a_1 、 a_2 を求めることができる。従って、空の半球画像から照明光の空間分布情報を得ることが可能である。

【0 0 4 8】

なお、ここでは 3 バンドの画像を用いているが、自然光近似モデルの変数の数と同数以上のバンド数であればこれに限定されるものではない。例えば、4 バンド画像でもよく、その場合、式 (14) に代えて最小二乗法などにより変数を求めればよい。また、ここでは RGB 画像を用いているが、式 (14) に示されるような逆行列の階数が自然光近似モデルの変数の数と同数以上であれば、RGB バンドに限定されるものではない。例えば、可視域赤波長帯 R に代えて、近赤外波長帯 IR を用いてもよい。また、式 (9) の近似モデルにより求められる自然光は可視波長帯域に限定されるものではなく、紫外線 (300 nm) から近赤外領域 (2.5 μm) まで利用可能である。また、式 (9) 以外の近似モデルを用いてもよい。 40

【0 0 4 9】

(物体の向き情報の取得方法)

本実施形態における物体の向き情報は、物体の面法線ベクトル、物体面の方位角と仰角、または、物体面の 2 方向の傾きのいずれかに相当するが、これらに限定されるものではない。物体の向き情報は、ユーザが手入力で行うことができる。また、三次元計測情報に 50

基づいて、物体の面法線ベクトルなどを算出してもよい。三次元計測情報の取得方法としては、ステレオ法、アクティブステレオ法、光レーザー法などを用いればよい。

【0050】

なお、対象とする物体が複数の物体で構成されている場合、複数の物体（複数の局所的物体）を1つの物体とみなして物体の向き情報を求めてもよい。例えば、稲が植えられた水田では、水田内に生えた複数の稲の全体を1つの物体とみなし、物体の向き情報を求めてもよい。また、物体が表面構造を有している場合、物体の向き情報は表面構造の向き情報（局所的な向き情報）を平均化して求めてもよい。

【0051】

以下、本発明に関し、各実施例において具体的に説明する。

10

【実施例1】

【0052】

まず、図1乃至図3を参照して、本発明の実施例における情報処理方法について説明する。図1は、本実施例における情報処理方法のフローチャートである。図1の各ステップは、例えば実施例3または実施例4の情報処理装置（計測システム）により実行される。図2は、図1のステップS11における照明光の推定方法の説明図である。図3は、図1のステップS12における物体照明光の算出方法の説明図である。

【0053】

まず、図1のステップS11において、情報処理装置は、照明光の空間分布情報を推定する。ステップS11において、情報処理装置は、例えば全画角180度の円周魚眼画像（魚眼レンズを用いて撮影した画像）を用いて照明光の空間分布情報を推定する。全画角180度以上の円周魚眼画像を用いると、空の各点から物体に入射する各照明光の空間分布情報を取得することができる。なお、本実施例ではRGB画像を用いているが、これに限定されるものではない。

20

【0054】

図2の上段には、空の円周魚眼画像（撮影画像）が示されている。本実施例ではRGBの3バンド画像が用いられており、 $R(i, j)$ 、 $G(i, j)$ 、 $B(i, j)$ はそれぞれRバンド画像、Gバンド画像、Bバンド画像をそれぞれ示している。ここで、 i, j はそれぞれ水平方向および垂直方向のそれぞれの画素番号を示しており、水平方向および垂直方向の画素数をそれぞれ N_h 、 N_v とすると、 $1 \leq i \leq N_h$ 、 $1 \leq j \leq N_v$ の範囲内の値を採る。

30

【0055】

なお、より正確に照明光を推定するには、入射光に対して線形の感度特性を有するイメージセンサにより取得された光電変換値を有する画像データを用いることが好ましい。また、晴天時の太陽を含む空を撮影する場合、光電変換値が飽和して入射光に対する出力値の線形性が失われるが、このような場合には露出を変化させて撮影した複数の画像を合成した、所謂、高ダイナミックレンジ画像を用いることが好ましい。また、画像データを用いて照明光を推定する前処理として、光学系やセンサにより発生したシェーディングを補正するシェーディング補正や、光学系により生じる歪曲を補正する歪曲補正を実施すると、照明光をより正確に推定できるため好ましい。また、式(9)を用いる場合、空領域以外の領域ではマルチバンド画像から照明光を推定することができない。その場合には、画像内の空領域以外の領域をマスキングするマスキング処理を行うことが好ましい。

40

【0056】

図2の中段に示される画像は、直達光成分係数 $a_0(i, j)$ 、レイリー散乱成分係数 $a_1(i, j)$ 、ミー散乱成分係数 $a_2(i, j)$ を可視化した図である。 $a_0(i, j)$ 、 $a_1(i, j)$ 、 $a_2(i, j)$ の各値は式(14)を用いて算出することができる。図2の下段に示される画像は、空の各点の放射輝度 $B(i, j, k)$ を可視化した画像である。ここで、 k は波長分割数であり、波長数を N_L とすると、 $1 \leq k \leq N_L$ の範囲内の値を採る。放射輝度 $B(i, j, k)$ は、 k 番目の波長 λ_k における放射輝度の空間分布を表している。以上により、RGB画像から照明光の空間分布情報を得ることができ

50

る（照明スペクトル推定）。

【0057】

続いて、ステップS12において、情報処理装置は、ステップS11にて推定された照明光の空間分布情報と、物体の面法線情報（物体の向き情報）とに基づいて、物体を照明する物体照明光 E_i （ ）を算出する。

【0058】

図3（a）は、照明光下における物体の配置を示す図である。図3（a）において、N、E、S、Wはそれぞれ方角（北、東、南、西）を示しており、物体反射面OPは真上を向いている。ここで、 n_{obj} は物体反射面OPの面法線ベクトルを表している。また、 n_{lay} は角度 θ_i の方向から物体反射面OPに入射する光線の単位ベクトルを表しており、その向きは光線の進行方向と逆向きに定義される。単位ベクトル n_{lay} は、画像の射影方式を用いて算出することができる。本実施例では、等立体角射影の光学系により撮像した画像が用いられる。この場合、単位ベクトル n_{lay} は、図8に示される関係を用いて、以下の式（15）～（17）のように表すことができる。

【0059】

【数12】

$$\theta_p(i, j) = 2 \sin^{-1} \left\{ \sqrt{x(i, j)^2 + y(i, j)^2} / (2f) \right\} \quad \cdots (15)$$

$$\phi(i, j) = \tan^{-1} \{ y(i, j) / x(i, j) \} \quad \cdots (16)$$

$$n_{lay}(i, j) = [\sin \theta_p(i, j) \cos \phi(i, j), \sin \theta_p(i, j) \sin \phi(i, j), \cos \theta_p(i, j)] \quad \cdots (17)$$

【0060】

式（15）～（17）において、 f は光学系の焦点距離、 $x(i, j)$ 、 $y(i, j)$ は画素（ i, j ）におけるイメージセンサ上での x 方向および y 方向のそれぞれの距離である。

【0061】

図3（b）は、角度 θ_i の方向の微小立体角 $d\theta_i$ から物体に到達する k 番目の波長 λ_k の放射輝度 $B(i, j, k)$ を可視化した図である。図3（c）は、式（1）の \cos の分布を可視化した図である。 $\cos(i, j)$ は、面法線ベクトル n_{obj} と単位ベクトル n_{lay} との内積を算出することにより求めることができる。図3（d）は、式（1）に基づき、図3（b）、（c）を用いて物体照明光 E_i （ ）を算出した結果である。図3（d）の横軸は波長、縦軸は放射照度をそれぞれ示している。なお、光学系の射影方式が等立体角射影の場合、画像の各画素に対応する立体角が等しくなるため、微小立体角 $d\theta_i$ を一定とすることができ、簡易に積分を算出することが可能である。以上により、撮影時の物体照明光を正確に算出することが可能となる。

【0062】

最後に、ステップS13において、情報処理装置は、物体の照明光の影響を低減するように、照明光下で計測された反射光に関する情報（カメラで取得されたデータ）を補正する。具体的には、情報処理装置は、ステップS12にて算出された物体照明光（物体照明光に関する情報）と、照明光下で計測された物体の反射光（反射光に関する情報）と、反射光の向き情報とに基づいて、反射光に関する情報を補正する。情報処理装置は、例えば式（4）で表されるように、反射光に関する情報を補正して物体の反射率特性を算出する。

【実施例2】

【0063】

次に、図4を参照して、本発明の実施例2における情報処理方法について説明する。図4は、図1のステップS12（物体照明光の算出）の説明図である。本実施例の情報処理方法は、物体反射面OPの面法線ベクトル n_{obj} がS（南）の方角を向いている点で、

面法線ベクトル $n_{o, b, j}$ が真上を向いている実施例 1 とは異なる。その他に関して、本実施例の情報処理方法は図 1 を参照して説明した実施例 1 と同様であるため、それらの説明を省略する。

【0064】

図 4 (a) は照明光下における物体の配置を示している。図 4 (a) において、物体反射面 OP は真横 (S (南) の方角) を向いている。図 4 (b) は、角度 θ_i の方向の微小立体角 $d\theta_i$ から物体に到達する k 番目の波長 λ_k の放射輝度 $B(i, j, k)$ を可視化した図であり、図 3 (b) と同じ値となっている。図 4 (c) は、式 (1) の \cos の分布を可視化した図である。物体反射面の面法線ベクトルが異なるため、実施例 1 とは異なる分布を有する。図 4 (d) は、式 (1) に基づいて、図 4 (b)、(c) を用いて物体照明光 E_i () を算出した結果である。

10

【0065】

以上のように、本実施例では、予め照明光の空間分布情報を有しているため、物体向きに応じた物体照明光を高精度に算出することが可能となっている。

【実施例 3】

【0066】

次に、図 5 を参照して、本発明の実施例 3 における情報処理装置 (計測システム) について説明する。図 5 は、情報処理装置 100 のブロック図である。情報処理装置 100 は、情報処理部 10、照明情報取得部 21、物体向き情報取得部 31、および、反射光情報取得部 41 を備えて構成される。

20

【0067】

情報処理部 10 は、例えば実施例 1 または実施例 2 の情報処理方法を実行する。また情報処理部 10 は、照明情報入力部 (第 1 の入力部) 11、物体向き情報入力部 (第 2 の入力部) 12、物体照明光算出部 13、反射光情報入力部 (第 3 の入力部) 14、反射光向き情報入力部 (第 4 の入力部) 15、および、反射光補正部 16 を有する。照明情報取得部 (第 1 の取得部) 21 は、照明光撮像部 22 および照明光推定部 23 を有する。物体向き情報取得部 (第 2 の取得部) 31 は、三次元計測部 32 および物体向き情報算出部 33 を有する。

【0068】

照明光撮像部 (撮像部) 22 は、空の半球画像を撮影する。照明光推定部 23 は、照明光撮像部 22 により撮影された画像 (例えば、魚眼レンズで撮影した画像データ) を用いて、照明光 (照明光の空間分布情報) を推定する。推定された照明光の空間分布情報は、照明情報入力部 11 に入力される。三次元計測部 (計測部) 32 は、物体の三次元情報を計測する。物体向き情報算出部 (第 2 の算出部) 33 は、三次元計測部 32 により計測された三次元情報 (三次元計測情報) に基づいて、物体の向き情報である面法線情報 (面法線ベクトル $n_{o, b, j}$) を算出する。物体向き情報算出部 33 により算出された物体の面法線情報は、物体向き情報入力部 12 に入力される。物体照明光算出部 (第 1 の算出部) 13 は、例えば式 (1) に基づいて、照明情報入力部 11 に入力された照明光の空間分布情報と、物体向き情報入力部 12 に入力された物体の面法線情報とを用いて物体照明光 E_i () を算出する。

30

40

【0069】

反射光情報取得部 (第 3 の取得部) 41 は、例えばカメラであり、半球画像が撮影された照明光下での物体の反射光に関する情報 (カメラにより取得されたデータ) を取得する。反射光情報取得部 41 により取得された物体の反射光に関する情報は、反射光情報入力部 14 に入力される。反射光向き情報入力部 15 には、反射光の向き情報が入力される。ここで反射光の向き情報とは、角度 θ_r (反射光の角度) と物体の面法線とが為す角度 ϕ_r に関する情報である。本実施例において、反射光の向き情報は、反射光情報取得部 41 に取り付けられた角度センサからの情報に基づいて取得される。

【0070】

反射光補正部 16 は、例えば式 (4)、(6) に基づいて、物体の反射光に関する情報

50

を補正する。すなわち反射光補正部 16 は、物体照明光算出部 13 で算出された物体照明光に関する情報と、反射光情報入力部 14 に入力された物体の反射光に関する情報と、反射光向き情報入力部 15 に入力された反射光の向き情報とを用いて、反射光に関する情報を補正する。その他、反射光補正部 16 は、式 (7)、(8) に基づいて、物体照明光算出部 13 により算出された物体照明光に関する情報と、反射光情報入力部 14 に入力された物体の反射光に関する情報とを用いて、物体の反射光に関する情報を補正する。

反射光補正部 16 により補正された反射光に関する情報 (補正後の反射光に関する情報) は、例えば、外部装置に出力され、情報処理装置 100 の記憶部に記憶され、または表示部に表示される。

【実施例 4】

【0071】

次に、図 6 を参照して、本実施例における情報処理装置 (計測システム) について説明する。本実施例の情報処理装置は、図 5 を参照して説明した実施例 3 の情報処理装置 100 と同様の構成を有する。図 6 には、照明光撮像部 22 および反射光情報取得部 41 が示されている。照明光撮像部 22 は、全方位に対して全画角 2π が 180 度以上の画角を有する全周魚眼レンズ (光学系) を備えている。従って、本実施例の情報処理装置は、周囲に障害物があるような撮影環境でもより高い位置で撮影することができ、空全体の照明情報を取得することが可能となる。

【0072】

本実施例の照明光撮像部 22 および反射光情報取得部 41 はそれぞれ、共通の分光感度特性を有する RGB の 3 バンドのマルチバンドカメラを有する。また、照明光撮像部 22 の光学系の分光透過率 $L(\lambda)$ と反射光情報取得部 41 の光学系の分光透過率 $L(\lambda)$ とが互いに略等しくなるように、各光学系が設定されている。このため、本実施例の情報処理装置 (情報処理装置) を用いて物体の反射光から物体照明光の影響を除去または低減した反射特性を算出する場合、式 (5) は反射光情報取得部 41 で取得した RGB 値に等しい。また、式 (6) の右辺分母の値は、式 (1) の $B(i, j)$ を照明光撮像部 22 で取得した $R(i, j)$ 、 $G(i, j)$ 、 $B(i, j)$ 値に置き換えて積分した値と等しい。

【0073】

従って、照明光撮像部 22 および反射光情報取得部 41 に関して、光学系の分光透過率とマルチバンドカメラの分光感度特性それぞれ互いに等しい場合、照明光推定処理を行うことなく物体照明光の影響を除去または低減した反射特性を算出することが可能である。加えて、この場合、式 (9) で示される近似モデルを用いず、実測値を用いて物体照明光を算出しているため、より正確に物体照明光を算出できるという利点がある。また、式 (9) に示される近似モデルを用いていないため、空領域以外の領域から物体に入射する照明光の影響も考慮することができる。例えば、構造物で反射された照明光は構造物領域のマルチバンド画像の積分値によって正確に表現することができる。この場合、図 2 に示されるマスキング処理が不要となる。なお本実施例では、1 つの照明光撮像部 22 に対して 1 つの反射光情報取得部 41 を有しているが、照明光撮像部 22 で撮像した空のマルチバンド画像は、近い地域では略同一であるため、1 つの照明光撮像部 22 を複数の反射光情報取得部 41 で共有してもよい。

【0074】

(その他の実施例)

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

【0075】

各実施例によれば、日射条件、天候、物体の向きに依らず、照明光を高精度に推定し、物体の反射光から照明光の影響を補正することができる。このため各実施例によれば、物体の特性を正確に取得することが可能な情報処理方法、情報処理装置、および、プログラ

10

20

30

40

50

ムを提供することができる。

【 0 0 7 6 】

以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

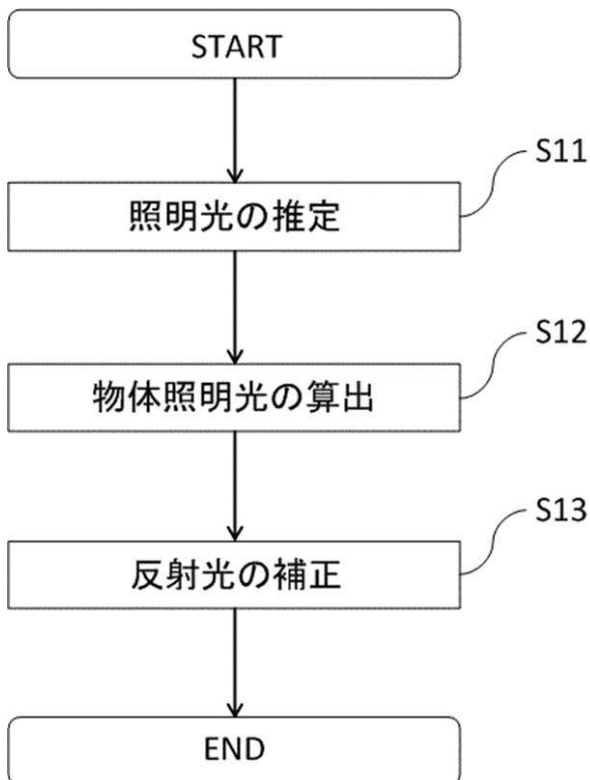
【 符号の説明 】

【 0 0 7 7 】

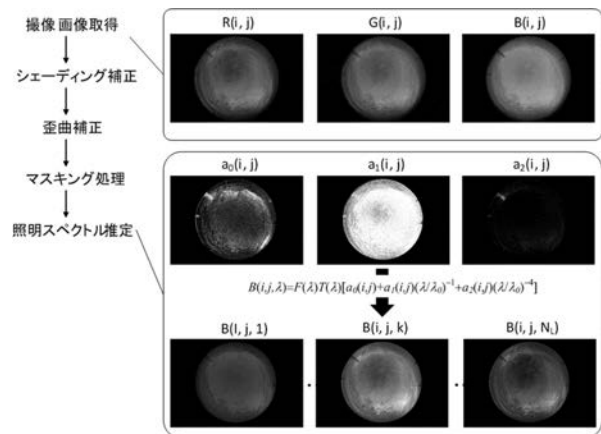
- 1 1 照明情報入力部
- 1 2 物体向き情報入力部
- 1 3 物体照明光算出部
- 1 4 反射光情報入力部
- 1 5 反射光向き情報入力部
- 1 6 反射光補正部
- 1 0 0 情報処理装置

10

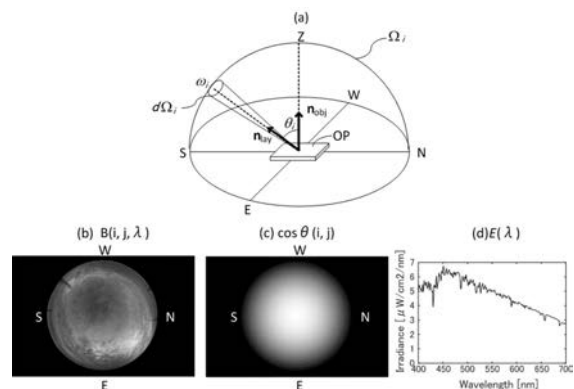
【 図 1 】



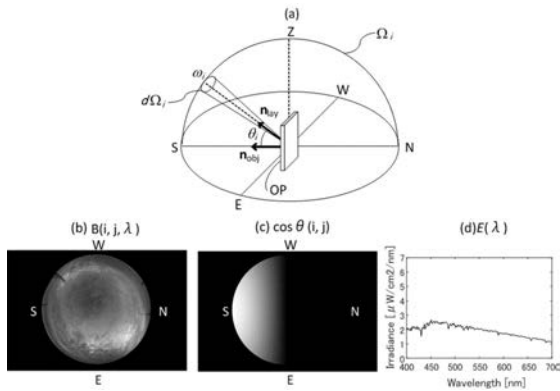
【 図 2 】



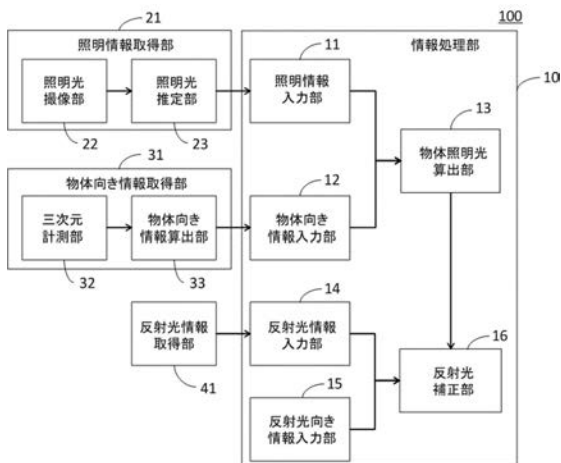
【 図 3 】



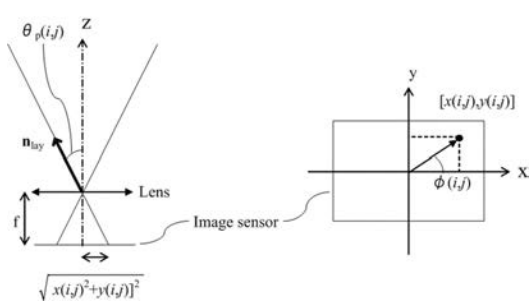
【図4】



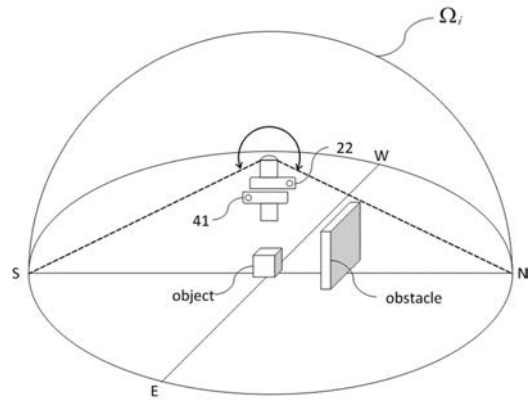
【図5】



【図8】



【図6】



【図7】

