

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2009年8月6日 (06.08.2009)

PCT

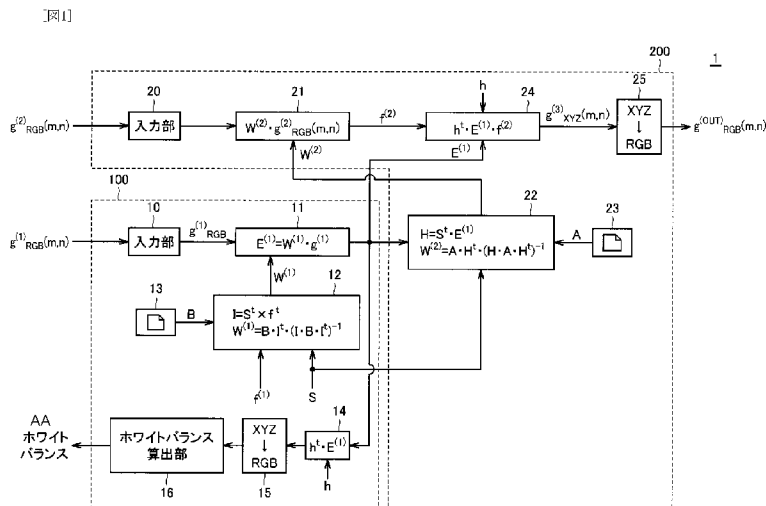
(10) 国際公開番号
WO 2009/096232 A1

- (51) 国際特許分類:
G01J 3/28 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/050453
- (22) 国際出願日: 2009年1月15日 (15.01.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2008-021394 2008年1月31日 (31.01.2008) JP
特願2008-021395 2008年1月31日 (31.01.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): シャープ株式会社 (SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒5458522 大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 杉山 晃一 (SUGIYAMA, Koichi).
- (74) 代理人: 深見 久郎, 外 (FUKAMI, Hisao et al.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目2番7号中之島セントラルタワー22階 深見特許事務所 Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[続葉有]

(54) Title: IMAGE PROCESSING DEVICE AND IMAGE PROCESSING METHOD

(54) 発明の名称: 画像処理装置および画像処理方法



10, 20 INPUT UNIT
AA WHITE BALANCE
16 WHITE BALANCE CALCULATION UNIT

(57) Abstract: An estimate matrix calculation unit (12) calculates a first estimate matrix ($W^{(1)}$) based on autocorrelation matrix (B) of spectral radiance of a light source candidate that can be used for providing an illumination environment in an object, a spectral transmittance ($f^{(1)}$) of a dispersion member and a spectral sensitivity (S) of an image picking-up device. A spectral radiance calculation unit (11) calculates spectral radiance ($E^{(1)}$) of illumination light that is incident on an object (OBJ) from image picking-up data ($g^{(1)}_{RGB}$) by using the first estimate matrix ($W^{(1)}$) calculated by the estimate matrix calculation unit (12).

[続葉有]

WO 2009/096232 A1



SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

(57) 要約: 推定行列算出部(12)は、被写体における照明環境を提供するために用いられ得る光源候補の分光放射輝度の自己相関行列 B 、拡散部材の分光透過率 $f^{(1)}$ 、撮像装置の分光感度 S に基づいて、第1推定行列 $W^{(1)}$ を算出する。分光放射輝度算出部(11)は、推定行列算出部(12)で算出された第1推定行列 $W^{(1)}$ を用いて、撮像データ $g^{(1)}_{RGB}$ から被写体 OBJ に入射する照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ を算出する。

明 細 書

画像処理装置および画像処理方法

技術分野

[0001] 本発明は、被写体を撮像する際の当該被写体に照射される照明光の分光放射輝度を算出可能な画像処理装置および画像処理方法に関するものである。

背景技術

[0002] 近年、様々な照明環境下において撮像された被写体の色を、表示装置や印刷装置などの出力装置において、正確に再現するための技術が提案されている。

[0003] 代表的な技術として、被写体の分光反射率(反射スペクトル)に基づくカラーマネジメント技術が知られている。この技術は、被写体の色を波長領域で扱うことで実現され、被写体における照明環境にかかわらず正確な色再現が可能となる。このような被写体の分光反射率に基づいた撮像処理については、“三宅洋一編、「分光画像処理入門」、財団法人東京大学出版会、2006年2月24日”にその原理的な方法が開示されている。

[0004] ところで、被写体の分光反射率を推定するためには、その前提となる撮像時の照明環境下における分光放射輝度(照明スペクトル)を予め取得しておく必要がある。なぜならば、被写体からの分光放射輝度は、照明光の分光放射輝度および被写体の分光反射率に応じて定まるため、照明光の分光放射輝度が既知でなければ、被写体を撮像して得られる撮像データに基づいて、被写体の分光反射率を正確に算出できないからである。

[0005] また、照明光の分光放射輝度は、撮像装置のホワイトバランス調整などにも用いられる。このホワイトバランス調整とは、撮像装置を構成する複数の撮像素子から出力される輝度値のレベルを互いに調整するための係数を決定する作業である。ホワイトバランスが崩れると、白色の被写体を撮像装置によって撮像した場合に、本来の白色とは異なった色(たとえば、赤味を帯びた色など)が出力されるなど、正確に色再現を行なうことができない。なお、ホワイトバランス調整については、特開2001-057680号公報や特開2005-328386号公報に開示されている。

特許文献1:特開2001-057680号公報

特許文献2:特開2005-328386号公報

非特許文献1:三宅洋一編、「分光画像処理入門」、財団法人東京大学出版会、2006年2月24日

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0006] 従来、照明光の分光放射輝度は、もっぱら分光放射計といった専用の測定装置を用いて測定されていた。分光放射計は、光学系を通じて入射した光を回折格子(グレーティング)によって分光し、イメージセンサ(CCD(Charge Coupled Device)やCMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)などが用いられる)にて受光し、波長毎の輝度値を取得する。上述したようなカラーマネジメント技術を実現しようとする、スチルカメラやビデオカメラといった撮像装置の他に、分光放射輝度を測定するための測定装置が必要となり、コストが高くなるという課題があった。

[0007] また、通常、被写体に照射される照明光を測定するためには、分光反射率が既知である標準白色板を被写体付近に設置し、その板面からの反射光を分光放射計によって測定する必要があり、撮像だけでなく、測定のための手間がかかるという課題があった。

[0008] そこで、この発明は、かかる課題を解決するためになされたものであり、その目的は、被写体を撮像するための撮像装置を用いて、当該被写体に照射されている照明光の分光放射輝度を容易に算出可能な画像処理装置および画像処理方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0009] この発明のある局面によれば、撮像装置によって撮像された撮像データに対する画像処理が可能な画像処理装置を提供する。この画像処理装置は、撮像装置を用いて、照明環境下において被写体に入射する光の少なくとも一部を拡散部材を介して撮像することで得られた第1撮像データを、受入れる入力部と、照明環境を提供するために用いられ得る光源候補の分光放射輝度の自己相関行列と、拡散部材の分光透過率と、撮像装置の分光感度と、に基づいて算出される第1推定行列を用いて

、第1撮像データから被写体に入射する照明光の分光放射輝度を算出する第1算出部とを含む。

[0010] 好ましくは、光源候補の分光放射輝度は、光源の種類毎に予め取得された特性値である。

[0011] 好ましくは、拡散部材は、撮像装置の光軸上に配置され、拡散部材の入射強度は、光軸に対する角度についての所定の関数値で示される。

[0012] さらに好ましくは、関数値は、光軸に対する角度についての余弦関数である。

好ましくは、撮像装置は、撮像データとして、RGB表色系において定義される座標値を出力するように構成される。画像処理装置は、照明光の分光放射輝度と等色関数とを用いて、照明光の分光放射輝度に対応するRGB表色系における座標値を算出する第2算出部と、第2算出部において算出された座標値の比に基づいて、撮像装置におけるホワイトバランスを算出する第3算出部とをさらに含む。

[0013] 好ましくは、この画像処理装置は、照明光の分光放射輝度と、撮像装置の分光感度と、被写体に含まれ得る色の分光反射率の自己相関行列と、に基づいて算出される第2推定行列を用いて、照明環境下において撮像装置により被写体を撮像することで得られる第2撮像データから被写体の分光反射率を算出する第4算出部をさらに含む。

[0014] さらに好ましくは、この画像処理装置は、第4算出部によって算出された被写体の分光反射率に基づいて、被写体を所定の照明環境下において撮像した場合に取得される画像データを生成する生成部をさらに含む。

[0015] この発明の別の局面によれば、撮像装置によって撮像された撮像データに対する画像処理が可能な画像処理装置を提供する。この画像処理装置は、撮像装置を用いて、照明環境下において被写体に入射する光の少なくとも一部を拡散部材を介して撮像することで得られた第1撮像データを、受入れる入力部と、照明環境を提供するために用いられ得る複数の光源候補の種類毎に予め定められた演算行列のうち一つを、外部指令に応じて選択する選択部と、選択部によって選択された演算行列と、拡散部材の分光透過率と、撮像装置の分光感度と、に基づいて算出される第1推定行列を用いて、第1撮像データから被写体に入射する照明光の分光放射輝度を

算出する第1算出部とを含む。演算行列の各々は、光源候補の分光放射輝度を示す行列の自己相関行列である。

[0016] この発明のさらに別の局面によれば、撮像装置によって撮像された撮像データに対する画像処理が可能な画像処理装置を提供する。この画像処理装置は、撮像装置を用いて、照明環境下において被写体に入射する光の少なくとも一部を拡散部材を介して撮像することで得られた第1撮像データを、受入れる入力部と、照明環境を提供するために用いられ得る複数の光源候補の分光放射輝度に基づいて予め算出される、複数の第1推定行列のうち一つを外部指令に応じて選択する選択部と、選択部によって選択された第1推定行列を用いて、第1撮像データから被写体に入射する照明光の分光放射輝度を算出する第1算出部とを含む。第1推定行列は、対応する光源候補の分光放射輝度を示す行列の自己相関行列と、拡散部材の分光透過率と、撮像装置の分光感度と、に基づいて算出される。

[0017] この発明のさらに別の局面によれば、撮像装置によって撮像された撮像データに対する画像処理が可能な画像処理装置を提供する。この画像処理装置は、撮像装置を用いて、照明環境下において被写体に入射する光の少なくとも一部を拡散部材を介して撮像することで得られた第1撮像データを、受入れる入力部と、照明環境を提供するために用いられ得る複数の光源候補の分光放射輝度に基づいてそれぞれ算出される複数の第1推定行列を用いて、第1撮像データから被写体に入射する照明光の分光放射輝度の候補をそれぞれ算出する第1算出部と、それぞれ算出された分光放射輝度の候補を予め定められた基準パターンとの比較によって評価し、そのうち一つを照明環境下における照明光の分光放射輝度として出力する評価部とを含む。第1推定行列は、対応する光源候補の分光放射輝度を示す行列の自己相関行列と、拡散部材の分光透過率と、撮像装置の分光感度と、に基づいて算出される。

[0018] この発明のさらに別の局面に従う画像処理方法は、撮像装置を用いて、照明環境下において被写体に入射する光の少なくとも一部を拡散部材を介して撮像することで第1撮像データを取得するステップと、照明環境を提供するために用いられ得る光源候補の分光放射輝度の自己相関行列と、拡散部材の分光透過率と、撮像装置の分光感度と、に基づいて算出される第1推定行列を用いて、第1撮像データから被写

体に入射する照明光の分光放射輝度を算出するステップとを含む。

[0019] この発明のさらに別の局面に従う画像処理方法は、撮像装置を用いて、照明環境下において被写体に入射する光の少なくとも一部を拡散部材を介して撮像することで第1撮像データを取得するステップと、照明環境を提供するために用いられ得る複数の光源候補の種類毎に予め定められた複数の演算行列のうち一つを選択するステップと、選択された演算行列と、拡散部材の分光透過率と、撮像装置の分光感度と、に基づいて算出される第1推定行列を用いて、第1撮像データから被写体に入射する照明光の分光放射輝度を算出するステップとを含む。演算行列の各々は、光源候補の分光放射輝度を示す行列の自己相関行列である。

[0020] この発明のさらに別の局面に従う画像処理方法は、撮像装置を用いて、照明環境下において被写体に入射する光の少なくとも一部を拡散部材を介して撮像することで第1撮像データを取得するステップと、照明環境を提供するために用いられ得る複数の光源候補の分光放射輝度に基づいて予め算出される複数の第1推定行列のうち一つを選択するステップと、選択された第1推定行列を用いて、第1撮像データから被写体に入射する照明光の分光放射輝度を算出するステップとを含む。第1推定行列は、対応する光源候補の分光放射輝度を示す行列の自己相関行列と、拡散部材の分光透過率と、撮像装置の分光感度と、に基づいて算出される。

[0021] この発明のさらに別の局面に従う画像処理方法は、撮像装置を用いて、照明環境下において被写体に入射する光の少なくとも一部を拡散部材を介して撮像することで第1撮像データを取得するステップと、照明環境を提供するために用いられ得る複数の光源候補の分光放射輝度に基づいてそれぞれ算出される複数の第1推定行列を用いて、第1撮像データから被写体に入射する照明光の分光放射輝度の候補をそれぞれ算出するステップと、それぞれ算出された分光放射輝度の候補を予め定められた基準パターンとの比較によって評価し、そのうち一つを照明環境下における照明光の分光放射輝度として出力するステップとを含む。第1推定行列は、対応する光源候補の分光放射輝度を示す行列の自己相関行列と、拡散部材の分光透過率と、撮像装置の分光感度と、に基づいて算出される。

発明の効果

[0022] この発明によれば、被写体を撮像するための撮像装置を用いて、当該被写体に照射されている照明光の分光放射輝度を容易に算出できる。

図面の簡単な説明

[図1]この発明の実施の形態1に従う画像処理装置の機能構成図である。

[図2]この発明の実施の形態1に従う画像処理装置において処理対象となる撮像データの取得方法を説明するための図である。

[図3]この発明の実施の形態1に従う分光放射輝度の自己相関行列の生成処理を説明するための図である。

[図4]この発明の実施の形態1に従う画像処理装置における全体処理手順を示すフローチャートである。

[図5]この発明の実施の形態2に従う画像処理装置の機能構成図である。

[図6]この発明の実施の形態2に従う画像処理装置における全体処理手順を示すフローチャートである。

[図7]この発明の実施の形態2の変形例に従う画像処理装置の機能構成図である。

[図8]この発明の実施の形態2の変形例に従う画像処理装置における全体処理手順を示すフローチャートである。

[図9]この発明の実施の形態3に従う画像処理装置の照明スペクトル推定部の機能構成図である。

[図10]評価部による照明光の分光放射輝度と基準パターンとの比較処理を説明するための図である。

[図11]図10における類似度の算出処理を説明するための図である。

[図12]この発明の実施の形態3に従う画像処理装置における全体処理手順を示すフローチャートである。

[図13]図12に示すステップS108に示す評価サブルーチンの処理手順を示すフローチャートである。

[図14]この発明の実施の形態の変形例に従う画像処理装置を実現するコンピュータの概略構成図である。

符号の説明

[0024] Ax1, Ax2 光軸、OBJ 被写体、1, 1A, 1B 画像処理装置、10, 20 入力部、11, 11A, 11B, 11C, 11D 分光放射輝度算出部、12 推定行列算出部、13, 13A 光源データ格納部、14 三刺激値変換部、15 座標変換部、16 ホワイトバランス算出部、17 推定行列格納部、18 選択部、19 評価部、21 分光反射率算出部、22 推定行列算出部、23 分光反射率データ格納部、24 画像データ生成部、25 座標変換部、100, 100A, 100B, 100C 照明スペクトル推定部、150 コンピュータ本体、152 モニタ、154 キーボード、156 マウス、162 メモリ、164 固定ディスク、166 FD駆動装置、168 CD-ROM駆動装置、170 通信インターフェース、200 色再現部、300 光源、400 撮像装置、402 拡散部材。

発明を実施するための最良の形態

[0025] この発明の実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中の同一または相当部分については、同一符号を付してその説明は繰返さない。

[0026] [実施の形態1]

<全体構成>

図1は、この発明の実施の形態1に従う画像処理装置1の機能構成図である。

[0027] 図1を参照して、画像処理装置1は、後述する撮像装置によって撮像された第1撮像データ $g_{RGB}^{(1)}(m, n)$ および第2撮像データ $g_{RGB}^{(2)}(m, n)$ に対して、本実施の形態に係る画像処理方法を実行可能である。

[0028] より具体的には、画像処理装置1は、照明スペクトル推定部100と、色再現部200とを含む。照明スペクトル推定部100は、第1撮像データ $g_{RGB}^{(1)}(m, n)$ を用いて、被写体に入射する照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ (照明スペクトル)を算出する。続いて、色再現部200が、算出された分光放射輝度 $E^{(1)}$ を用いて、第2撮像データ $g_{RGB}^{(2)}(m, n)$ から被写体の分光反射率を算出する。さらに、色再現部200は、この算出した被写体の分光反射率に基づいて、被写体の色再現を行なった画像データ $g_{RGB}^{(OUT)}(m, n)$ を出力する。この色再現部200から出力される画像データ $g_{RGB}^{(OUT)}(m, n)$ は、代表的に表示装置(ディスプレイ)や印刷装置(プリンタ)などの図示しない出力装置へ出力される。あるいは、図示しない記憶装置などに格納されてもよい。

[0029] なお、画像処理装置1は、代表的に、ハードウェアによって実現されるが、後述する

ように、その一部または全部をソフトウェアによって実現してもよい。

[0030] <撮像データの取得>

図2は、この発明の実施の形態1に従う画像処理装置1において処理対象となる撮像データの取得方法を説明するための図である。なお、図2には、所定の照明環境下において、被写体OBJを撮像する場合を示す。図2(A)は、第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ を取得する手順を示し、図2(B)は、第2撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(2)}(m, n)$ の取得する手順を示す。

[0031] まず、撮像データの取得(撮像)には、撮像装置400が用いられる。この撮像装置400は、一例として、デジタルスチルカメラやデジタルビデオカメラであり、特定の波長帯域における分光感度特性をもつ撮像素子(代表的に、CCDやCMOSなど)を有する。撮像素子は、行列状に配置された複数の画素を含み、各画素に入射する光の強度に応じた輝度を撮像データとして出力する。このとき、各撮像素子から出力される輝度は、その分光感度に応じた値となる。撮像装置の撮像可能な特定の波長帯域のことをバンドと呼び、本実施の形態では、代表的に、主としてR(赤)、G(緑)、B(青)の分光感度特性を有する3バンドの撮像装置400を用いる場合について説明する。なお、デバイス構造としては、同一の基板上に複数種類の撮像素子を形成した構造、あるいは複数の基板上にそれぞれ対応する1種類の撮像素子を形成した構造のいずれを採用することもできる。また、各バンドの分光感度特性を決定付ける方法としては、素子自体の分光感度を異ならせるようにしてもよいし、同じ分光感度を有する素子を用いて、各素子の入力光側にR、G、Bのフィルタを設けることで実現してもよい。

[0032] 上述のように、撮像装置400が出力する撮像データは、R、G、Bの各輝度値(代表的に、それぞれが12ビット:0~4095階調)の3次元の色情報となる。このように、撮像装置400が出力する撮像データは、RGB表色系において定義される。以下、撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ 、 $g_{\text{RGB}}^{(2)}(m, n)$ の(m, n)は、撮像装置400の撮像素子における対応する画素の座標を表わす。すなわち、撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ 、 $g_{\text{RGB}}^{(2)}(m, n) = [(\text{座標}(m, n)\text{におけるRの撮像素子で検出された輝度値}), (\text{座標}(m, n)\text{におけるGの撮像素子で検出された輝度値}), (\text{座標}(m, n)\text{におけるBの撮像素子で検出された輝度値})]$ となる。

- [0033] 図2(A)を参照して、被写体OBJには、何らかの光源300が発する照明光が照射されているとする。このような光源300によって実現される照明環境下において、まず第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ を取得する場合には、撮像装置400を用いて、光源300から被写体OBJに入射する光の少なくとも一部を拡散部材402を介して得られる光(すなわち、拡散部材402を透過した後の光)を撮像する。
- [0034] より具体的には、第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ を取得する場合には、その光軸Ax1が被写体OBJに照明光が入射するいずれかの経路上になるように撮像装置400を配置する。さらに、この光軸Ax1上の撮像装置400と光源300との間(好ましくは、撮像装置400の直近)に拡散部材402が配置される。なお、被写体OBJに入射する照明光の経路には、光源300から被写体OBJに直接的に入射する経路、および光源300から壁材などで反射されて被写体OBJに間接的に入射する経路を含む。
- [0035] 拡散部材402は、撮像装置400で撮像される光を空間的に拡散、すなわち空間的に平均化するための部材であり、代表的に既知の分光透過率をもつ乳白色の拡散板が用いられる。代替的に、積分球などを用いてもよい。このような拡散部材402を用いることで、撮像装置400に入射する照明光の強度分布を一様化でき、これによって、後述する照明光の分光放射輝度の推定精度を高めることができる。
- [0036] さらに、拡散部材402として乳白色の拡散板を用いる場合には、所定の入射角特性を有する拡散板(一般的に、コサインコレクタ、コサインディフューザ、コサインレセプタなどと称される。)を用いることが好ましい。このような拡散板では、拡散部材402を通過した後の光の入射強度が、撮像装置400の光軸Ax1に対する角度(立体角)についての余弦関数(コサイン)で示される。このような余弦関数の入射角特性をもつ拡散板を用いることで、何らの特別の演算を実行することなく、単位面積当たりに入射する照明光のエネルギー量(分光放射照度)を反映した撮像データを取得できる。また、入射角特性をもたない拡散板を用いた場合には、外乱光を抑制するために、撮像装置400の視野角を相対的に小さくする必要があるが、このような入射角特性を有する拡散板を用いた場合には、撮像装置400の視野角を考慮することなく、光源300からの照明光を撮像することもできる。
- [0037] 上述の手順に従って取得された第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ は、照明環境下にお

いて被写体OBJに入射する照明光を反映した色情報を含むことになる。

[0038] 次に、図2(B)を参照して、第2撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(2)}(m, n)$ は、図2(A)と同じ撮像装置400を用いて、被写体OBJを撮像することで取得される。このとき、撮像装置400の光軸Ax2上には、図2(A)の場合と異なり、拡散部材402が配置されることはない。なお、第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ の取得に使用される撮像装置400と、第2撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(2)}(m, n)$ の取得に使用される撮像装置400とは、必ずしも同一のものを用いる必要はなく、少なくとも撮像素子の分光感度が実質的に既知であれば、異なる撮像装置400を用いてもよい。

[0039] また、図2(A)において第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ を撮像したときの撮像装置400の光軸Ax1と、図2(B)において第2撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(2)}(m, n)$ を撮像するときの撮像装置400の光軸Ax2とは、互いに一致させることが好ましい。図2(B)において取得される第2撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(2)}(m, n)$ は、主として、被写体OBJからの反射光に依存して定まる。この反射光は、被写体OBJで反射されて光軸Ax2上を逆方向に伝搬する光であり、この反射光を生じる照明光は、主として、撮像装置400の光軸Ax2上を被写体OBJ側に向けて伝搬する。したがって、この反射光を生じる照明光を第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ として撮像することで、より適切な照明光の分光放射輝度を算出することができる。

[0040] <照明光の分光放射輝度の算出処理>

再度、図1を参照して、照明スペクトル推定部100によって実行される、被写体に入射する照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ (照明スペクトル)の算出処理について説明する。なお、照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ は、本来、波長 λ についての連続関数になるはずであるが、本実施の形態では、分光放射輝度 $E^{(1)}$ として、可視光領域(380~780ナノメートル)について、所定の波長幅(1ナノメートル幅)でサンプリングした離散値を用いるものとする。以下に説明する行列演算の便宜上、本実施の形態に従う分光放射輝度 $E^{(1)}$ は、波長 $\lambda = 380, 381, \dots, 780$ の計401個の輝度値を含む401行×401列の行列とする。この分光放射輝度 $E^{(1)}$ を示す行列では、その対角要素に各波長における輝度値がセットされるとともに、対角要素以外の要素にはゼロがセットされている。

- [0041] 照明スペクトル推定部100は、入力部10と、分光放射輝度算出部11と、推定行列算出部12と、光源データ格納部13とを含む。
- [0042] 入力部10は、図2(A)に示すように、撮像装置400を用いて、照明環境下において被写体OBJに入射する光の少なくとも一部を拡散部材402を介して撮像することで得られた第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ を受入れる。さらに、入力部10は、第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ に基づいて、この第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ を代表する撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}$ を出力する。この撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}$ は、R、G、Bの3つの輝度値(代表値)からなる線形化された色データである。一例として、入力部10は、第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ に含まれる輝度値を平均化するためのロジックを含み、第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ の各画素における輝度値をR、G、Bの別に平均し、この平均化した値(R、G、B)を撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}$ として出力する。
- [0043] なお、第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ に逆ガンマ特性(非線形性)が与えられている場合には、入力部10がこの逆ガンマ特性を打ち消すための処理を行なうことで、第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ を線形化してもよい。一般的に、表示装置では、入力信号レベルと実際に表示される輝度レベルとの間には非線形な関係(ガンマ特性)を有している。このような表示装置における非線形性を打ち消して、人間の視覚に適応した画像が表示されるように、撮像装置400からは、当該表示装置のガンマ特性と逆の非線形性(逆ガンマ特性)をもつような撮像データが出力されることが多い。このように、撮像データに逆ガンマ特性が与えられている場合には、以後の処理を正確に実行できないので、たとえば入力部10がこのような逆ガンマ特性を打ち消して、線形化された第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ を生成する。
- [0044] 一般的にガンマ特性および逆ガンマ特性はべき乗の関数として表わすことができる。たとえば、撮像装置400における逆ガンマ値を γ_c とすると、以下のような演算式に従って、第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ を線形化することができる。
- [0045]
$$g'_{\text{RGB}}{}^{(1)}(m, n) = g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)^{1/\gamma_c}$$
- また、このような線形化処理は、上述の撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}$ を算出するための平均化処理の実行前に行なう必要がある。一方で、撮像装置400を構成する撮像素子の画素サイズが相対的に大きければ、上述の線形化処理には膨大な演算量が必要とな

る。そのため、入力部10の演算処理能力が十分に高い場合には、上述のべき乗演算を直接的に実行してもよいが、演算処理能力に制限がある場合には、ルックアップテーブル(LUT:Look-Up Table)を用いることが有効である。このルックアップテーブルは、入力される撮像データが取り得るすべての輝度値の各々に対応付けて、上述の変換式の結果を予め格納したデータテーブルであり、この入力と出力との対応関係を参照するだけで変換後の値を取得できるので、演算量を大幅に低減できる。

- [0046] 分光放射輝度算出部11は、後述する推定行列算出部12で算出された第1推定行列 $W^{(1)}$ を用いて、撮像データ $g_{RGB}^{(1)}$ から被写体OBJに入射する照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ を算出する。より具体的には、分光放射輝度算出部11は、第1推定行列 $W^{(1)}$ と撮像データ $g_{RGB}^{(1)}$ との行列積によって、照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ を算出する。上述したように、本実施の形態では、所定の波長幅(代表的に、1ナノメートル幅)でサンプリングした401行×401列の分光放射輝度 $E^{(1)}$ を用いるので、第1推定行列 $W^{(1)}$ は、波長成分数×撮像装置400のバンド数、すなわち401行×3列の行列となる。
- [0047] 推定行列算出部12は、被写体OBJにおける照明環境を提供するために用いられる光源候補の分光放射輝度の自己相関行列B、拡散部材402の分光透過率 $f^{(1)}$ 、および撮像装置400の分光感度Sに基づいて、第1推定行列 $W^{(1)}$ を算出する。以下、分光感度Sは401行×3列の行列、分光透過率 $f^{(1)}$ は401行×3列の行列であるものとする。
- [0048] 以下、第1撮像データ $g_{RGB}^{(1)}$ (m, n)から分光放射輝度 $E^{(1)}$ を算出できる原理について説明する。
- [0049] 撮像装置400に入射する拡散部材402を通過した後の光(スペクトル)は、拡散部材402(あるいは、被写体OBJ)に照射される照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}(\lambda)$ と、拡散部材402の分光透過率 $f^{(1)}(\lambda)$ との積に相当する。なお、拡散部材402の分光透過率 $f^{(1)}(\lambda)$ は、拡散部材402の全体に亘って一定であるとする。そして、撮像装置400から出力される第1画像データを代表する撮像データ $g_{RGB}^{(1)}$ の各成分値 $g_i^{(1)}$ (i=R, G, B)は、各撮像素子の分光感度 $S_i(\lambda)$ (i=R, G, B)をさらに乗じた上で、波長領域にわたって光エネルギーを積分したものに相当する。このような関係は、(1

)式に示す関係式として表わすことができる。

[0050] [数1]

$$g^{(1)}_i(m, n) = \int_{380}^{780} S_i(\lambda) E^{(1)}(\lambda) f^{(1)}(\lambda) d\lambda + n_i(m, n) \quad \dots (1)$$

[0051] ここで、 $n_i(m, n)$ は、各撮像素子に現れる白色ノイズなどによって生じる加法性ノイズであり、撮像装置400の撮像素子やレンズの特性、および照明環境などに依存する値である。

[0052] 上述したように、本実施の形態では、所定の波長幅(代表的に、1ナノメートル幅)でサンプリングした行列演算式を用いる。すなわち、(1)式の右辺第1項の積分式を、各撮像素子の各波長における感度を示す行列である分光感度 S と、各波長における放射輝度を示す行列である分光放射輝度 $E^{(1)}$ と、各波長における透過率を示す行列である分光透過率 $f^{(1)}$ との行列演算により処理する。なお、分光感度 S および分光透過率 $f^{(1)}$ については既知である。

[0053] ここで、加法性ノイズ $n_i(m, n)$ は、一般的に十分に小さな値であるので、(1)式から無視すると、(1)式から次の行列演算式を導くことができる。

$$g^{(1)} = S^t \cdot E^{(1)} \cdot f^{(1)} \quad \dots (2)$$

この(2)式に基づいて、分光放射輝度 $E^{(1)}$ を算出することを考える。具体的には、以下に示す(3)式に従って照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ を算出する。

$$f^{(1)} = W^{(1)} \cdot g^{(1)} \quad \dots (3)$$

(3)式において、 $W^{(1)}$ は第1推定行列である。第1推定行列 $W^{(1)}$ は、以下に説明するウィナー推定の手法によって算出される。具体的には、第1推定行列 $W^{(1)}$ は、システム行列 I を以下に示す(4)式と定めた上で、(2)式を変形することで(5)式のように導出される。

$$I = S^t \times f^{(1)t} \quad \dots (4)$$

$$W^{(1)} = B \cdot I^t \cdot (I \cdot B \cdot I^t)^{-1} \quad \dots (5)$$

但し、「 \times 」は、行列要素同士の積を意味し、「 t 」は、転置行列を意味し、「 $^{-1}$ 」は、逆行列を意味する。

[0057] (5)式において、Bは、照明環境を提供するために用いられ得る光源候補の分光放射輝度の自己相関行列(以下、「演算行列」とも称す。)である。本実施の形態においては、複数の光源の候補についての分光放射輝度を予め取得しておき、統計上の視点から、各光源の分光放射輝度との相関性を利用して照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ を推定する。すなわち、光源の種類毎に取得された統計データを予め用意しておき、この統計データの特徴に従って、照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ を算出する。

[0058] この分光放射輝度の自己相関行列Bは、照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ を推定するための基準となるので、照明環境を提供するために用いられている可能性の高い光源の種類(たとえば、蛍光灯、白熱灯、キセノン灯、水銀灯などの発光原理別)に応じて、適切な統計データを用いることが好ましい。

[0059] このような光源の分光放射輝度は、各光源について予め実験的に取得することもできるし、国際照明委員会(CIE)やISO(International Organization for Standardization)あるいはJIS(Japanese Industrial Standards)によって標準化されている統計データを用いてもよい。

[0060] 図3は、この発明の実施の形態1に従う分光放射輝度の自己相関行列Bの生成処理を説明するための図である。図3を参照して、まず、少なくとも1種類以上の光源候補(光源1～光源N)の分光放射輝度の値を各要素とする光源の群行列 E_{st} を作成する。すなわち、光源 i ($1 \leq i \leq N$)の各サンプリング波長 λ_j ($1 \leq j \leq k$)における成分値(放射輝度)を $e_i(\lambda_j)$ とすると、各光源の成分値 $e_i(\lambda_j)$ を行方向に配置した光源の群行列 E_{st} を作成する。

[0061] さらに、以下の演算式に従って、この群行列 E_{st} に基づいて自己相関行列Bを算出する。

$$[0062] \quad B = E_{st} \cdot E_{st}^t \cdots (6)$$

なお、可視光領域(380～780ナノメートル)を1ナノメートル幅でサンプリングして得られる分光放射輝度 $E^{(1)}$ を算出するためには、同じサンプリング間隔(要素数)をもつ群行列 E_{st} を用いる必要がある。従って、1つの光源の分光放射輝度を示す401行×1列の行列をn個分だけ結合した群行列 E_{st} は、401行×n列の行列となり、この群行列 E_{st} の自己相関行列は、401行×401列の行列となる。

- [0063] また、光源の分光放射輝度としては、たとえば蛍光灯や白熱灯といった単体の光源が発する分光放射輝度を用いてもよいし、複数種類の光源が組み合わされて生じる分光放射輝度を用いてもよい。さらに、屋外では、太陽光などの分光放射輝度を組み合わせてもよい。すなわち、本実施の形態において、照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ を推定するためには、照明環境を提供するために用いられる可能性の高い光源の分光放射輝度から得られる自己相関行列 B を用いることが好ましい。
- [0064] なお、ウィナー推定の詳細については、上述の“三宅洋一編、「分光画像処理入門」、財団法人東京大学出版会、2006年2月24日”に詳しいので、こちらを参照されたい。
- [0065] 再度、図2を参照して、光源データ格納部13は、上述のような手順によって算出される、演算行列である自己相関行列 B を予め格納する。
- [0066] 推定行列算出部12は、上述の(4)式に従って、予め格納している拡散部材402の分光透過率 $f^{(1)}$ および撮像装置400の分光感度 S に基づいて、システム行列 I を算出するとともに、上述の(5)式に従って、このシステム行列 I と、光源データ格納部13から読み出した自己相関行列 B とに基づいて、第1推定行列 $W^{(1)}$ を算出する。続いて、分光放射輝度算出部11が、上述の(3)式に従って、推定行列算出部12からの第1推定行列 $W^{(1)}$ と、入力部10からの撮像データ $g_{RGB}^{(1)}$ とに基づいて、照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ を算出する。
- [0067] このように推定行列算出部12が算出した照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ は、後述するホワイトバランス算出処理および色再現処理に利用される。
- [0068] <ホワイトバランス算出処理>
- 照明スペクトル推定部100は、三刺激値変換部14と、座標変換部15と、ホワイトバランス算出部16とをさらに含む。これらの部位は、算出された照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ に基づいて、撮像装置400のホワイトバランスを算出する。このホワイトバランスの値に基づいて、撮像装置400の撮像素子からそれぞれ出力される R , G , B の輝度値のレベルを互いに調整するためのホワイトバランス調整が可能になる。
- [0069] 三刺激値変換部14は、波長領域で規定された分光放射輝度 $E^{(1)}$ からXYZ表色系の三刺激値 X , Y , Z を算出する。この三刺激値 X , Y , Z は、被写体 OBJ が撮像される

照明環境における分光放射輝度 $E^{(1)}$ を人間が観測したと仮定した場合の特性値を示す。より具体的には、照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ についてのXYZ表色系の三刺激値 X , Y , Z は、以下に示す(7)式のようになる。

[0070] [数2]

$$\begin{aligned} X &= \int_{380}^{780} h_R(\lambda) E^{(1)}(\lambda) d\lambda \\ Y &= \int_{380}^{780} h_G(\lambda) E^{(1)}(\lambda) d\lambda \\ Z &= \int_{380}^{780} h_B(\lambda) E^{(1)}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad \dots (7)$$

[0071] (7)式において、 $h_i(\lambda)$ ($i=R, G, B$)は等色関数であり、人間の視覚感度特性に相当する関数である。この等色関数 $h_i(\lambda)$ は国際照明委員会(CIE)によって規定されている。

[0072] 上述しているように、分光放射輝度 $E^{(1)}$ を401行×401列の行列であるので、三刺激値変換部14は、(7)式に相当する演算を、以下に示す行列演算によって実現する。

$$[0073] \quad \text{三刺激値}[X^{(1)}, Y^{(1)}, Z^{(1)}] = h^t \cdot E^{(1)} \quad \dots (8)$$

ここで、行列 h は、等色関数 $h_i(\lambda)$ の各サンプリング波長における値を要素とする401行×3列の行列である。

[0074] 続いて、座標変換部15は、この三刺激値 $X^{(1)}$, $Y^{(1)}$, $Z^{(1)}$ をRGB表色系において定義される座標値 $R^{(1)}$, $G^{(1)}$, $B^{(1)}$ に変換する。より具体的には、座標変換部15は、以下に示す演算式に従って、RGB表色系において定義される座標値 $R^{(1)}$, $G^{(1)}$, $B^{(1)}$ を算出する。

$$\begin{aligned} [0075] \quad R^{(1)} &= a_{11} X^{(1)} + a_{12} Y^{(1)} + a_{13} Z^{(1)} \\ G^{(1)} &= a_{21} X^{(1)} + a_{22} Y^{(1)} + a_{23} Z^{(1)} \\ B^{(1)} &= a_{31} X^{(1)} + a_{32} Y^{(1)} + a_{33} Z^{(1)} \end{aligned}$$

ここで、 $a_{11} \sim a_{33}$ は、被写体の測色値(XYZ表色系)と、実際に撮像装置に記録される信号値(RGB表色系)との対応関係を表す3行×3列の変換行列である。このよ

うな行列のことを表示装置におけるRGB \leftrightarrow XYZ変換行列と呼ぶ。 $a_{11} \sim a_{33}$ を3行 \times 3列の行列としてとらえると、後述の(15)式にて、

$$h^t \cdot E^{(1)} \cdot W^{(2)} = M$$

とした場合の逆行列 M^{-1} に相当することになる。

[0076] さらに、ホワイトバランス算出部16は、座標値 $R^{(1)}$ 、 $G^{(1)}$ 、 $B^{(1)}$ の比に基づいて、撮像装置400におけるホワイトバランスを算出する。一般的に、ホワイトバランス調整の完了とは、 $R^{(1)}:G^{(1)}:B^{(1)}=1:1:1$ が成立することであるため、この比率が崩れている場合には、ホワイトバランス調整が十分ではないといえる。このような場合には、撮像装置400を構成する各色の撮像素子の出力ゲインを独立に調整することで、ホワイトバランスが調整される。すなわち、R、G、Bの撮像素子に乘じるべき調整ゲインは、 $1/R^{(1)}:1/G^{(1)}:1/B^{(1)}$ となる。

[0077] したがって、ホワイトバランス算出部16は、座標値 $R^{(1)}$ 、 $G^{(1)}$ 、 $B^{(1)}$ の比、あるいはその逆比である $1/R^{(1)}:1/G^{(1)}:1/B^{(1)}$ をホワイトバランスとして出力する。このホワイトバランス算出部16から出力されるホワイトバランスは、ユーザによる手動のゲイン調整に用いられる。あるいは、撮像装置400のゲイン調整部(図示しない)に与えられて、当該ゲイン調整部が自動的に撮像装置400のゲインを調整するようにしてもよい。

[0078] <色再現処理>

次に、上述の処理によって算出された分光放射輝度 $E^{(1)}$ を用いて、第2撮像データ $g_{RGB}^{(2)}(m, n)$ から被写体の色再現を行なって画像データ $g_{RGB}^{(OUT)}(m, n)$ を生成する処理について説明する。

[0079] 色再現部200は、入力部20と、分光反射率算出部21と、推定行列算出部22と、分光反射率データ格納部23と、画像データ生成部24と、座標変換部25とを含む。

[0080] 入力部20は、図2(B)に示すように、撮像装置400を用いて、被写体OBJを撮像して得られた第2撮像データ $g_{RGB}^{(2)}(m, n)$ を受入れる。そして、入力部20は、処理に応じて、この第2撮像データ $g_{RGB}^{(2)}(m, n)$ を分光反射率算出部21へ出力する。

[0081] なお、第2撮像データ $g_{RGB}^{(2)}(m, n)$ に逆ガンマ特性(非線形性)が与えられている場合には、上述した入力部10と同様に、入力部20についてもこの逆ガンマ特性を打ち消すための処理を行なうようにしてもよい。すなわち、撮像装置400における逆ガ

ンマ値を γ_c とすると、以下のような演算式に従って、第2撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(2)}(m, n)$ を線形化することができる。

$$[0082] \quad g'_{\text{RGB}}{}^{(2)}(m, n) = g_{\text{RGB}}^{(2)}(m, n)^{1/\gamma_c}$$

さらに、上述したように、このような線形化処理をルックアップテーブルを用いて実行してもよい。

[0083] 分光反射率算出部21は、後述する推定行列算出部22で算出された第2推定行列 $W^{(2)}$ を用いて、第2撮像データ $g^{(2)}$ から被写体OBJの分光反射率を算出する。さらに、分光反射率算出部21は、任意の照明環境下における被写体OBJの色再現データである画像データ $g_{\text{RGB}}^{(\text{OUT})}(m, n)$ を出力する。この色再現データとは、被写体OBJの分光反射率に基づいて、任意の照明環境下において当該被写体OBJがどのように観測されるかを演算処理によって再現したものである。

[0084] 推定行列算出部22は、被写体OBJに含まれ得る色の分光反射率から算出される自己相関行列Aと、照明スペクトル推定部100によって算出された照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ と、撮像装置400の分光感度Sとに基づいて、第2推定行列 $W^{(2)}$ を算出する。

[0085] 以下、第2撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(2)}(m, n)$ から色再現された画像データ $g_{\text{RGB}}^{(\text{OUT})}(m, n)$ を生成する原理について説明する。

[0086] 撮像装置400の座標 (m, n) の画素に入射する被写体OBJからの光(スペクトル)は、被写体OBJに照射される照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}(\lambda)$ と、被写体OBJの当該画素に対応する位置の分光反射率 $f^{(2)}(m, n; \lambda)$ との積に相当する。そして、撮像装置400から出力される第2撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(2)}(m, n)$ の各成分値 $g_i^{(2)}(m, n)$ ($i=R, G, B$) は、各撮像素子の分光感度 $S_i(\lambda)$ ($i=R, G, B$) をさらに乗じた上で、波長領域にわたって光エネルギーを積分したものに相当する。このような関係は、(9)式に示す関係式として表わすことができる。

[0087] [数3]

$$g_i^{(2)}(m, n) = \int_{380}^{780} S_i(\lambda) E^{(1)}(\lambda) f^{(2)}(m, n; \lambda) d\lambda + n_i(m, n) \quad \dots (9)$$

[0088] ここで、 $n_i(m, n)$ は、各撮像素子に現れる白色ノイズなどによって生じる加法性ノイズであり、撮像装置400の撮像素子やレンズの特性、および照明環境などに依存する値である。

[0089] 上述したように、本実施の形態では、所定の波長幅(代表的に、1ナノメートル幅)でサンプリングした行列演算式を用いる。すなわち、(9)式の右辺第1項の積分式を、各撮像素子の各波長における分光感度を示す行列である分光感度 S と、各波長における分光放射輝度を示す行列である分光放射輝度 $E^{(1)}$ と、各波長における被写体OBJの分光反射率を示す行列である分光反射率 $f^{(2)}(m, n)$ との行列演算により実現する。代表的に、可視光領域(380~780ナノメートル)を1ナノメートル幅でサンプリングした場合には、分光反射率 $f^{(2)}(m, n)$ は、各要素あたり401行×1列の行列となる。

[0090] ここで、加法性ノイズ $n_i(m, n)$ は、一般的に十分に小さな値であるので、(9)式から無視すると、(9)式から次の行列演算式を導くことができる。

$$[0091] \quad g_{RGB}^{(2)}(m, n) = S^t \cdot E^{(1)} \cdot f^{(2)}(m, n) \quad \dots (10)$$

この(10)式に基づいて、分光反射率 $f^{(2)}(m, n)$ を算出することを考える。具体的には、以下に示す(11)式に従って被写体OBJの分光反射率 $f^{(2)}(m, n)$ を算出する。

$$[0092] \quad f^{(2)}(m, n) = W^{(2)} \cdot g_{RGB}^{(2)}(m, n) \quad \dots (11)$$

(11)式において、 $W^{(2)}$ は第2推定行列である。第2推定行列 $W^{(2)}$ は、上述した第1推定行列 $W^{(1)}$ の算出と同様に、ウィナー推定の手法によって算出される。具体的には、第2推定行列 $W^{(2)}$ は、システム行列 H を以下に示す(12)式と定めた上で、(11)式を変形することで(13)式のように導出される。

$$[0093] \quad H = S^t \cdot E^{(1)} \quad \dots (12)$$

$$W^{(2)} = A \cdot H^t \cdot (H \cdot A \cdot H^t)^{-1} \quad \dots (13)$$

但し、「 t 」は、転置行列を意味し、「 $^{-1}$ 」は、逆行列を意味する。

[0094] (13)式において、 A は、被写体OBJに含まれ得る色の分光反射率から算出される自己相関行列であり、被写体OBJの分光反射率を推定するための基準となる。この自己相関行列 A は、一例として、ISOにおいて標準化されている分光反射率のデータベースであるSOCS(Standard Object Color Sample)を参照することで決定

できる。あるいは、被写体OBJの材質などが予め分っている場合には、被写体OBJ自身の分光反射率を別の方法によって予め測定しておき、自己相関行列Aを決定してもよい。

[0095] この自己相関行列Aは、図3における自己相関行列Bの生成処理と同様の処理によって生成される。この自己相関行列Aの生成に用いられる群行列としては、たとえば、複数のカラー見本からなるカラーチャートの各色の分光反射率を用いることができる。本実施の形態においては、可視光領域(380~780ナノメートル)を1ナノメートル幅でサンプリングして得られる401行×401列の分光放射輝度 $E^{(1)}$ が用いられるので、自己相関行列Aも401行×401列の行列となる。

[0096] この自己相関行列Aは、分光反射率データ格納部23に予め格納される。
さらに、上述のようなウィナー推定の手法に代えて、主成分分析の手法を用いてもよい。

[0097] 以上のように、推定行列算出部22は、(12)式および(13)式に従って、照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ と、撮像装置400の分光感度Sと、被写体OBJに含まれ得る色の分光放射輝度から得られた自己相関行列Aとに基づいて、第2推定行列 $W^{(2)}$ を算出する。そして、分光反射率算出部21は、(11)式に従って、この第2推定行列 $W^{(2)}$ を用いて、第2撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(2)}(m, n)$ から被写体OBJの分光反射率 $f^{(2)}(m, n)$ を算出する。

[0098] このように算出された分光反射率 $f^{(2)}(m, n)$ が被写体OBJのもつ色の本質であり、分光反射率 $f^{(2)}(m, n)$ を用いることで、被写体OBJがどのような照明環境下で観測されたものであっても、その色再現を行なうことができる。

[0099] すなわち、任意の分光放射輝度 $E(\lambda)$ の条件下で、分光反射率 $f(m, n; \lambda)$ の被写体を観測した場合のXYZ表色系の三刺激値X, Y, Zは、以下に示す(14)式のようになる。

[0100] [数4]

$$\begin{aligned}
 X &= \int_{380}^{780} h_R(\lambda) E(\lambda) f(m, n; \lambda) d\lambda \\
 Y &= \int_{380}^{780} h_G(\lambda) E(\lambda) f(m, n; \lambda) d\lambda \\
 Z &= \int_{380}^{780} h_B(\lambda) E(\lambda) f(m, n; \lambda) d\lambda
 \end{aligned}
 \quad \dots (14)$$

[0101] (14)式において、 $h_i(\lambda)$ ($i=R, G, B$)は等色関数であり、人間の視覚感度特性に相当する関数である。

[0102] この(14)式において、色再現に使用する分光放射輝度 $E(\lambda)$ を任意に決定できるが、本実施の形態においては、被写体OBJの撮像時と同じ照明環境下における色再現を行なう場合について例示する。

[0103] すなわち、画像データ生成部24は、等色関数 h と、被写体OBJに入射する照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ と、被写体OBJの分光反射率 $f^{(2)}(m, n)$ ($=W^{(2)} \cdot g_{RGB}^{(2)}(m, n)$)とを用いて、分光放射輝度 $E^{(1)}$ である照明環境下において被写体OBJの色再現を行なった画像データ $g_{XYZ}^{(OUT)}(m, n)$ を生成する。すなわち、画像データ生成部24は、(15)式に示す演算式を実行する。

$$g_{XYZ}^{(OUT)}(m, n) = h^t \cdot E^{(1)} \cdot W^{(2)} \cdot g_{RGB}^{(2)}(m, n) \quad \dots (15)$$

ここで、画像データ $g_{XYZ}^{(OUT)}(m, n)$ は、XYZ表色系の座標値として定義される。

[0105] 続いて、座標変換部25は、この画像データ $g_{XYZ}^{(OUT)}(m, n)$ をRGB表色系において定義される画像データ $g_{RGB}^{(OUT)}(m, n)$ に変換する。この座標変換部25により実行される座標変換処理は、上述した座標変換部15における処理と同様であるので、詳細な説明は繰返さない。

[0106] 以上のような処理によって、第2撮像データ $g_{RGB}^{(2)}(m, n)$ から被写体OBJの色再現データである画像データ $g_{RGB}^{(OUT)}(m, n)$ が生成される。

[0107] なお、画像データ $g_{RGB}^{(OUT)}(m, n)$ がガンマ特性をもつ表示装置などへ出力される場合には、当該出力先のガンマ特性を打ち消すための処理を行なうことが好ましい。この場合には、座標変換部25がガンマ特性を付与するような処理を含んでいてもよい。このガンマ特性を付与する処理は、表示装置のガンマ値 γ_d とすると、生成される

画像データ $g_{\text{RGB}}^{(\text{OUT})}(m, n)$ について、このガンマ値 γd についてのべき乗を演算することで実現される。なお、上述した入力部10および20と同様に、ルックアップテーブル(LUT)を用いることで、演算量を大幅に低減することもできる。

[0108] 上述の説明では、画像データ生成部24が被写体OBJの撮像時と同じ照明環境下において色再現を行なう構成について例示したが、色再現を行なう照明環境を異なるものとしてもよい。すなわち、画像データ生成部24が画像データ $g_{\text{XYZ}}^{(\text{OUT})}(m, n)$ の生成に用いる分光放射輝度Eを任意に決定できる。

[0109] <処理手順>

本実施の形態に従う画像処理装置1における処理手順をまとめると、以下のようになる。

[0110] 図4は、この発明の実施の形態1に従う画像処理装置1における全体処理手順を示すフローチャートである。

[0111] 図1および図4を参照して、まず、入力部10が、被写体OBJに入射する光の少なくとも一部を拡散部材402を介して撮像した第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ を受入れる(ステップS100)。続いて、入力部10は、受入れた第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ を代表する撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}$ を生成する(ステップS102)。なお、入力部10は、必要に応じて、第1撮像データを線形化する。

[0112] 次に、推定行列算出部12が、被写体OBJにおける照明環境を提供するために用いられ得る光源候補の分光放射輝度の自己相関行列B、拡散部材402の分光透過率 $f^{(1)}$ 、撮像装置400の分光感度Sに基づいて、第1推定行列 $W^{(1)}$ を算出する(ステップS104)。続いて、分光放射輝度算出部11が、ステップS104で算出された第1推定行列 $W^{(1)}$ を用いて、撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}$ から被写体OBJに入射する照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ を算出する(ステップS106)。

[0113] 次に、三刺激値変換部14が、分光放射輝度 $E^{(1)}$ からXYZ表色系の三刺激値X, Y, Zを算出する(ステップS110)。続いて、座標変換部15が、XYZ表色系の三刺激値X, Y, Zを、RGB表色系において定義される座標値 $R^{(1)}$, $G^{(1)}$, $B^{(1)}$ に変換する(ステップS112)。さらに、ホワイトバランス算出部16が、座標値 $R^{(1)}$, $G^{(1)}$, $B^{(1)}$ の比に基づいて、撮像装置400におけるホワイトバランスを算出する(ステップS114)。

[0114] 一方、入力部20が、照明環境下において撮像装置400により被写体OBJを撮像することで得られる第2撮像データ $g_{RGB}^{(2)}(m, n)$ を受入れる(ステップS120)。なお、入力部20は、必要に応じて、第2撮像データを線形化する。

[0115] 次に、推定行列算出部22が、被写体OBJに含まれ得る色の分光反射率から算出される自己相関行列A、照明スペクトル推定部100によって算出された照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ 、撮像装置400の分光感度Sに基づいて、第2推定行列 $W^{(2)}$ を算出する(ステップS122)。続いて、分光反射率算出部21が、ステップS122で算出された第2推定行列 $W^{(2)}$ を用いて、第2撮像データ $g^{(2)}$ から被写体OBJの分光反射率 $f^{(2)}(m, n)$ を算出する(ステップS124)。さらに、画像データ生成部24が、等色関数h、被写体OBJに入射する照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ 、およびステップS124で算出された被写体OBJの分光反射率 $f^{(2)}(m, n)$ を用いて、被写体OBJの色再現を行なった画像データ $g_{XYZ}^{(OUT)}(m, n)$ を生成する(ステップS126)。さらに、座標変換部25が、ステップS126において生成された画像データ $g_{XYZ}^{(OUT)}(m, n)$ をRGB表色系において定義される画像データ $g_{RGB}^{(OUT)}(m, n)$ に変換し(ステップS128)、この変換後の画像データ $g_{RGB}^{(OUT)}(m, n)$ を出力する。

[0116] <本実施の形態による作用効果>

この発明の実施の形態1によれば、被写体OBJを撮像するための撮像装置を用いて、被写体OBJに照射される照明光の分光放射輝度を算出することができる。そのため、照明光の分光放射輝度を測定するための専用の測定装置を用いることなく、容易に分光放射輝度を取得することができる。

[0117] さらに、このように算出された照明光の分光放射輝度に基づいて、被写体OBJの分光反射率を正確に推定した上で、当該撮像すべき照明環境において撮像(観察)されるであろう色を適切に再現することができる。

[0118] また、照明光の分光放射輝度に基づいて、撮像装置のホワイトバランスを適切に調整できるので、撮像素子の特性のバラツキなどに影響されることなく、より正確な色再現を実現することができる。

[0119] なお、上述の実施の形態では、「照明光の分光放射輝度の算出処理」、「ホワイトバランス算出処理」、「色再現処理」の3つの処理を1つの画像処理装置で実現する構

成について例示したが、少なくとも「照明光の分光放射輝度の算出処理」を実行可能な装置であれば、本願発明の課題は解決可能である。

[0120] [実施の形態2]

上述の実施の形態1においては、被写体OBJに照射される照明光の分光放射輝度を推定するために1種類の自己相関行列Bを用いる構成について例示した。一方で、照明光の分光放射輝度(スペクトル)は、光源の種類によって大きく変化することが知られている。これは、光源の発光原理などによって、その発光スペクトル(輝線スペクトル)は様々な固有の特性を有するからである。そのため、被写体OBJを撮像する照明環境に応じて、光源の種類毎に予め生成した自己相関行列Bを選択的に用いることが好ましい。

[0121] そこで、実施の形態2においては、複数の光源の種類毎(カテゴリー毎)に自己相関行列を複数格納しておき、被写体OBJを撮像する照明環境に相応しいものをユーザが選択できる構成について例示する。

[0122] <全体構成>

図5は、この発明の実施の形態2に従う画像処理装置1Aの機能構成図である。

[0123] 図5を参照して、画像処理装置1Aは、図1に示す画像処理装置1において、照明スペクトル推定部100に代えて、照明スペクトル推定部100Aを設けたものである。一方、色再現部200については、図1に示す画像処理装置1の色再現部200と同様であるので、詳細な説明は繰返さない。

[0124] 照明スペクトル推定部100Aは、図1に示す照明スペクトル推定部100において、光源データ格納部13に代えて、光源データ格納部13Aを設けたものである。その他の部位については、実施の形態1と同様であるので、詳細な説明は繰返さない。

[0125] 光源データ格納部13Aは、照明環境を提供するために用いられ得るM種類の光源候補毎に予め定められた演算行列である、自己相関行列 B_1, B_2, \dots, B_M を予め格納する。そして、光源データ格納部13Aは、ユーザなどからの外部指令に応じて、予め格納する自己相関行列 B_1, B_2, \dots, B_M のうち、選択されたものを推定行列算出部12へ出力する。

[0126] 以下、この光源データ格納部13Aに格納される複数の自己相関行列について説

明する。

[0127] たとえば、一般的な蛍光灯の分光照射輝度(スペクトル)は、その中に封入されている水銀などの輝線スペクトルに相当する波長にピークを有するような波形を有する。一方、白熱灯の分光照射輝度(スペクトル)には、その発光原理上、ピークが存在しない。このように、光源候補の分光照射輝度(スペクトル)は、その種類毎に異なったものとなる。そのため、被写体OBJに入射する照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ (照明スペクトル)を推定するためには、基準となる自己相関行列Bを適切に選択する必要がある。

[0128] 一方、ある程度の予備知識を有するユーザは、撮像装置400を用いて被写体OBJを撮像する際に、どのような光源による照明環境下であるかを判断することができる。たとえば、被写体OBJの撮像場所は屋内であるか、あるいは屋外であるかや、撮像場所が屋内であれば、光源として蛍光灯が用いられているか、あるいは白熱灯が用いられているかといった判断は可能である。そのため、このようなユーザが判断できる程度の分類の下に、光源の種類別に複数の自己相関行列を予め用意しておき、ユーザが被写体OBJの撮像状況に応じて任意に選択できれば、照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ (照明スペクトル)の推定精度を高めることができる。

[0129] そこで、本実施の形態に従う光源データ格納部13Aは、一例として、「蛍光灯」、「白熱灯」、「キセノン灯」、「水銀灯」、「太陽光」とった種類毎に複数の自己相関行列 B_1, B_2, \dots, B_M を予め格納しており、ユーザなどによる選択指令SELに応じて、これらのうち対応するものを自己相関行列Bとして推定行列算出部12へ出力する。すなわち、自己相関行列 B_1 は、「蛍光灯」の分光放射輝度の統計データのみから生成し、自己相関行列 B_2 は、「白熱灯」の分光放射輝度の統計データのみから生成するといった具合である。

[0130] 推定行列算出部12は、この光源データ格納部13Aから受けた自己相関行列Bに基づいて、照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ を推定する。

[0131] なお、照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ の推定精度を高めるためには、光源の種類をより細別した自己相関行列を予め格納しておくことが好ましい。さらに、単体の光源だけでなく、たとえば「蛍光灯」と「白熱灯」とを組み合わせた場合に生じる分光放射輝

度に基づいて、自己相関行列を生成しておいてもよい。すなわち、光源データ格納部13Aには、被写体OBJを撮像する際の照明環境として想定される様々な分光放射輝度に基づいて生成された自己相関行列を予め格納しておくことが好ましい。

[0132] その他の処理については、基本的に上述した実施の形態1と同様であるので、詳細な説明は繰返さない。

[0133] <処理手順>

図6は、この発明の実施の形態2に従う画像処理装置1Aにおける全体処理手順を示すフローチャートである。なお、図6に示すフローチャート中の各ステップのうち、図4に示すフローチャート中のステップと同一内容のステップについては、同じ符号を付している。

[0134] 図5および図6を参照して、まず、入力部10が、被写体OBJに入射する光の少なくとも一部を拡散部材402を介して撮像した第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ を受入れる(ステップS100)。続いて、入力部10は、受入れた第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ を代表する撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}$ を生成する(ステップS102)。なお、入力部10は、必要に応じて、第1撮像データを線形化する。

[0135] 次に、光源データ格納部13Aが、予め格納する自己相関行列 B_1, B_2, \dots, B_M のうち、選択指令SELに応じて1つの自己相関行列を自己相関行列Bとして推定行列算出部12へ出力する(ステップS103)。その後、推定行列算出部12が、光源データ格納部13Aからの自己相関行列B、拡散部材402の分光透過率 $f^{(1)}$ 、撮像装置400の分光感度Sに基づいて、第1推定行列 $W^{(1)}$ を算出する(ステップS104)。続いて、分光放射輝度算出部11が、ステップS104で算出された第1推定行列 $W^{(1)}$ を用いて、撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}$ から被写体OBJに入射する照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ を算出する(ステップS106)。

[0136] 次に、三刺激値変換部14が、分光放射輝度 $E^{(1)}$ からXYZ表色系の三刺激値X, Y, Zを算出する(ステップS110)。続いて、座標変換部15が、XYZ表色系の三刺激値X, Y, Zを、RGB表色系において定義される座標値 $R^{(1)}, G^{(1)}, B^{(1)}$ に変換する(ステップS112)。さらに、ホワイトバランス算出部16が、座標値 $R^{(1)}, G^{(1)}, B^{(1)}$ の比に基づいて、撮像装置400におけるホワイトバランスを算出する(ステップS114)。

[0137] 一方、入力部20が、照明環境下において撮像装置400により被写体OBJを撮像することで得られる第2撮像データ $g_{RGB}^{(2)}(m, n)$ を受入れる(ステップS120)。なお、入力部20は、必要に応じて、第2撮像データを線形化する。

[0138] 次に、推定行列算出部22が、被写体OBJに含まれ得る色の分光反射率から算出される自己相関行列A、照明スペクトル推定部100によって算出された照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ 、撮像装置400の分光感度Sに基づいて、第2推定行列 $W^{(2)}$ を算出する(ステップS122)。続いて、分光反射率算出部21が、ステップS122で算出された第2推定行列 $W^{(2)}$ を用いて、第2撮像データ $g^{(2)}$ から被写体OBJの分光反射率 $f^{(2)}(m, n)$ を算出する(ステップS124)。さらに、画像データ生成部24が、等色関数h、被写体OBJに入射する照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ 、ステップS124で算出された被写体OBJの分光反射率 $f^{(2)}(m, n)$ を用いて、被写体OBJの色再現を行なった画像データ $g_{XYZ}^{(OUT)}(m, n)$ を生成する(ステップS126)。さらに、座標変換部25が、ステップS126において生成された画像データ $g_{XYZ}^{(OUT)}(m, n)$ をRGB表色系において定義される画像データ $g_{RGB}^{(OUT)}(m, n)$ に変換し(ステップS128)、この変換後の画像データ $g_{RGB}^{(OUT)}(m, n)$ を出力する。

[0139] <本実施の形態による作用効果>

この発明の実施の形態2によれば、上述の実施の形態1と同様の作用効果を得ることができるとともに、被写体OBJの撮像状況などに応じて適切な自己相関行列を選択することで、照明光の分光放射輝度をより正確に推定することができる。

[0140] [実施の形態2の変形例]

上述の実施の形態2においては、ユーザなどによる選択指令SELに応じて、複数の自己相関行列のうちいずれか1つが選択され、さらに、この選択された自己相関行列に基づいて、第1推定行列 $W^{(1)}$ が生成される構成について例示した。この第1推定行列 $W^{(1)}$ の生成には、拡散部材402の分光透過率 $f^{(1)}$ および撮像装置400の分光感度Sが用いられるが、これらの値は、撮像装置400および拡散部材402が交換されない限り不変である。そこで、実施の形態2の変形例として、複数の自己相関行列 B_1, B_2, \dots, B_M からそれぞれ算出される複数の第1推定行列 $W_1^{(1)}, W_2^{(1)}, \dots, W_m^{(1)}$ を予め算出しておく構成について例示する。

[0141] <全体構成>

図7は、この発明の実施の形態2の変形例に従う画像処理装置1Bの機能構成図である。

[0142] 図7を参照して、画像処理装置1Bは、図1に示す画像処理装置1において、照明スペクトル推定部100に代えて、照明スペクトル推定部100Bを設けたものである。一方、色再現部200については、図1に示す画像処理装置1と同様であるので、詳細な説明は繰返さない。

[0143] 照明スペクトル推定部100Bは、図1に示す照明スペクトル推定部100において、推定行列算出部12および光源データ格納部13に代えて、推定行列格納部17を設けたものである。その他の部位については、実施の形態1と同様であるので、詳細な説明は繰返さない。

[0144] 推定行列格納部17は、照明環境を提供するために用いられ得る複数の光源候補の分光放射輝度に基づいて予め算出される第1推定行列 $W_1^{(1)}, W_2^{(1)}, \dots, W_M^{(1)}$ を予め格納する。そして、推定行列格納部17は、ユーザなどからの外部指令に応じて、予め格納する第1推定行列 $W_1^{(1)}, W_2^{(1)}, \dots, W_M^{(1)}$ のうち、選択されたものを分光放射輝度算出部11へ出力する。

[0145] この第1推定行列 $W_1^{(1)}, W_2^{(1)}, \dots, W_M^{(1)}$ は、実施の形態2に従う画像処理装置1Aの光源データ格納部13Aに格納される B_1, B_2, \dots, B_M のからそれぞれ算出される。第1推定行列 $W_1^{(1)}, W_2^{(1)}, \dots, W_M^{(1)}$ の算出に際して、既知の拡散部材402の分光透過率 $f^{(1)}$ および撮像装置400の分光感度 S が用いられる。

[0146] なお、実施の形態2の変形例では、撮像装置400および拡散部材402の少なくとも一方が交換された場合には、光源データ格納部13Aに格納される B_1, B_2, \dots, B_M を再度計算する必要がある。

[0147] その他の処理については、基本的に上述した実施の形態1または2と同様であるので、詳細な説明は繰返さない。

[0148] <処理手順>

図8は、この発明の実施の形態2の変形例に従う画像処理装置1Bにおける全体処理手順を示すフローチャートである。なお、図8に示すフローチャート中の各ステップ

のうち、図4に示すフローチャート中のステップと同一内容のステップについては、同じ符号を付している。

- [0149] 図7および図8を参照して、まず、入力部10が、被写体OBJに入射する光の少なくとも一部を拡散部材402を介して撮像した第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ を受入れる(ステップS100)。続いて、入力部10は、受入れた第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ を代表する撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}$ を生成する(ステップS102)。なお、入力部10は、必要に応じて、第1撮像データを線形化する。
- [0150] 次に、推定行列格納部17が、予め格納する第1推定行列 $W_1^{(1)}, W_2^{(1)}, \dots, W_M^{(1)}$ のうち、選択指令SELに応じて1つの第1推定行列を第1推定行列 $W^{(1)}$ として分光放射輝度算出部11へ出力する(ステップS105)。続いて、分光放射輝度算出部11が、ステップS105で選択された第1推定行列 $W^{(1)}$ を用いて、撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}$ から被写体OBJに入射する照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ を算出する(ステップS106)。
- [0151] 次に、三刺激値変換部14が、分光放射輝度 $E^{(1)}$ からXYZ表色系の三刺激値X, Y, Zを算出する(ステップS110)。続いて、座標変換部15が、XYZ表色系の三刺激値X, Y, Zを、RGB表色系において定義される座標値 $R^{(1)}, G^{(1)}, B^{(1)}$ に変換する(ステップS112)。さらに、ホワイトバランス算出部16が、座標値 $R^{(1)}, G^{(1)}, B^{(1)}$ の比に基づいて、撮像装置400におけるホワイトバランスを算出する(ステップS114)。
- [0152] 一方、入力部20が、照明環境下において撮像装置400により被写体OBJを撮像することで得られる第2撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(2)}(m, n)$ を受入れる(ステップS120)。なお、入力部20は、必要に応じて、第2撮像データを線形化する。
- [0153] 次に、推定行列算出部22が、被写体OBJに含まれ得る色の分光反射率から算出される自己相関行列A、照明スペクトル推定部100によって算出された照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ 、撮像装置400の分光感度Sに基づいて、第2推定行列 $W^{(2)}$ を算出する(ステップS122)。続いて、分光反射率算出部21が、ステップS122で算出された第2推定行列 $W^{(2)}$ を用いて、第2撮像データ $g^{(2)}$ から被写体OBJの分光反射率 $f^{(2)}(m, n)$ を算出する(ステップS124)。さらに、画像データ生成部24が、等色関数h、被写体OBJに入射する照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ 、ステップS124で算出された被写体OBJの分光反射率 $f^{(2)}(m, n)$ を用いて、被写体OBJの色再現を行なった画

像データ $g_{XYZ}^{(OUT)}(m, n)$ を生成する(ステップS126)。さらに、座標変換部25が、ステップS126において生成された画像データ $g_{XYZ}^{(OUT)}(m, n)$ をRGB表色系において定義される画像データ $g_{RGB}^{(OUT)}(m, n)$ に変換し(ステップS128)、この変換後の画像データ $g_{RGB}^{(OUT)}(m, n)$ を出力する。

[0154] <本実施の形態による作用効果>

この発明の実施の形態2の変形例によれば、上述の実施の形態1および2と同様の作用効果を得ることができるとともに、複数の第1推定行列 $W_1^{(1)}, W_2^{(1)}, \dots, W_M^{(1)}$ の算出処理を簡略化できるので、より演算処理を高速化できる。

[0155] [実施の形態3]

上述の実施の形態2においては、光源データの種類毎に複数の自己相関行列を予め格納しておき、任意に選択された自己相関行列を用いて、照明光の分光放射輝度(スペクトル)の推定が行なわれる構成について例示した。一方、以下に説明する実施の形態3においては、複数の自己相関行列の各々を用いた照明光の分光放射輝度の推定結果に対して評価を行なった上で、最も適切な推定結果を出力する構成について例示する。

[0156] <全体構成>

この発明の実施の形態3に従う画像処理装置は、図1に示す実施の形態1に従う画像処理装置1において、照明スペクトル推定部100に代えて、照明スペクトル推定部100Cを設けたものである。一方、色再現部200については、図1に示す画像処理装置1と同様であるので、詳細な説明は繰返さない。

[0157] 図9は、この発明の実施の形態3に従う画像処理装置の照明スペクトル推定部100Cの機能構成図である。なお、本実施の形態に従う画像処理装置に含まれる色再現部200については図示しない。

[0158] 図9を参照して、照明スペクトル推定部100Cは、入力部10と、分光放射輝度算出部11A, 11B, 11C, 11Dと、選択部18と、評価部19と、三刺激値変換部14と、座標変換部15と、ホワイトバランス算出部16とをさらに含む。これらのうち、入力部10と、三刺激値変換部14と、座標変換部15と、ホワイトバランス算出部16とについては、実施の形態1(図1)において説明したので、詳細な説明は繰返さない。

[0159] 分光放射輝度算出部11A, 11B, 11C, 11Dは、照明環境を提供するために用いられ得る複数の光源候補の分光放射輝度に基づいて算出される第1推定行列 $W^{(1)}_1$, $W^{(1)}_2$, $W^{(1)}_3$, $W^{(1)}_4$ を用いて、撮像データ $g^{(1)}$ から被写体OBJに入射する照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}_1$, $E^{(1)}_2$, $E^{(1)}_3$, $E^{(1)}_4$ をそれぞれ算出する。この第1推定行列 $W^{(1)}_1$, $W^{(1)}_2$, $W^{(1)}_3$, $W^{(1)}_4$ は、図7に示す推定行列格納部17が格納する第1推定行列 $W^{(1)}_1$, $W^{(1)}_2$, $W^{(1)}_3$, $W^{(1)}_4$ と実質的に同様である。すなわち、第1推定行列 $W^{(1)}_1$, $W^{(1)}_2$, $W^{(1)}_3$, $W^{(1)}_4$ は、照明環境を提供するために用いられ得る複数の光源候補の種類毎に予め定められた自己相関行列 B_1 , B_2 , B_3 , B_4 に基づいて、上述した手順と同様の手順に従って算出される。なお、図9には4種類の第1推定行列 $W^{(1)}$ を例示するが、第1推定行列 $W^{(1)}$ は複数である限りにおいて、その数は制限されない。また、図9には、第1推定行列 $W^{(1)}_1$, $W^{(1)}_2$, $W^{(1)}_3$, $W^{(1)}_4$ を予め算出しておく構成を例示するが、図5に示す照明スペクトル推定部100Aのように、演算処理毎にこれらを動的に算出してもよい。

[0160] 本実施の形態では、一例として、第1推定行列 $W^{(1)}_1$ は、蛍光灯の統計データに基づいて作成された自己相関行列 B_1 から算出されており、第1推定行列 $W^{(1)}_2$ は、白熱灯の統計データに基づいて作成された自己相関行列 B_2 から算出されており、第1推定行列 $W^{(1)}_3$ は、キセノン灯の統計データに基づいて作成された自己相関行列 B_3 から算出されているものとする。さらに、第1推定行列 $W^{(1)}_4$ は、蛍光灯、白熱灯、キセノン灯のすべてを含む統計データに基づいて作成された自己相関行列 B_4 から算出されているものとする。

[0161] 分光放射輝度算出部11A, 11B, 11C, 11Dは、それぞれ算出した照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}_1$, $E^{(1)}_2$, $E^{(1)}_3$, $E^{(1)}_4$ を、選択部18へそれぞれ出力する。

[0162] 選択部18は、後述する評価部19による評価結果に従って、入力された照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}_1$, $E^{(1)}_2$, $E^{(1)}_3$, $E^{(1)}_4$ のうち1つを、照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ として出力する。

[0163] 評価部19は、分光放射輝度算出部11A, 11B, 11C, 11Dがそれぞれ算出した照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}_1$, $E^{(1)}_2$, $E^{(1)}_3$, $E^{(1)}_4$ のうち、最も適切に推定がなされたものを評価する。より具体的には、評価部19は、予め規定した基準パターンと比較す

ることで、照明光の分光放射輝度 $E_{1}^{(1)}$ 、 $E_{2}^{(1)}$ 、 $E_{3}^{(1)}$ 、 $E_{4}^{(1)}$ を評価する。

[0164] 本実施の形態では、一例として、それぞれ第1推定行列 $W_{1}^{(1)}$ 、 $W_{2}^{(1)}$ 、 $W_{3}^{(1)}$ （あるいは、対応する自己相関行列 B_{1} 、 B_{2} 、 B_{3} ）の算出時に用いた光源の分光放射輝度（統計値または実測値）からそれぞれ算出した基準パターン $E_{1AVE}^{(1)}$ 、 $E_{2AVE}^{(1)}$ 、 $E_{3AVE}^{(1)}$ を用いる。より具体的には、たとえば、第1推定行列 $W_{1}^{(1)}$ に対応する基準パターン $E_{1AVE}^{(1)}$ は、第1推定行列 $W_{1}^{(1)}$ の算出に用いた自己相関行列 B_{1} の生成元となった光源の群行列 E_{st} （図3参照）の各要素を平均化することで算出される。すなわち、図3に示すように、光源候補 i の群行列 E_{st} が成分値 $e_{ij}(\lambda)$ $\{1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq k\}$ からなる場合には、対応する基準パターン $E_{AVE}^{(1)}$ の各サンプリング波長 λ_j $(1 \leq j \leq k)$ における成分値を $e_{AVEj}(\lambda)$ とすると、以下のような関係が成立する。

[0165] 成分値 $e_{AVEj}(\lambda) = \{e_{1j}(\lambda) + e_{2j}(\lambda) + \dots + e_{Nj}(\lambda)\} / N$

本実施の形態では、このような算出手順に従って、基準パターンとして、蛍光灯、白熱灯、キセノン灯のそれぞれを代表する分光放射輝度（スペクトル）が予め算出される。なお、第1推定行列 $W_{4}^{(1)}$ に対応する基準パターンについては、必ずしも算出する必要はない。これは、第1推定行列 $W_{4}^{(1)}$ に対応する自己相関行列 B_{4} が蛍光灯、白熱灯、キセノン灯のすべてを含む統計データに基づいて作成されたものであるため、この自己相関行列 B_{4} から基準パターンを作成したとしても、各光源の特徴がぼやけてしまい、基準パターンとしての効果が薄まるからである。

[0166] 次に、図10および図11を参照して、評価部19による照明光の分光放射輝度 $E_{1}^{(1)}$ 、 $E_{2}^{(1)}$ 、 $E_{3}^{(1)}$ 、 $E_{4}^{(1)}$ の評価方法について説明する。

[0167] 図10は、評価部19による照明光の分光放射輝度 $E_{1}^{(1)}$ 、 $E_{2}^{(1)}$ 、 $E_{3}^{(1)}$ と基準パターン $E_{1AVE}^{(1)}$ 、 $E_{2AVE}^{(1)}$ 、 $E_{3AVE}^{(1)}$ との比較処理を説明するための図である。図11は、図10における類似度の算出処理を説明するための図である。

[0168] 図10を参照して、評価部19は、分光放射輝度算出部11A、11B、11Cがそれぞれ算出した照明光の分光放射輝度 $E_{1}^{(1)}$ 、 $E_{2}^{(1)}$ 、 $E_{3}^{(1)}$ と基準パターン $E_{1AVE}^{(1)}$ 、 $E_{2AVE}^{(1)}$ 、 $E_{3AVE}^{(1)}$ とをそれぞれ比較し、比較結果（一例として、類似度）を算出する。なお、照明光の分光放射輝度 $E_{1}^{(1)}$ 、 $E_{2}^{(1)}$ 、 $E_{3}^{(1)}$ および基準パターン $E_{1AVE}^{(1)}$ 、 $E_{2AVE}^{(1)}$ 、 $E_{3AVE}^{(1)}$ は、いずれも0～1の範囲に規格化されているものとする。

[0169] 図10(A)に示すように、蛍光灯の統計データに基づいて作成された基準パターン $E_{1AVE}^{(1)}$ では、特定の波長にピークが存在している。一方、図10(B)に示すように、白熱灯の統計データに基づいて作成された基準パターン $E_{2AVE}^{(1)}$ では、ピークは存在せず、波長が長くなるほどその輝度が高くなっていることがわかる。また、図10(C)に示すように、キセノン灯の統計データに基づいて作成された基準パターン $E_{3AVE}^{(1)}$ では、若干のピークが存在するとともに、可視光領域のほぼ全体に亘って高い輝度を有していることがわかる。

[0170] 評価部19は、各分光放射輝度が対応する基準パターンにどの程度類似しているかについて評価する。代表的に、評価部19は、波長領域上の波形同士の偏差に基づいて、類似度を算出する。

[0171] 図11は、分光放射輝度算出部11Aが算出した照明光の分光放射輝度 $E_1^{(1)}$ と基準パターン $E_{1AVE}^{(1)}$ との比較処理を説明するための図を示す。図11(A)は、照明光の分光放射輝度 $E_1^{(1)}$ と基準パターン $E_{1AVE}^{(1)}$ とを同一の波長領域上にプロットした状態を示し、図11(B)は、各波長における偏差を算出する処理を示す。

[0172] 評価部19は、各サンプリング波長 λ_j ($1 \leq j \leq k$) において、照明光の分光放射輝度 $E_1^{(1)}$ と基準パターン $E_{1AVE}^{(1)}$ との間の偏差(規格化値) err_j ($1 \leq j \leq k$) を順次算出する。続いて、評価部19は、サンプリング波長 λ_j の偏差 err_j のすべてについての総和平均を算出することで、評価結果(類似度)を算出する。すなわち、類似度SMは、サンプリング波長 λ_j の偏差 err_j を用いて、以下のような演算式で算出できる。

[0173] 類似度 $SM = \{1 - (err_1 + err_2 + \dots + err_k) / k\} \times 100[\%]$

なお、図10には、蛍光灯の照明環境下で本実施の形態に従う画像処理方法を実施した場合に実測された類似度を示す。このような類似度の算出処理の結果、第1推定行列 $W_1^{(1)}$ に基づいて推定された照明光の分光放射輝度 $E_1^{(1)}$ の類似度が最も高く、評価部19は、この照明光の分光放射輝度 $E_1^{(1)}$ を分光放射輝度 $E^{(1)}$ として出力する。また、この評価結果は、実際に蛍光灯の照明環境下で実測したという事実に合致する。

[0174] また、被写体OBJの照明環境が、蛍光灯、白熱灯、キセノン灯を組み合わせることで提供されている場合や、これら以外の光源によって提供されている場合には、照明

光の分光放射輝度 $E_{1}^{(1)}$, $E_{2}^{(1)}$, $E_{3}^{(1)}$ のいずれについても、その類似度が十分高くない場合も想定される。このような場合には、蛍光灯、白熱灯、キセノン灯の特徴をすべて反映した第1推定行列 $W_{4}^{(1)}$ に基づいて推定された照明光の分光放射輝度 $E_{4}^{(1)}$ を照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ として出力する場合が適切な場合もある。そこで、評価部19は、照明光の分光放射輝度 $E_{1}^{(1)}$, $E_{2}^{(1)}$, $E_{3}^{(1)}$ についての評価結果(類似度)がいずれも許容値を下回っている場合などには、分光放射輝度 $E_{4}^{(1)}$ を照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ として出力する。

[0175] なお、上述の説明では、分光放射輝度算出部11A, 11B, 11C, 11Dが、照明光の分光放射輝度 $E_{1}^{(1)}$, $E_{2}^{(1)}$, $E_{3}^{(1)}$, $E_{4}^{(1)}$ を並行して同時に算出し、その後類似度を算出する構成について例示したが、第1推定行列の各々について、照明光の分光放射輝度の算出処理と類似度の算出処理とを順次実行するようにしてもよい。この場合には、いずれかの第1推定行列により推定された照明光の分光放射輝度についての類似度が、所定しきい値(たとえば、95%)を超えたことが判明した時点で、以後の処理を行なうことなく、当該次元の分光放射輝度を出力できるので、処理を簡素化することができる。

[0176] また、第1推定行列 $W_{4}^{(1)}$ に基づいて照明光の分光放射輝度 $E_{4}^{(1)}$ を推定する必然性はない。すなわち、照明光の分光放射輝度 $E_{1}^{(1)}$, $E_{2}^{(1)}$, $E_{3}^{(1)}$ についての類似度がいずれも許容値を下回っている場合には、推定不可能を出力してもよい。

[0177] また、上述した、偏差に基づく類似度の算出に代えて、相関係数などを用いて類似度を算出してもよい。

[0178] その他の処理については、基本的に上述した実施の形態1と同様であるので、詳細な説明は繰返さない。

[0179] <処理手順>

本実施の形態に従う画像処理装置における処理手順をまとめると、以下のようになる。

[0180] 図12は、この発明の実施の形態3に従う画像処理装置における全体処理手順を示すフローチャートである。なお、図12に示すフローチャート中の各ステップのうち、図4に示すフローチャート中のステップと同一内容のステップについては、同じ符号を

付している。また、図13は、図12に示すステップS108に示す評価サブルーチンの処理手順を示すフローチャートである。

- [0181] 図9および図12を参照して、まず、入力部10が、被写体OBJに入射する光の少なくとも一部を拡散部材402を介して撮像した第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ を受入れる(ステップS100)。続いて、入力部10は、受入れた第1撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}(m, n)$ を代表する撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}$ を生成する(ステップS102)。なお、入力部10は、必要に応じて、第1撮像データを線形化する。
- [0182] 次に、分光放射輝度算出部11A, 11B, 11C, 11Dが、それぞれ第1推定行列 $W_1^{(1)}, W_2^{(1)}, W_3^{(1)}, W_4^{(1)}$ を用いて、撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(1)}$ から被写体OBJに入射する照明光の分光放射輝度 $E_1^{(1)}, E_2^{(1)}, E_3^{(1)}, E_4^{(1)}$ をそれぞれ算出する(ステップS107)。続いて、評価部19が、評価サブルーチンを実行し、ステップS107で算出された照明光の分光放射輝度 $E_1^{(1)}, E_2^{(1)}, E_3^{(1)}, E_4^{(1)}$ のうち最も推定精度の高いものを評価する(ステップS108)。さらに、選択部18が、ステップS108における評価結果に従って、照明光の分光放射輝度 $E_1^{(1)}, E_2^{(1)}, E_3^{(1)}, E_4^{(1)}$ のうち1つを、照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ として出力する(ステップS109)。
- [0183] 次に、三刺激値変換部14が、分光放射輝度 $E^{(1)}$ からXYZ表色系の三刺激値X, Y, Zを算出する(ステップS110)。続いて、座標変換部15が、XYZ表色系の三刺激値X, Y, Zを、RGB表色系において定義される座標値 $R^{(1)}, G^{(1)}, B^{(1)}$ に変換する(ステップS112)。さらに、ホワイトバランス算出部16が、座標値 $R^{(1)}, G^{(1)}, B^{(1)}$ の比に基づいて、撮像装置400におけるホワイトバランスを算出する(ステップS114)。
- [0184] 一方、入力部20が、照明環境下において撮像装置400により被写体OBJを撮像することで得られる第2撮像データ $g_{\text{RGB}}^{(2)}(m, n)$ を受入れる(ステップS120)。なお、入力部20は、必要に応じて、第2撮像データを線形化する。
- [0185] 次に、推定行列算出部22が、被写体OBJに含まれ得る色の分光反射率から算出される自己相関行列A、照明スペクトル推定部100によって算出された照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ 、撮像装置400の分光感度Sに基づいて、第2推定行列 $W^{(2)}$ を算出する(ステップS122)。続いて、分光反射率算出部21が、ステップS122で算出された第2推定行列 $W^{(2)}$ を用いて、第2撮像データ $g^{(2)}$ から被写体OBJの分光反射率 $f^{(2)}$

(m, n)を算出する(ステップS124)。さらに、画像データ生成部24が、等色関数h、被写体OBJに入射する照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}$ 、ステップS124で算出された被写体OBJの分光反射率 $f^{(2)}$ (m, n)を用いて、被写体OBJの色再現を行なった画像データ $g^{(OUT)}_{XYZ}$ (m, n)を生成する(ステップS126)。さらに、座標変換部25が、ステップS126において生成された画像データ $g^{(OUT)}_{XYZ}$ (m, n)をRGB表色系において定義される画像データ $g^{(OUT)}_{RGB}$ (m, n)に変換し(ステップS128)、この変換後の画像データ $g^{(OUT)}_{RGB}$ (m, n)を出力する。

[0186] 図13を参照して、評価部19は、照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}_1$ と予め定められた基準パターン $E^{(1)}_{1AVE}$ とを比較することで、両者の間の類似度 SM_1 を算出する(ステップS200)。同様に、評価部19は、照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}_2$ と予め定められた基準パターン $E^{(1)}_{2AVE}$ とを比較することで、両者の間の類似度 SM_2 を算出する(ステップS202)。同様に、評価部19は、照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}_3$ と予め定められた基準パターン $E^{(1)}_{3AVE}$ とを比較することで、両者の間の類似度 SM_3 を算出する(ステップS204)。

[0187] 続いて、評価部19は、ステップS200, S202, S204において算出された類似度 SM_1, SM_2, SM_3 のうち、その値が最も高いものを抽出する(ステップS206)。さらに、評価部19は、ステップS206で抽出した類似度が所定の許容値以上であるか否かを判断する(ステップS208)。

[0188] 類似度が所定の許容値以上である場合(ステップS208においてYESの場合)には、評価部19は、ステップS206で抽出した類似度に対応する分光放射輝度が最も推定精度の高いと評価する(ステップS210)。

[0189] 一方、類似度が所定の許容値以上でない場合(ステップS208においてNOの場合)には、評価部19は、照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}_1, E^{(1)}_2, E^{(1)}_3$ 以外、すなわち照明光の分光放射輝度 $E^{(1)}_4$ が最も推定精度の高いと評価する(ステップS212)。

[0190] その後、処理は図12のステップS109に進む。

<本実施の形態による作用効果>

この発明の実施の形態3によれば、上述の実施の形態1と同様の作用効果を得ることができるとともに、何らの予備知識を持たないユーザであっても、照明光の分光放

射輝度を高い推定精度で取得することができる。そのため、被写体OBJが様々な条件下で行なわれたとしても、照明光の分光放射輝度の推定精度を維持できる。

[0191] [実施の形態1～3の変形例]

上述の実施の形態1～3においては、主としてハードウェアで構成された画像処理装置を用いる構成について例示したが、その全部または一部をソフトウェアで実現してもよい。すなわち、コンピュータを用いて、画像処理装置における処理を実現してもよい。

[0192] 図14は、この発明の実施の形態の変形例に従う画像処理装置1#を実現するコンピュータの概略構成図である。

[0193] 図14を参照して、コンピュータは、FD(Flexible Disk)駆動装置166およびCD-ROM(Compact Disk-Read Only Memory)駆動装置168を搭載したコンピュータ本体150と、モニタ152と、キーボード154と、マウス156とを含む。

[0194] コンピュータ本体150は、相互にバスで接続された、演算装置であるCPU(Central Processing Unit)160と、メモリ162と、記憶装置である固定ディスク164と、通信インターフェース170とをさらに含む。

[0195] FD駆動装置166にはFD166aが装着され、CD-ROM駆動装置168にはCD-ROM168aが装着される。本実施の形態の変形例に従う画像処理装置1#は、CPU160がメモリ162などのコンピュータハードウェアを用いて、ソフトウェアを実行することで実現できる。一般的に、このようなソフトウェアは、FD166aやCD-ROM168aなどの記録媒体に格納されて、またはネットワークなどを介して流通する。そして、このようなソフトウェアは、FD駆動装置166やCD-ROM駆動装置168などにより記録媒体から読取られて、または通信インターフェース170にて受信されて、固定ディスク164に格納される。さらに、固定ディスク164からメモリ162に読出されて、CPU160により実行される。

[0196] モニタ152は、CPU160が出力する情報を表示するための表示部であって、一例としてLCD(Liquid Crystal Display)やCRT(Cathode Ray Tube)などから構成される。マウス156は、クリックやスライドなどの動作に応じたユーザから指令を受付ける。キーボード154は、入力されるキーに応じたユーザから指令を受付ける。CP

U160は、プログラムされた命令を順次実行することで、各種の演算を実施する演算処理部である。メモリ162は、CPU160のプログラム実行に応じて、各種の情報を記憶する。通信インターフェース170は、CPU160が出力した情報を、例えば電気信号に変換して他の装置へ送出するとともに、他の装置から電気信号を受信してCPU160が利用できる情報に変換する。固定ディスク164は、CPU160が実行するプログラムや予め定められたデータなどを記憶する不揮発性の記憶装置である。また、コンピュータには、必要に応じて、プリンタなどの他の出力装置が接続されてもよい。

[0197] さらに、本実施の形態に係るプログラムは、コンピュータのオペレーティングシステム(OS)の一部として提供されるプログラムモジュールのうち、必要なモジュールを所定の配列で所定のタイミングで呼出して処理を実行させるものであってもよい。その場合、プログラム自体には上記モジュールが含まれずOSと協働して処理が実行される。このようなモジュールを含まないプログラムも、本発明に係るプログラムに含まれ得る。

[0198] また、本実施の形態に係るプログラムは他のプログラムの一部に組込まれて提供されるものであってもよい。その場合にも、プログラム自体には上記他のプログラムに含まれるモジュールが含まれず、他のプログラムと協働して処理が実行される。

[0199] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

請求の範囲

- [1] 撮像装置(400)によって撮像された撮像データに対する画像処理が可能な画像処理装置(1)であって、
- 前記撮像装置を用いて、照明環境下において被写体(OBJ)に入射する光の少なくとも一部を拡散部材(402)を介して撮像することで得られた第1撮像データを、受入れる入力部(10)と、
- 前記照明環境を提供するために用いられ得る光源候補の分光放射輝度の自己相関行列と、前記拡散部材の分光透過率と、前記撮像装置の分光感度と、に基づいて算出される第1推定行列を用いて、前記第1撮像データから前記被写体に入射する照明光の分光放射輝度を算出する第1算出部(11, 12, 13)とを備える、画像処理装置。
- [2] 前記光源候補の分光放射輝度は、光源(300)の種類毎に予め取得された特性値である、請求の範囲第1項に記載の画像処理装置。
- [3] 前記拡散部材は、前記撮像装置の光軸(Ax1)上に配置され、
- 前記拡散部材の入射強度は、前記光軸に対する角度についての所定の関数値で示される、請求の範囲第1項に記載の画像処理装置。
- [4] 前記関数値は、前記光軸に対する角度についての余弦関数である、請求の範囲第3項に記載の画像処理装置。
- [5] 前記撮像装置は、前記撮像データとして、RGB表色系において定義される座標値を出力するように構成され、
- 前記画像処理装置は、
- 前記照明光の分光放射輝度と等色関数とを用いて、前記照明光の分光放射輝度に対応するRGB表色系における座標値を算出する第2算出部(14, 15)と、
- 前記第2算出部において算出された座標値の比に基づいて、前記撮像装置におけるホワイトバランスを算出する第3算出部(16)とをさらに備える、請求の範囲第1項に記載の画像処理装置。
- [6] 前記照明光の分光放射輝度と、前記撮像装置の分光感度と、前記被写体に含まれ得る色の分光反射率の自己相関行列と、に基づいて算出される第2推定行列を用

いて、前記照明環境下において前記撮像装置により前記被写体を撮像することで得られる第2撮像データから前記被写体の分光反射率を算出する第4算出部(20, 21, 22)をさらに備える、請求の範囲第1項に記載の画像処理装置。

[7] 前記第4算出部によって算出された前記被写体の分光反射率に基づいて、前記被写体を所定の照明環境下において撮像した場合に取得される画像データを生成する生成部(24, 25)をさらに備える、請求の範囲第6項に記載の画像処理装置。

[8] 撮像装置(400)によって撮像された撮像データに対する画像処理が可能な画像処理装置(1A)であって、

前記撮像装置を用いて、照明環境下において被写体(OBJ)に入射する光の少なくとも一部を拡散部材(402)を介して撮像することで得られた第1撮像データを、受入れる入力部(10)と、

前記照明環境を提供するために用いられ得る複数の光源候補の種類毎に予め定められた演算行列のうち一つを、外部指令に応じて選択する選択部(13A)と、

前記選択部によって選択された演算行列と、前記拡散部材の分光透過率と、前記撮像装置の分光感度と、に基づいて算出される第1推定行列を用いて、前記第1撮像データから前記被写体に入射する照明光の分光放射輝度を算出する第1算出部(11, 12)とを備え、

前記演算行列の各々は、前記光源候補の分光放射輝度を示す行列の自己相関行列である、画像処理装置。

[9] 撮像装置(400)によって撮像された撮像データに対する画像処理が可能な画像処理装置(1B)であって、

前記撮像装置を用いて、照明環境下において被写体(OBJ)に入射する光の少なくとも一部を拡散部材(402)を介して撮像することで得られた第1撮像データを、受入れる入力部(10)と、

前記照明環境を提供するために用いられ得る複数の光源候補の分光放射輝度に基づいて予め算出される、複数の第1推定行列のうち一つを外部指令に応じて選択する選択部(17)と、

前記選択部によって選択された第1推定行列を用いて、前記第1撮像データから前

記被写体に入射する照明光の分光放射輝度を算出する第1算出部(11)とを備え、

前記第1推定行列は、対応する光源候補の分光放射輝度を示す行列の自己相関行列と、前記拡散部材の分光透過率と、前記撮像装置の分光感度と、に基づいて算出される、画像処理装置。

[10] 撮像装置(400)によって撮像された撮像データに対する画像処理が可能な画像処理装置であって、

前記撮像装置を用いて、照明環境下において被写体(OBJ)に入射する光の少なくとも一部を拡散部材(402)を介して撮像することで得られた第1撮像データを、受入れる入力部(10)と、

前記照明環境を提供するために用いられ得る複数の光源候補の分光放射輝度に基づいてそれぞれ算出される複数の第1推定行列を用いて、前記第1撮像データから前記被写体に入射する照明光の分光放射輝度の候補をそれぞれ算出する第1算出部(11A, 11B, 11C, 11D)と、

それぞれ算出された前記分光放射輝度の候補を予め定められた基準パターンとの比較によって評価し、そのうち一つを前記照明環境下における照明光の分光放射輝度として出力する評価部(18, 19)とを備え、

前記第1推定行列は、対応する光源候補の分光放射輝度を示す行列の自己相関行列と、前記拡散部材の分光透過率と、前記撮像装置の分光感度と、に基づいて算出される、画像処理装置。

[11] 撮像装置(400)を用いて、照明環境下において被写体(OBJ)に入射する光の少なくとも一部を拡散部材(402)を介して撮像することで第1撮像データを取得するステップ(S100, S102)と、

前記照明環境を提供するために用いられ得る光源候補の分光放射輝度の自己相関行列と、前記拡散部材の分光透過率と、前記撮像装置の分光感度と、に基づいて算出される第1推定行列を用いて、前記第1撮像データから前記被写体に入射する照明光の分光放射輝度を算出するステップ(S104, S106)とを備える、画像処理方法。

[12] 撮像装置(400)を用いて、照明環境下において被写体(OBJ)に入射する光の少

なくとも一部を拡散部材(402)を介して撮像することで第1撮像データを取得するステップ(S100, S102)と、

前記照明環境を提供するために用いられ得る複数の光源候補の種類毎に予め定められた複数の演算行列のうち一つを選択するステップ(S103)と、

選択された演算行列と、前記拡散部材の分光透過率と、前記撮像装置の分光感度と、に基づいて算出される第1推定行列を用いて、前記第1撮像データから前記被写体に入射する照明光の分光放射輝度を算出するステップ(S104, S106)とを備え、

前記演算行列の各々は、光源候補の分光放射輝度を示す行列の自己相関行列である、画像処理方法。

- [13] 撮像装置(400)を用いて、照明環境下において被写体(OBJ)に入射する光の少なくとも一部を拡散部材(402)を介して撮像することで第1撮像データを取得するステップ(S100, S102)と、

前記照明環境を提供するために用いられ得る複数の光源候補の分光放射輝度に基づいて予め算出される複数の第1推定行列のうち一つを選択するステップ(S105)と、

選択された第1推定行列を用いて、前記第1撮像データから前記被写体に入射する照明光の分光放射輝度を算出するステップ(S106)とを備え、

前記第1推定行列は、対応する光源候補の分光放射輝度を示す行列の自己相関行列と、前記拡散部材の分光透過率と、前記撮像装置の分光感度と、に基づいて算出される、画像処理方法。

- [14] 撮像装置(400)を用いて、照明環境下において被写体(OBJ)に入射する光の少なくとも一部を拡散部材(402)を介して撮像することで第1撮像データを取得するステップ(S100, S102)と、

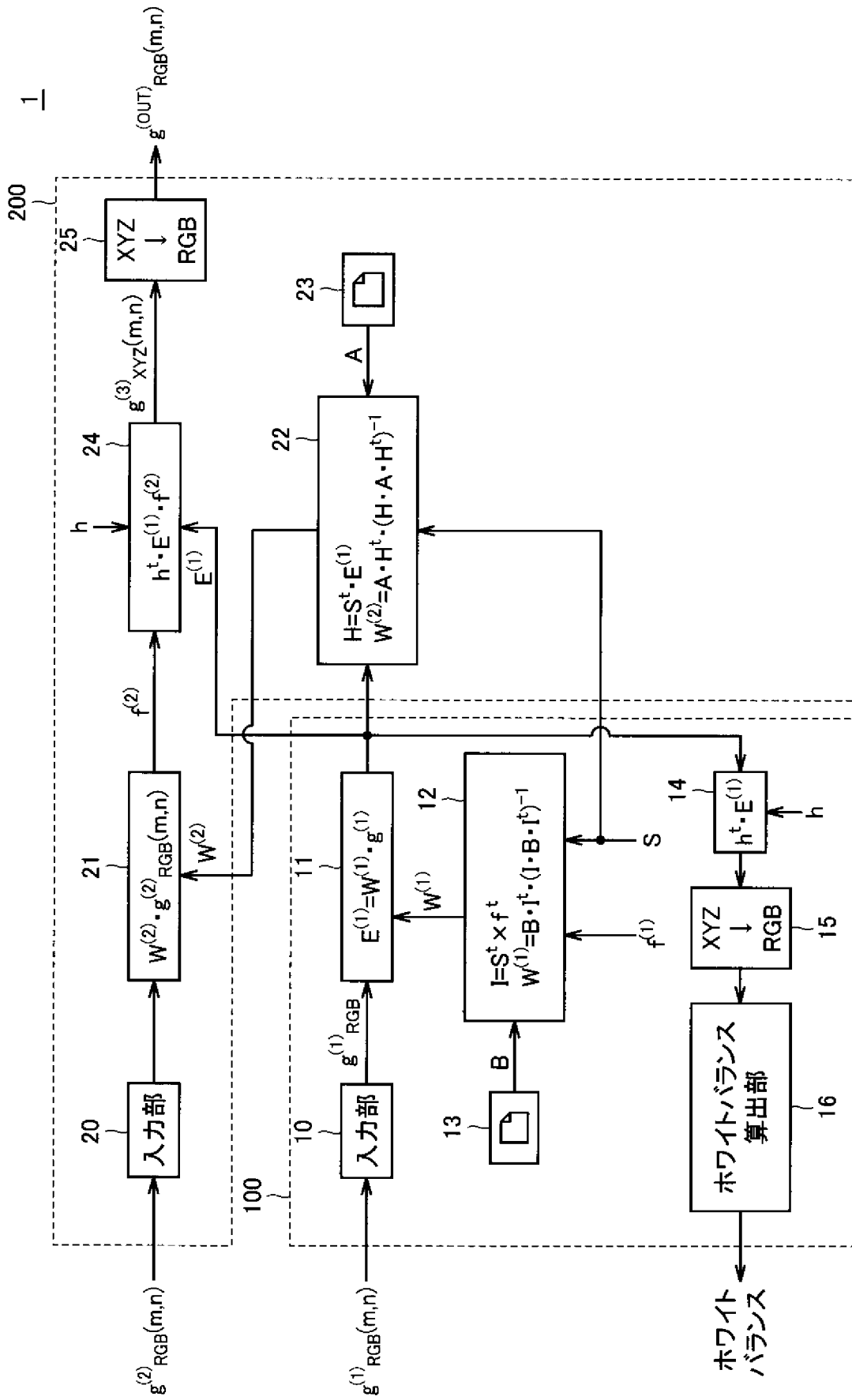
前記照明環境を提供するために用いられ得る複数の光源候補の分光放射輝度に基づいてそれぞれ算出される複数の第1推定行列を用いて、前記第1撮像データから前記被写体に入射する照明光の分光放射輝度の候補をそれぞれ算出するステップ(S107)と、

それぞれ算出された前記分光放射輝度の候補を予め定められた基準パターンとの

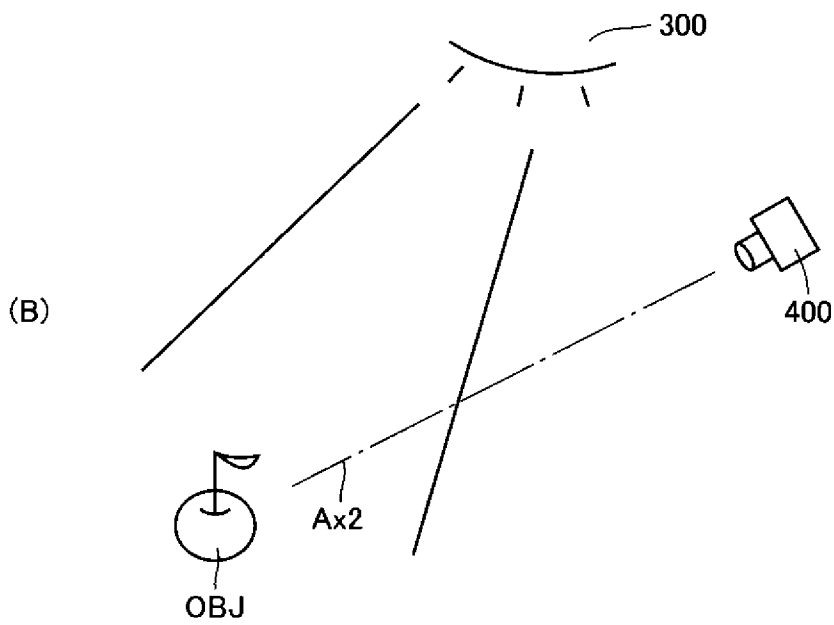
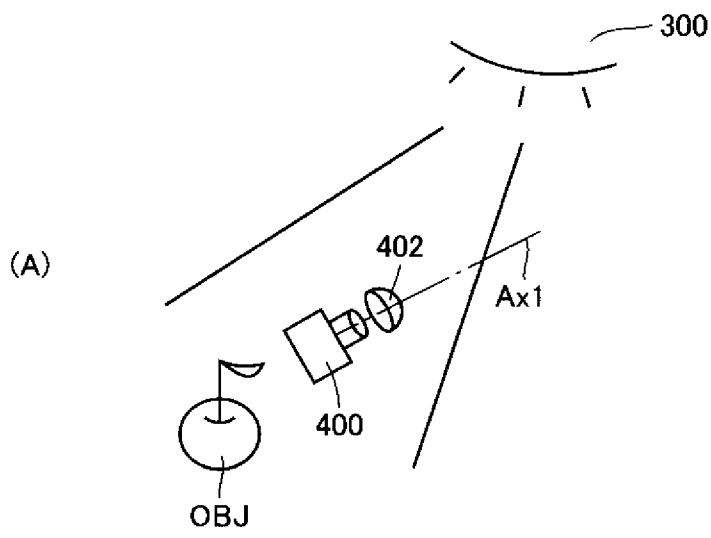
比較によって評価し、そのうち一つを前記照明環境下における照明光の分光放射輝度として出力するステップ(S108, S109)とを備え、

前記第1推定行列は、対応する光源候補の分光放射輝度を示す行列の自己相関行列と、前記拡散部材の分光透過率と、前記撮像装置の分光感度と、に基づいて算出される、画像処理方法。

図1



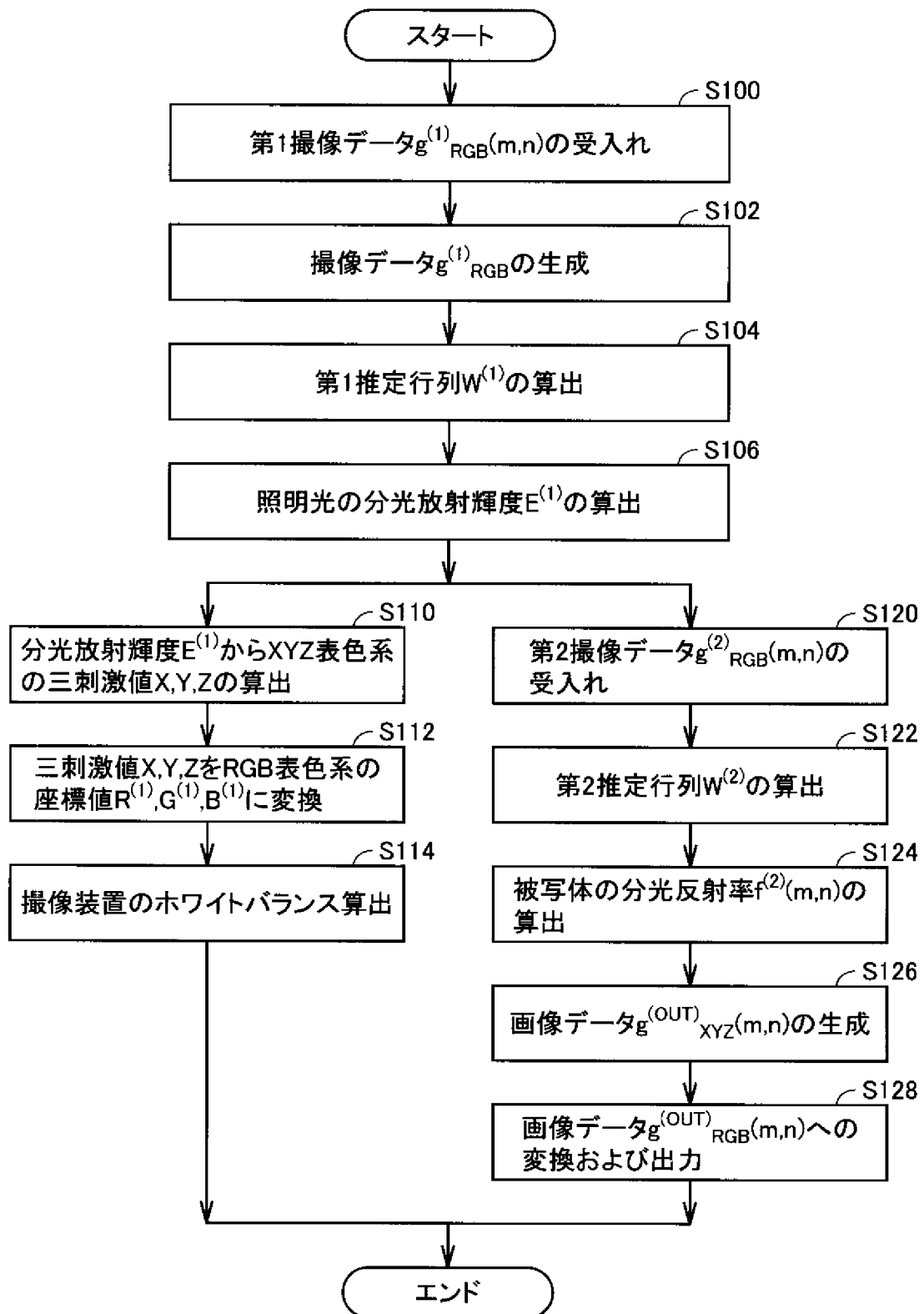
[図2]



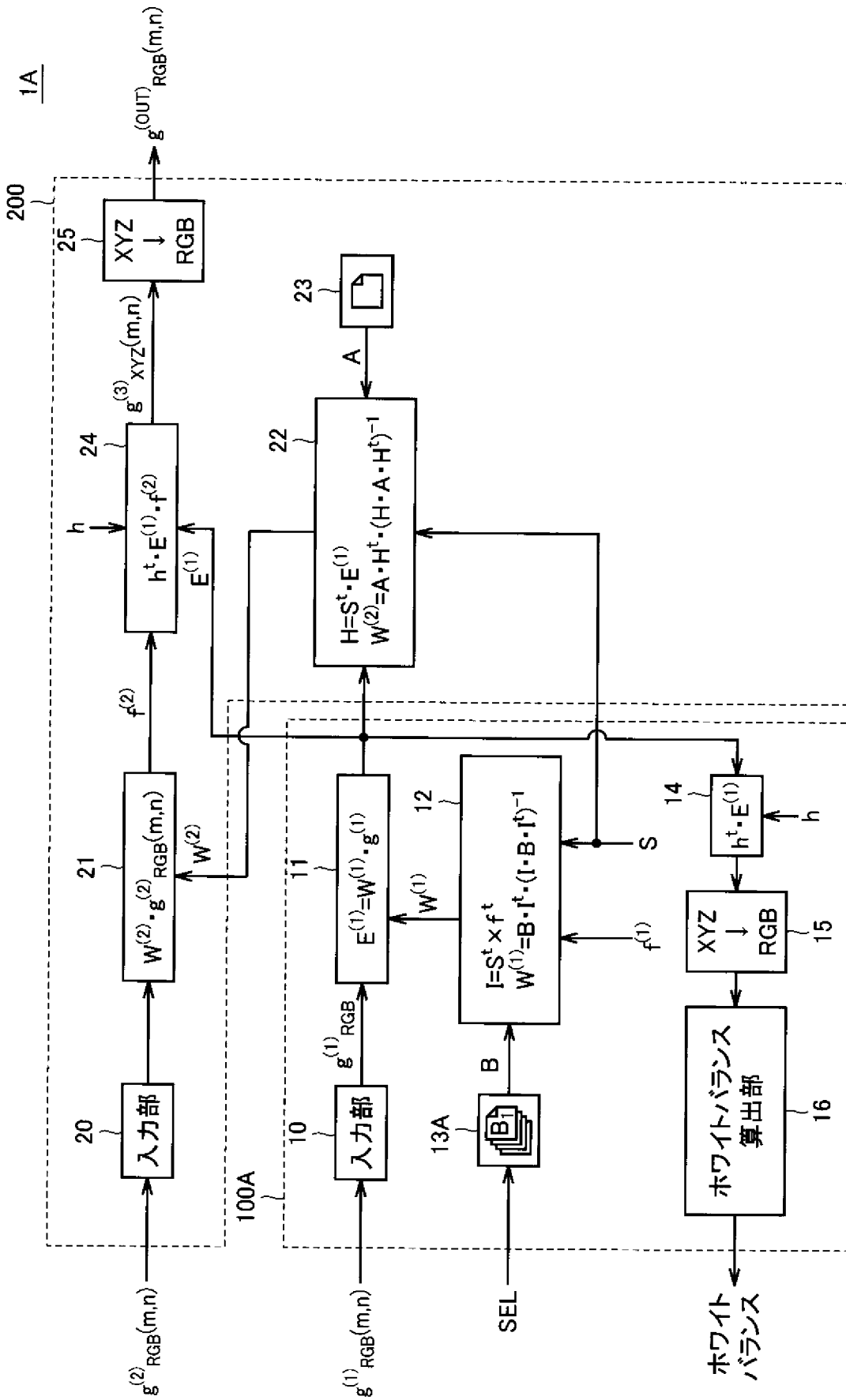
[図3]

$$\text{Est} = \left[\begin{array}{c|c|c|c} \text{光源1} & \text{光源2} & \dots & \text{光源N} \\ \hline e_1(\lambda_1) & e_2(\lambda_1) & & e_N(\lambda_1) \\ e_1(\lambda_2) & e_2(\lambda_2) & & e_N(\lambda_2) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ e_1(\lambda_k) & e_2(\lambda_k) & & e_N(\lambda_k) \end{array} \right]$$

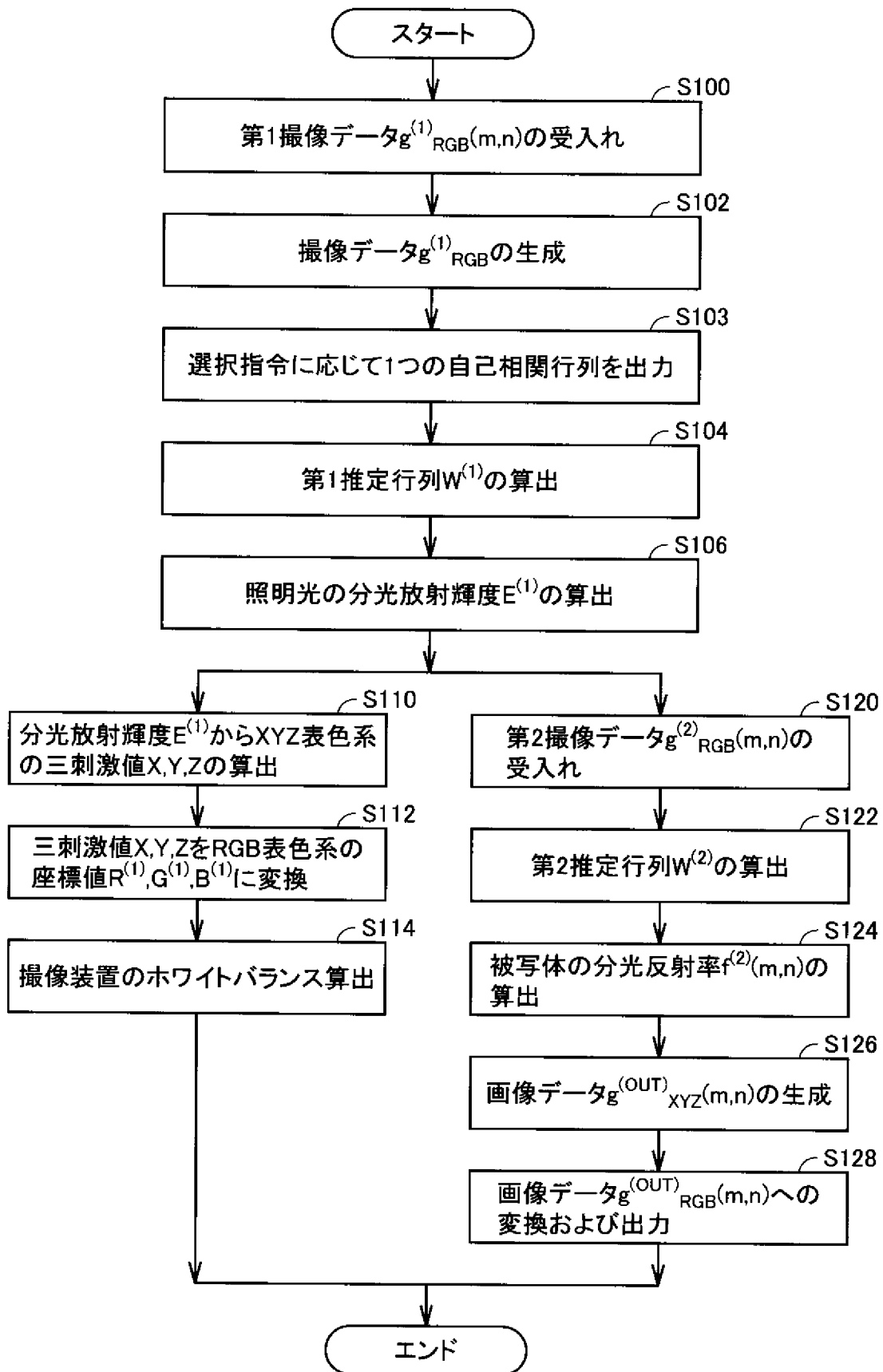
[図4]



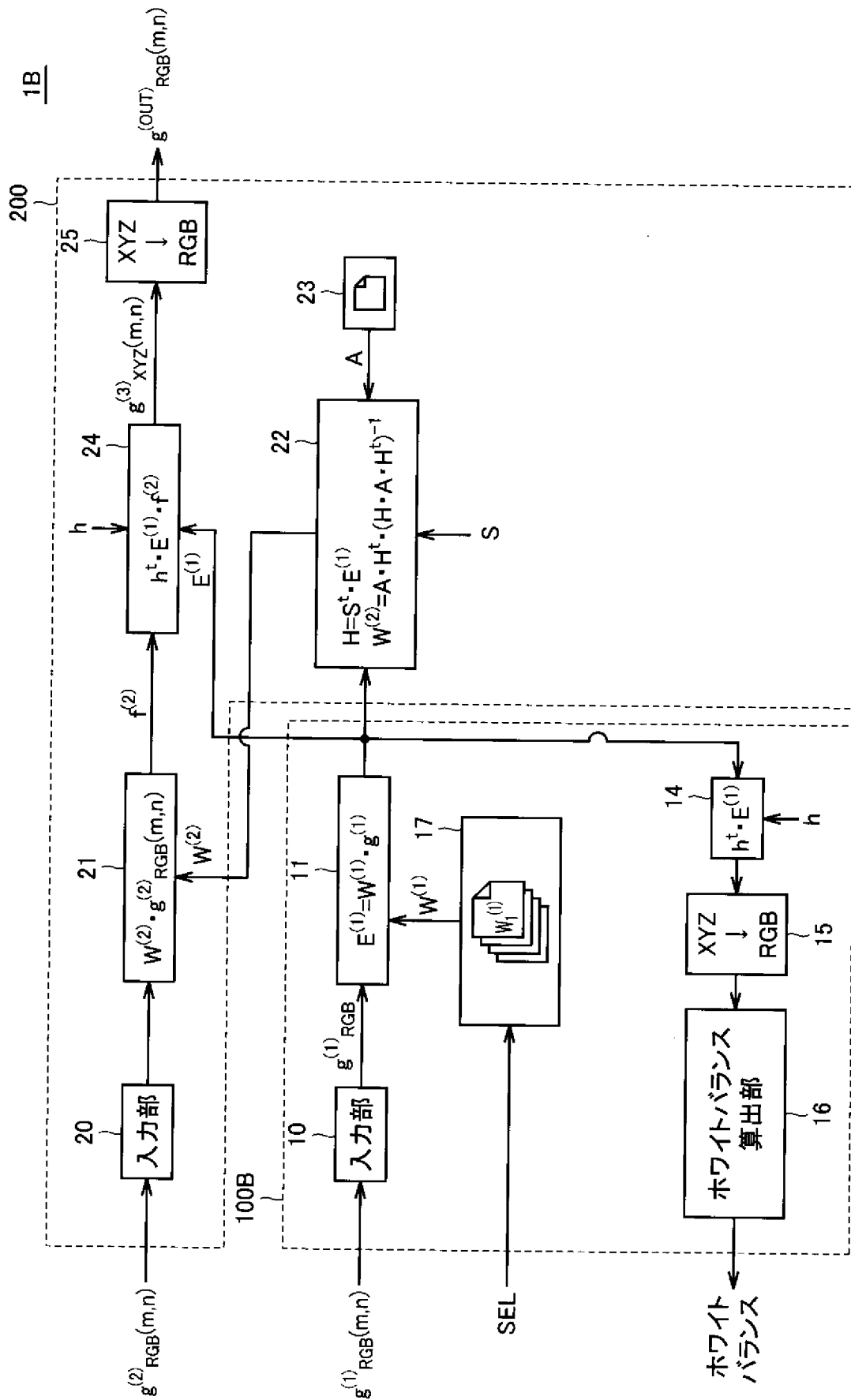
[図5]



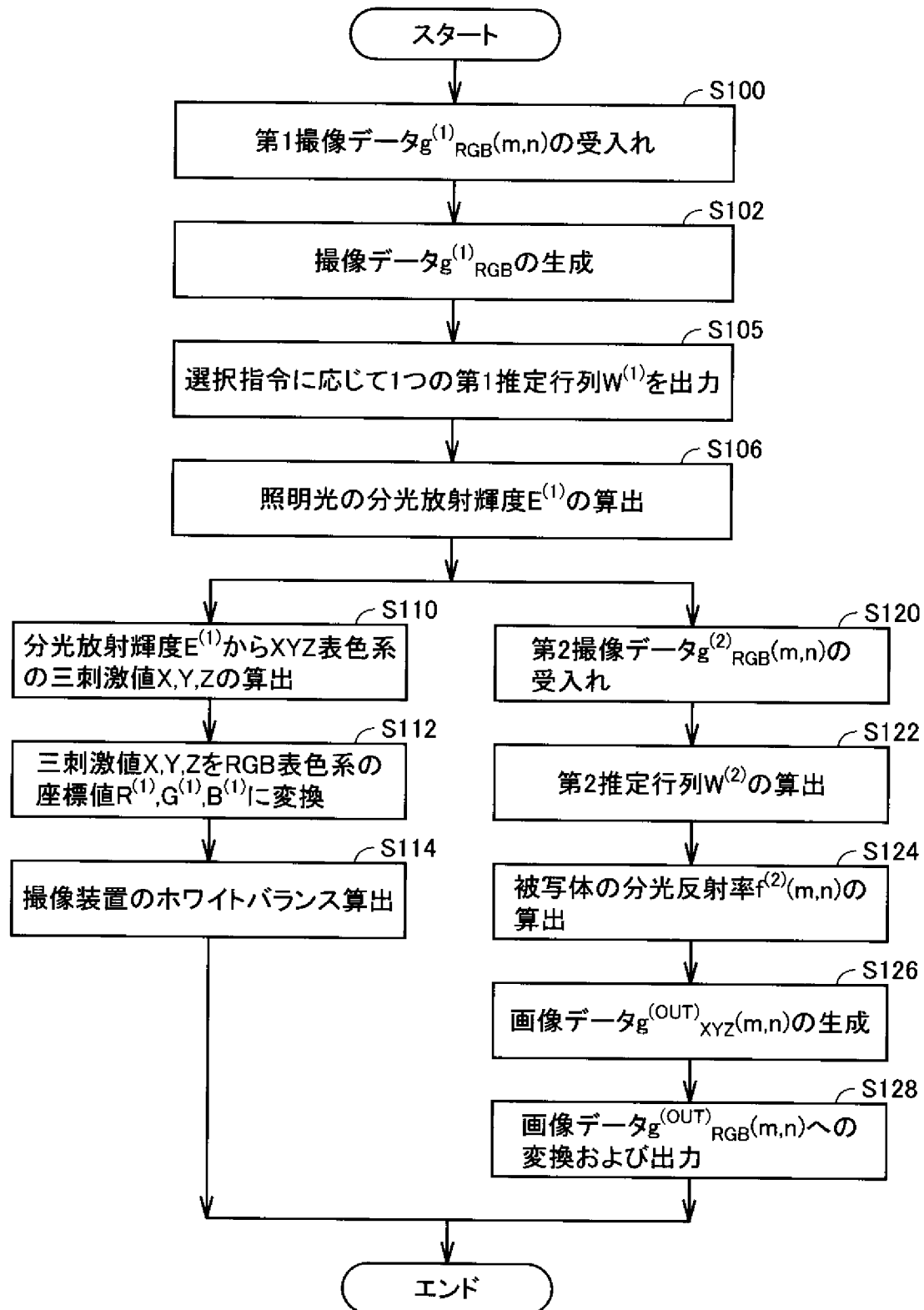
[図6]



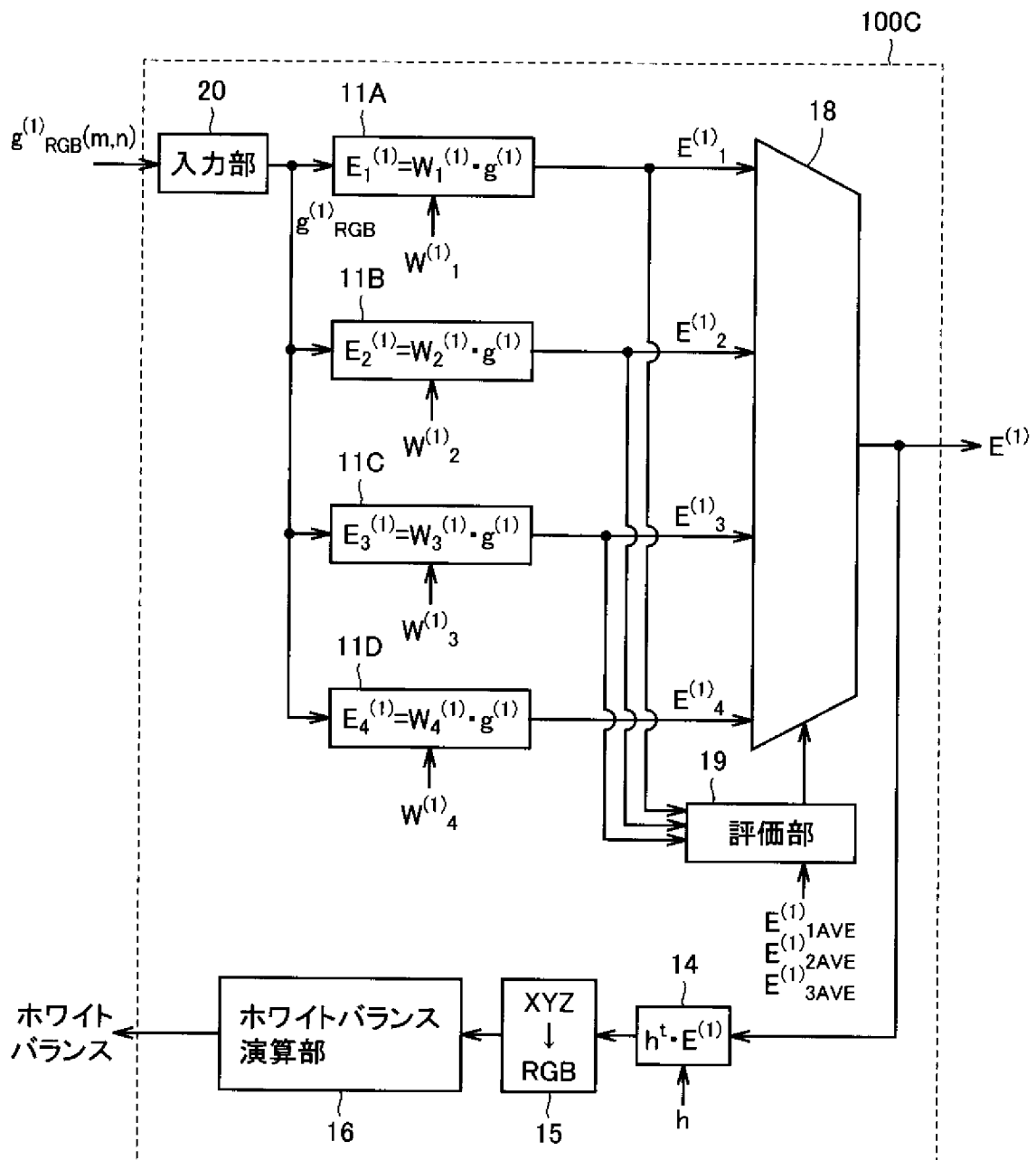
[図7]



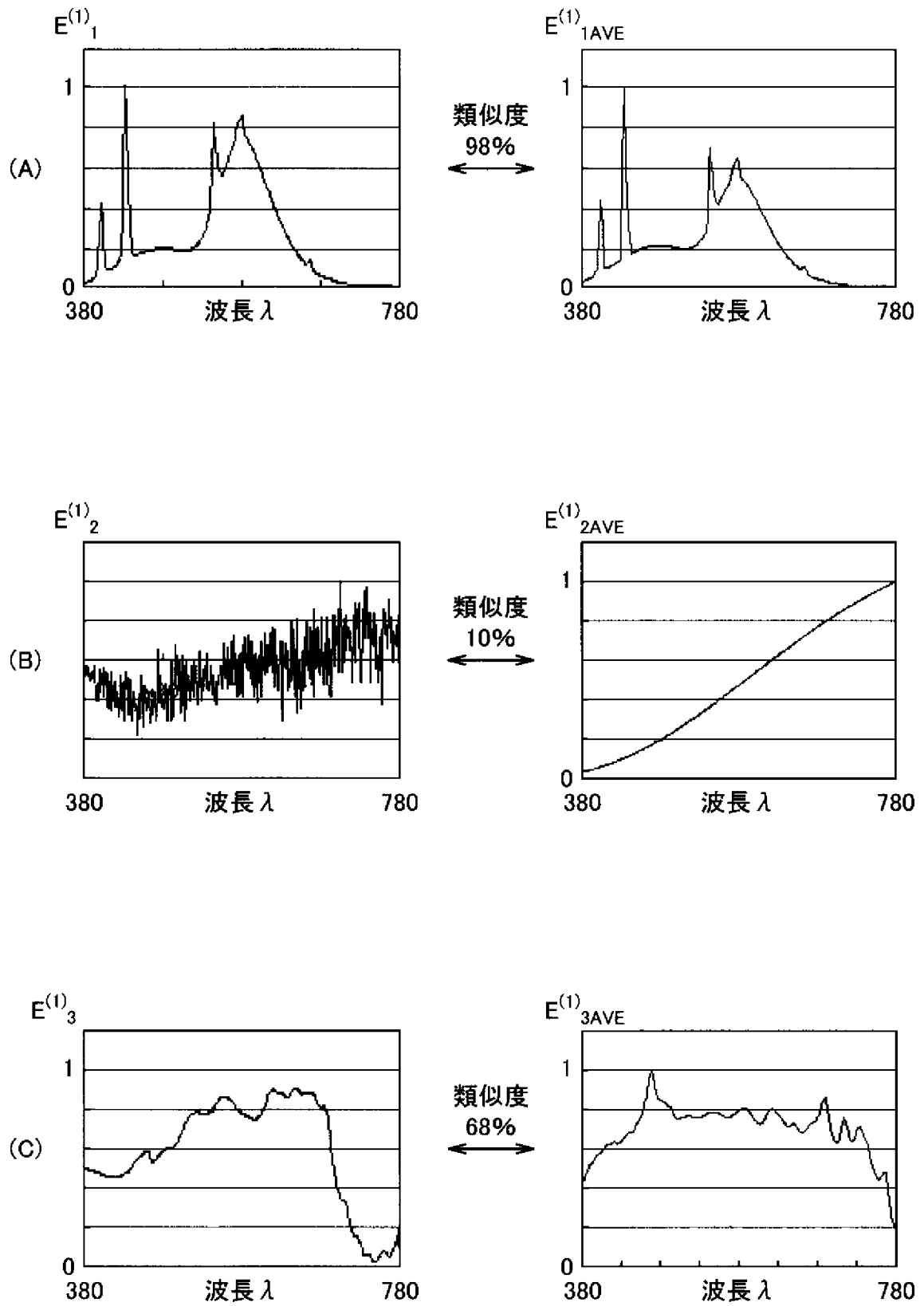
[図8]



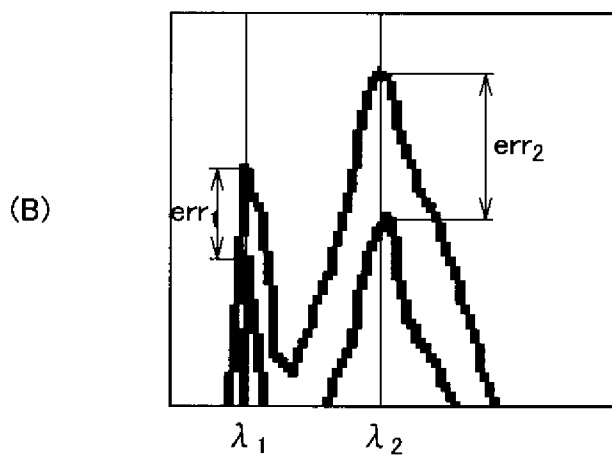
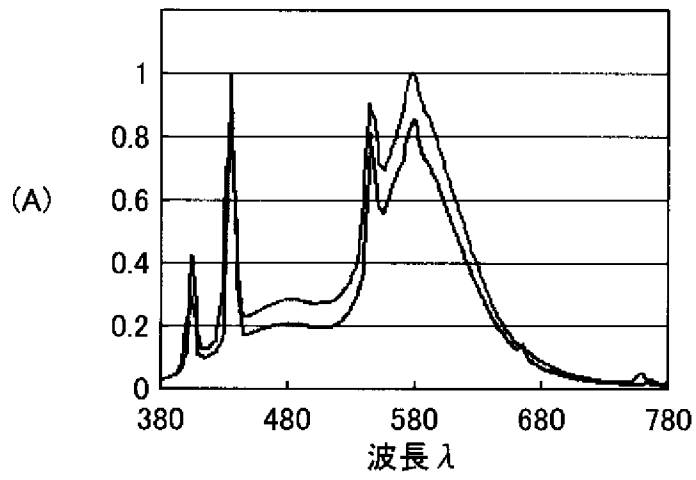
[図9]



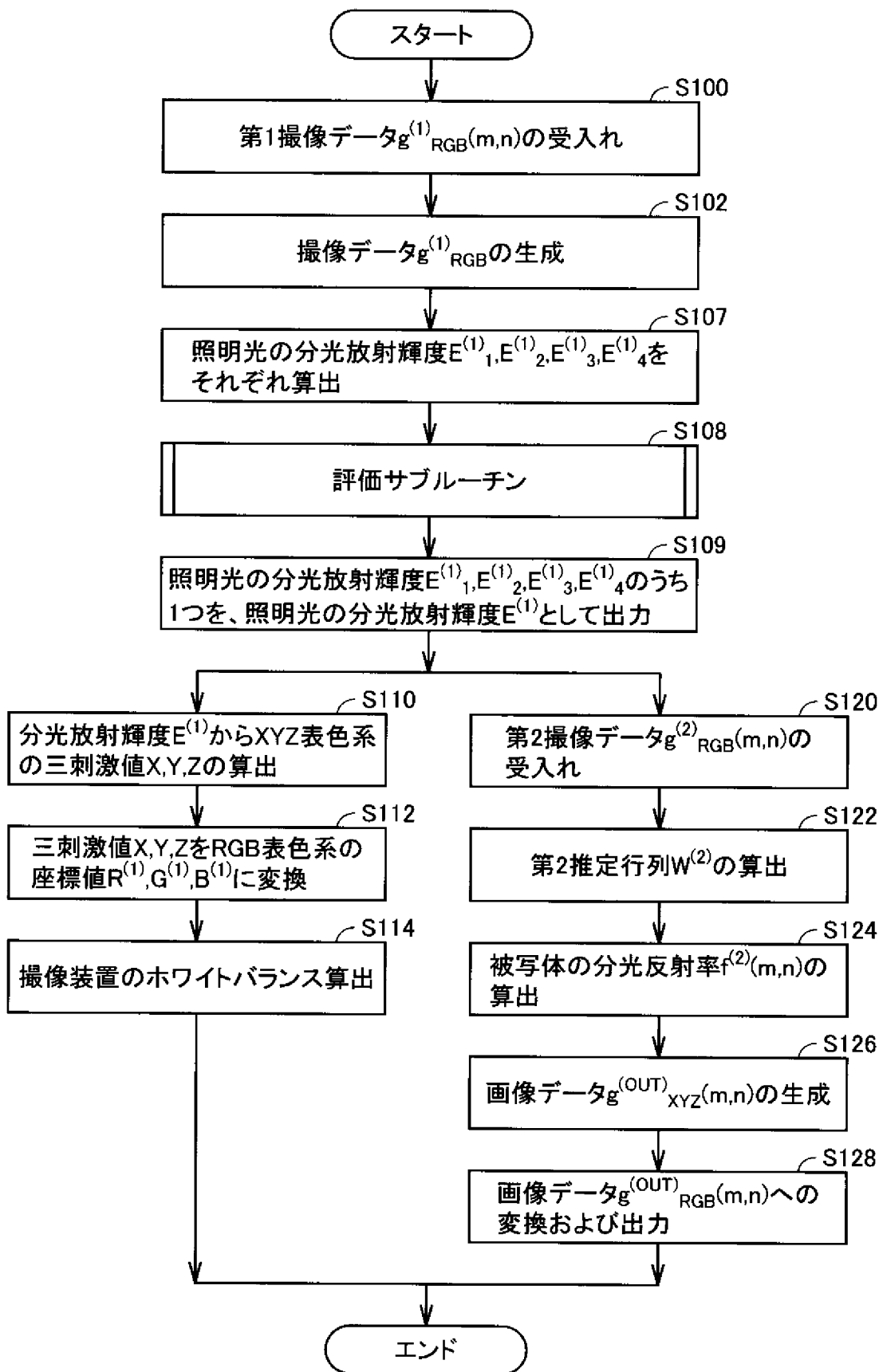
[図10]



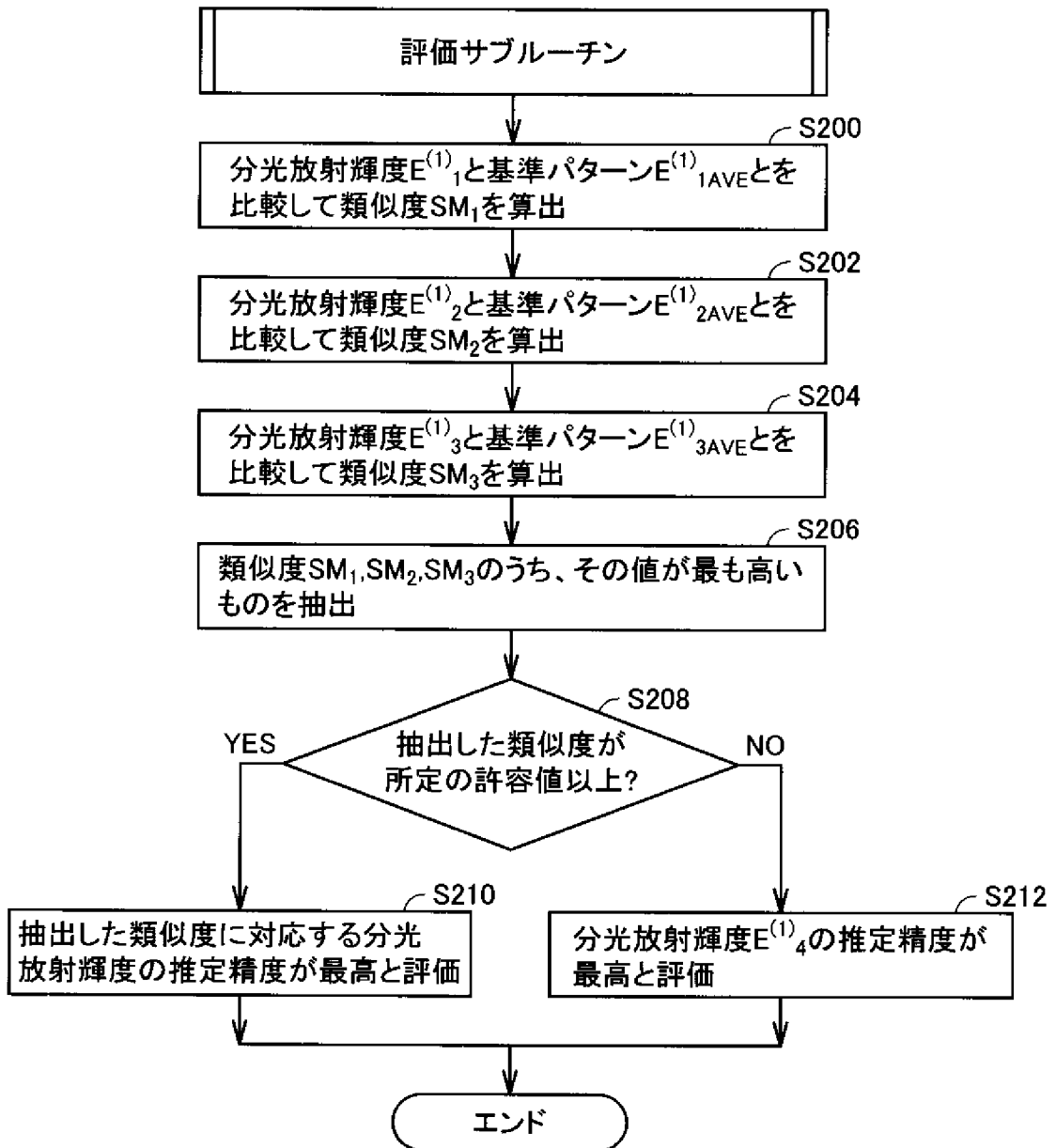
[図11]



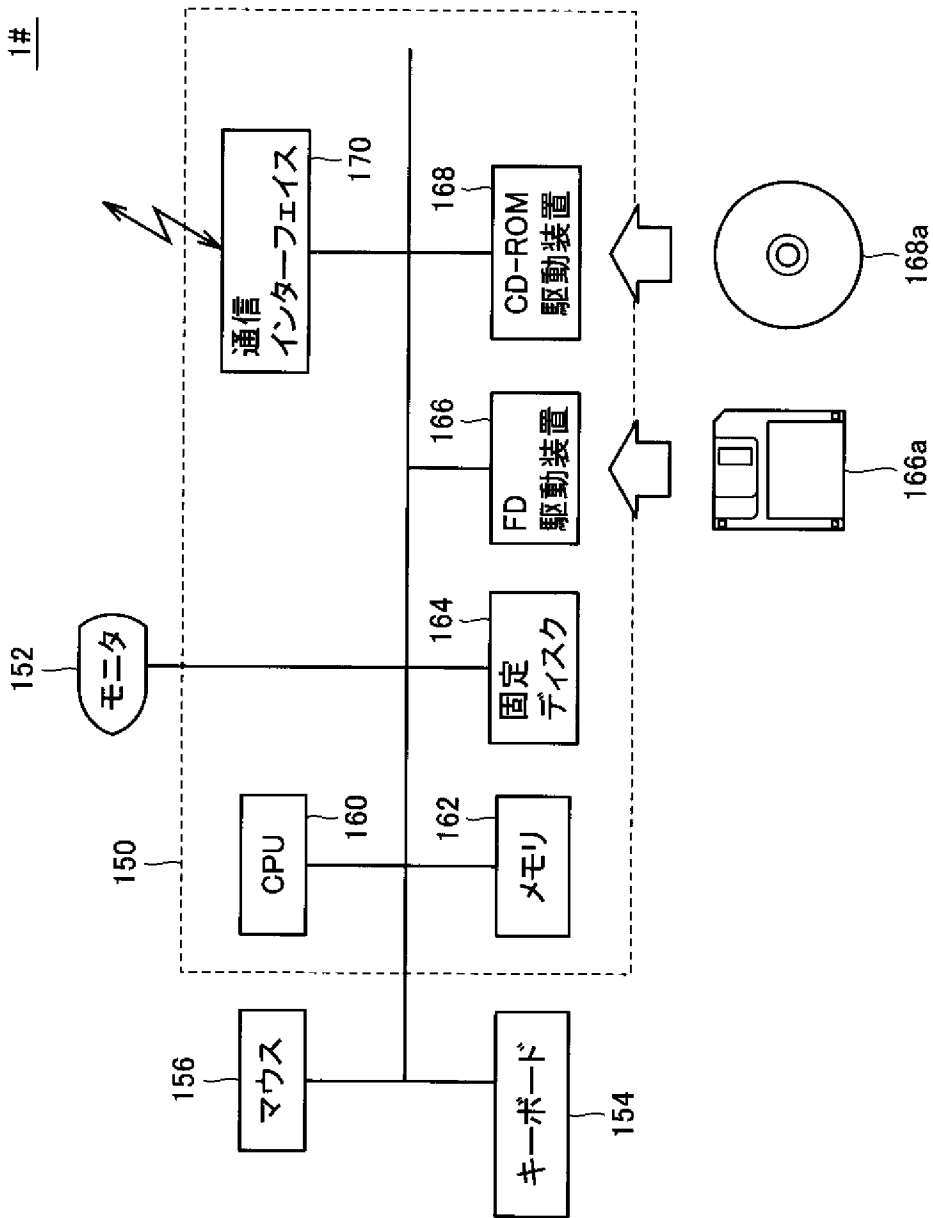
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/050453

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01J3/28 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01J3/00-G01J3/52, H04N9/04, G06T7/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Toshio UCHIYAMA et al., "Capture of natural illumination environments and spectral-based image synthesis", [IEICE Technical Report], Vol. 105, No.535, 12 January, 2006 (12.01.06), Pages 7 to 12	1-14
Y	JP 2002-344979 A (Minolta Co., Ltd.), 29 November, 2002 (29.11.02), Par. Nos. [0029], [0048] to [0054], [0056]	1-14
Y	JP 2005-202673 A (KDDI Corp.), 28 July, 2005 (28.07.05), Par. Nos. [0021] to [0027]	2, 8-10, 12-14

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
16 February, 2009 (16.02.09)

Date of mailing of the international search report
24 February, 2009 (24.02.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/050453

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	W.K. Platt, et. al., "Spectral estimation techniques for the spectral calibration of a color image scanner", APPLIED OPTICS, Vol.15, No.1, 1976.01, pp.73-75	2, 8-10, 12-14
Y	Masaharu TOMINAGA, "A Technique for Multi-band Imaging and Its Application to Vision", Transactions of Information Processing Society of Japan [ISSN: 0387-5806], Vol.47, No. SIG5 (CVIM13), 15 March, 2006 (15.03.06), pages 20 to 34	6-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2009/050453

JP 2002-344979 A 2002.11.29 (Family: none)

JP 2005-202673 A 2005.07.28 (Family: none)

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01J3/28(2006.01) i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01J3/00 - G01J3/52, H04N9/04, G06T7/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2009年
日本国実用新案登録公報	1996-2009年
日本国登録実用新案公報	1994-2009年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	内山俊郎 他, “マルチスペクトル撮影による光源環境計測とスペクトルに基づく画像生成 [Capture of natural illumination environments and spectral-based image synthesis]”, 電子情報通信学会技術研究報告 [IEICE Technical Report], Vol. 105, No. 535, 2006.01.12, pp. 7-12	1-14
Y	JP 2002-344979 A (ミノルタ株式会社) 2002. 11. 29, [0029], [0048]-[0054], [0056]	1-14

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

16. 02. 2009

国際調査報告の発送日

24. 02. 2009

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

高場 正光

電話番号 03-3581-1101 内線 3292

2W

2910

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2005-202673 A (K D D I 株式会社) 2005.07.28, [0021]-[0027]	2, 8-10, 12-14
Y	W.K. Platt, et. al., "Spectral estimation techniques for the spectral calibration of a color image scanner", APPLIED OPTICS, Vol.15, No.1, 1976.01, pp.73-75	2, 8-10, 12-14
Y	富永昌治, "マルチバンドイメージング技術とビジョン応用 [A Technique for Multi-band Imaging and Its Application to Vision]", 情報処理学会論文誌 [ISSN: 0387-5806], Vol.47, No. SIG5(CVIM13), 2006.03.15, pp.20-34	6-7

JP 2002-344979 A	2002. 11. 29	(ファミリーなし)	
-----	-----	-----	-----
JP 2005-202673 A	2005. 07. 28	(ファミリーなし)	
-----	-----	-----	-----