

(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2020-99694  
(P2020-99694A)

(43) 公開日 令和2年7月2日(2020.7.2)

| (51) Int.Cl.                | F I           | テーマコード (参考) |
|-----------------------------|---------------|-------------|
| <b>A61B 1/00 (2006.01)</b>  | A61B 1/00 511 | 2H052       |
| <b>A61B 1/04 (2006.01)</b>  | A61B 1/04 530 | 4C161       |
| <b>G06T 5/00 (2006.01)</b>  | A61B 1/00 731 | 5B057       |
| <b>G02B 21/36 (2006.01)</b> | G06T 5/00 730 |             |
|                             | G02B 21/36    |             |

審査請求 有 請求項の数 15 O L 外国語出願 (全 41 頁)

(21) 出願番号 特願2019-229332 (P2019-229332)  
 (22) 出願日 令和1年12月19日 (2019.12.19)  
 (31) 優先権主張番号 18214911.2  
 (32) 優先日 平成30年12月20日 (2018.12.20)  
 (33) 優先権主張国・地域又は機関  
 欧州特許庁 (EP)

(特許庁注：以下のものは登録商標)

1. HDMI

(71) 出願人 516114695  
 ライカ インストゥルメンツ (シンガポール) プライヴェット リミテッド  
 Leica Instruments (Singapore) Pte. Ltd  
 .  
 シンガポール国 シンガポール テバン  
 ガーデنز クレセント 12  
 12 Teban Gardens Cr  
 escent, Singapore 6  
 08924, Singapore

(74) 代理人 100114890  
 弁理士 アイゼル・フェリックス＝ライ  
 ンハルト

最終頁に続く

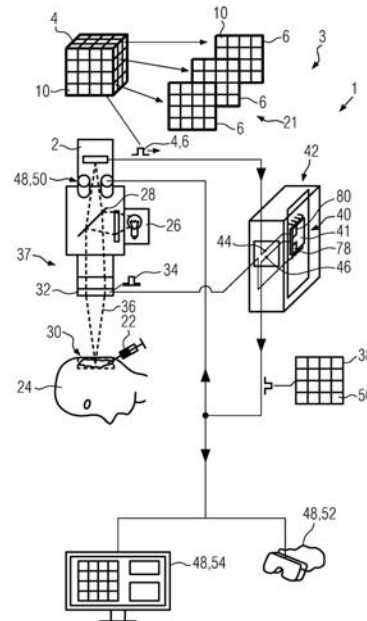
(54) 【発明の名称】 特に顕微鏡および内視鏡のための、蛍光発光性蛍光体のHDRモノクローム画像を作成するためのシステムおよび方法

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、蛍光発光性蛍光体を含んでいる対象物のデジタルカラー入力画像からHDR画像を計算する方法およびシステムに関する。

【解決手段】 入力画像は、少なくとも2つの異なるタイプのカラーセンサ、例えばR、GおよびBセンサを有するカラーカメラを使用して取得される。入力画像は、共通センシング波長帯域において記録され、ここでは少なくとも2つの異なるタイプのカラーセンサの異なる分光感度が重畳する。入力画像は、それぞれ、異なるタイプのセンサによって記録される少なくとも2つの異なるデジタルモノクローム入力画像を含んでいる。カラーカメラの入射光は、有利には調整可能な通過帯域を有する帯域通過フィルターを使用してフィルタリングされてよい。通過帯域は、共通センシング波長帯域を規定し、さらにカラーセンサの分光感度、蛍光体およびデジタルモノクローム入力画像の画像特性に応じて調整されてよい。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

蛍光スペクトル(82, 84)を有する蛍光体(22)のデジタル入力画像(4, 6)を処理する、特に顕微鏡または内視鏡のための、画像取得システム(1)であって、

前記画像取得システム(1)は、カラーカメラ(2)を含んでおり、

前記カラーカメラ(2)は、複数の入力ピクセル(10)での少なくとも2つの異なるタイプ(16, 17, 18)のカラーセンサ(8)を有しており、各タイプ(16, 17, 18)のカラーセンサ(8)は、入力ピクセル(10)を含んでいる異なるデジタルモノクローム入力画像(6)を生成し、異なる分光感度(58, 60, 62)を有しており、

前記カラーカメラ(2)は、さらに、少なくとも1つの共通センシング波長帯域(64, 66, 68)を含んでおり、前記共通センシング波長帯域において、少なくとも2つのタイプのカラーセンサの前記分光感度が重畳し、

前記画像取得システム(1)は、さらに、前記カラーカメラ(2)に結合されているHDR画像生成器(40)を含んでおり、

前記HDR画像生成器(40)は、少なくとも2つの前記デジタルモノクローム入力画像(6)からデジタルモノクロームHDR出力画像(38)を計算するように構成されている、

画像取得システム(1)。

**【請求項 2】**

前記画像取得システム(1)は、さらに、前記カラーカメラ(2)の前に配置されている光学的な帯域通過フィルター(32)を含んでおり、前記光学的な帯域通過フィルター(32)は、前記共通センシング波長帯域(64, 66, 68)を規定する通過帯域(34)を有している、

請求項1記載の画像取得システム(1)。

**【請求項 3】**

前記帯域通過フィルター(32)の前記通過帯域(34)は、前記蛍光体(22)の前記蛍光スペクトル(82, 84)に重畳している、

請求項2記載の画像取得システム(1)。

**【請求項 4】**

前記帯域通過フィルター(32)は、中心周波数、少なくとも1つのカットオフ周波数、ロールオフ(76)および帯域幅(75)およびQ値のうち少なくとも1つを含んでいる少なくとも1つのフィルター特性(77)に関して調整可能な通過帯域(34)を含んでいる、

請求項2または3記載の画像取得システム(1)。

**【請求項 5】**

前記画像取得システム(1)は、さらに、フィルターコントローラ(78)を含んでおり、前記フィルターコントローラ(78)は、前記HDR画像生成器(40)に結合され、前記デジタルモノクローム入力画像(6)および/または前記デジタルモノクロームHDR出力画像(38)の画像特性に応じて、前記帯域通過フィルター(32)の前記通過帯域(34)を変更する、

請求項4記載の画像取得システム(1)。

**【請求項 6】**

前記画像取得システム(1)は、さらに、コントロールループ(108)を含んでおり、前記コントロールループ(108)は、前記デジタルモノクローム入力画像(6)の少なくとも1つおよび/または前記デジタルモノクロームHDR出力画像(38)の画像特性に応じて、自動的に前記通過帯域(34)を変更する、

請求項4または5記載の画像取得システム(1)。

**【請求項 7】**

前記画像取得システム(1)は、さらに、メモリ部分(80)を含んでおり、前記メモ

10

20

30

40

50

り部分(80)は、前記カラーカメラ(2)の異なるタイプ(16, 17, 18)のカラーセンサ(8)の前記分光感度(58, 60, 62)の表示を含んでおり、

前記画像取得システム(1)は、前記分光感度(58, 60, 62)に応じて前記通過帯域(34)を自動的に調整するように構成されている、

請求項1から6までのいずれか1項記載の画像取得システム(1)。

【請求項8】

請求項1から7までのいずれか1項記載の画像取得システム(1)を含んでいる顕微鏡または内視鏡等の医療用観察装置(3)。

【請求項9】

それぞれ複数の入力ピクセル(10)を有している少なくとも2つのデジタルモノクローム入力画像(6)から少なくとも1つの蛍光発光性蛍光体(22)のデジタルモノクロームHDR出力画像(38)を作成する方法であって、前記方法は、

少なくとも2つの異なるタイプ(16, 17, 18)のカラーセンサ(8)を使用して前記蛍光発光性蛍光体(22)の少なくとも2つのデジタルモノクローム入力画像(6)を取得するステップであって、少なくとも2つの異なるタイプの前記カラーセンサは、異なる分光感度(58, 60, 62)を有しており、少なくとも1つの共通センシング波長帯域(64, 66, 68)を含んでおり、前記共通センシング波長帯域において、少なくとも2つのタイプのカラーセンサの前記分光感度が重畳するステップと、

前記共通センシング波長帯域と重畳する蛍光スペクトル(82, 84)を有する蛍光体(22)を選択するステップと、

少なくとも2つのデジタルモノクローム入力画像(6)からデジタルモノクロームHDR出力画像(38)を計算するステップと、  
を含んでいる方法。

【請求項10】

前記方法は、さらに、前記共通センシング波長帯域(64, 66, 68)と重畳する通過帯域(34)を有する光学的な帯域通過フィルター(32)を使用して、前記カラーセンサ(8)に向けられている前記蛍光体(22)からの蛍光光をフィルタリングするステップを含んでいる、

請求項9記載の方法。

【請求項11】

前記方法は、さらに、前記デジタルモノクロームHDR出力画像(38)におけるコントラストを増大するために、前記通過帯域(34)を変更するステップを含んでいる、

請求項9または10記載の方法。

【請求項12】

前記方法は、さらに、前記デジタルモノクローム入力画像(6)の少なくとも1つおよび/または前記デジタルモノクロームHDR出力画像(38)の画像特性に応じて、自動的に前記通過帯域(34)を変更するステップを含んでいる、

請求項11記載の方法。

【請求項13】

前記方法は、さらに、前記通過帯域(34)内の、前記少なくとも2つのタイプ(16, 17, 18)のカラーセンサ(8)の前記分光感度(58, 60, 62)の間の相違に応じて、前記通過帯域(34)を変更するステップを含んでいる、

請求項11または12記載の方法。

【請求項14】

前記方法は、さらに、前記少なくとも2つの異なるタイプ(16, 17, 18)のカラーセンサ(8)を使用して、少なくとも2つの前記デジタルモノクローム入力画像(6)を記録するステップを含んでいる、

請求項11から13までのいずれか1項記載の方法。

【請求項15】

請求項9から14までのいずれか1項記載の方法をコンピュータに実施させるプログラ

10

20

30

40

50

ムを格納している非一過性のコンピュータ可読媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、蛍光発光性蛍光体のHDRモノクローム画像を作成するためのシステムおよび方法に関する。

【背景技術】

【0002】

手術中または生検の病理検査中に、蛍光体は特定のタイプの組織、細胞または細胞の一部をマークするために使用される。蛍光体の蛍光は、蛍光体の蛍光励起スペクトルをカバーする光によってトリガされる。励起されると、蛍光体は蛍光スペクトルにある蛍光を放射する。蛍光スペクトルにおける光強度は典型的に低く、この結果、蛍光スペクトル内にはない全ての他の波長が阻止されている場合でも、蛍光画像のコントラストは低くなってしまふ。

【0003】

同じ画像内に強度が極めて低い領域と強度が極めて高い領域が共存している場合には、撮像センサのダイナミックレンジは、高い強度と低い強度の両方を捉えるのには不十分であろう。この結果、最も明るい強度および/または最も暗い強度に対する強度情報が失われてしまふ。このような場合には、最も低いレベルを下回る強度内の全ての領域は黒として提示され、最も高いレベルを上回る全ての強度は白として提示されるだろう。

【0004】

ダイナミックレンジが制限されてしまふという問題は、高い強度と低い強度が同時に示されるケースにおいてのみ生じるのではなく、高い強度と低い強度が順番に示されるケースにおいても生じる。このようなケースでは、カメラ感度を調整することによって、この問題が軽減されるだろうが、迅速な強度変化が、感度の調整によって十分に速く補償されることはないだろう。例えば、インドシアニングリーン(ICG)等の蛍光色素が蛍光血管造影のために静脈内に注入される場合、蛍光シグナルは始めは極めて暗く、その後、色素ポータスに達するとすぐに、シグナルは迅速に極めて高くなり、この結果、カメラ感度自動調整の遅延が原因で、飽和領域を伴う幾つかのフレームが生じてしまふ。

【0005】

撮像センサ(例えばCCD、CMOS)が高いノミナルダイナミックレンジを有している場合でも、これはしばしばデジタル化回路を参照し、センサの全体的なダイナミックレンジを反映しない。例えば、出力信号が14ビットの場合、つまり約16000個の異なる信号レベルの場合でも、センサは1000個の異なる光強度レベルしか区別することができない。典型的に、ダイナミックレンジは、異なる露光レベルで1つのセンサによって複数の画像を順に捕捉することによって増大する。したがって後続の各画像は、異なるダイナミックレンジを捕捉する。例えば1つの画像は低い強度用であり、別の画像は高い強度用である。次に、これらのダイナミックレンジが結合され、最も明るい領域と最も暗い領域の両方が1つの画像内で視覚化されるように、これらの画像が統合される。しかしこのような手法は、動画キャプチャーには使用不可能である。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

高い強度の蛍光画像と低い強度の蛍光画像が存在することによって、コントラストは低くなり、蛍光画像を記録するプロセスにおいて、有益な情報が失われてしまふ。このような情報を維持するために、高価な付加的な機器を使用することなく、ダイナミックレンジが増大された、動画に使用可能な蛍光画像を作成することが、本発明のシステムおよび方法の課題である。

【課題を解決するための手段】

【0007】

10

20

30

40

50

上記の課題を解決するために、本発明は、蛍光発光性蛍光体のデジタル入力画像を処理する、特に顕微鏡または内視鏡のための、画像取得システムと、少なくとも1つの蛍光体の少なくとも2つのデジタルモノクローム入力画像からデジタルモノクロームHDR蛍光画像を作成する方法を提示する。

【0008】

本発明では、画像取得システムはカラーカメラを含んでおり、このカラーカメラは、複数の入力ピクセルでの少なくとも2つの異なるタイプのカラーセンサを有しており、各タイプのカラーセンサは、入力ピクセルを含んでいる異なるデジタルモノクローム入力画像を生成し、異なる分光感度を有している。カラーカメラはさらに、少なくとも1つの共通センシング波長帯域を含んでおり、共通センシング波長帯域において、ピクセルでの少なくとも2つのセンサの各分光感度が重畳する。画像取得システムはさらに、カラーカメラに結合されているHDR画像生成器を含んでおり、ここでHDR画像生成器は、少なくとも2つのデジタルモノクローム入力画像からデジタルモノクロームHDR蛍光出力画像を計算するように構成されている。

10

【0009】

さらに、この方法は、少なくとも2つの異なるタイプのカラーセンサを使用して蛍光発光性蛍光体の少なくとも2つのデジタルモノクローム入力画像を取得するステップを含んでおり、少なくとも2つの異なるタイプのカラーセンサは、異なる分光感度を有しており、かつ少なくとも1つの共通センシング波長帯域を含んでおり、共通センシング波長帯域において、少なくとも2つのタイプのセンサの分光感度が重畳する。この方法はさらに、共通センシング波長帯域と重畳する蛍光スペクトルを有する蛍光体を選択するステップと、少なくとも2つのデジタルモノクローム入力画像からデジタルモノクロームHDR蛍光画像を計算するステップを含んでいる。

20

【0010】

したがって、本発明のシステムおよび方法は、例えば標準的なカラーカメラを使用することによって、蛍光発光性蛍光体のHDR画像を提供することができる。これは例えば、各ピクセルに対して、すなわちR（赤色）、G（緑色）およびB（青色）カラーセンサに対して3つの異なるタイプのカラーセンサを有するRGBカメラである。HDR画像は、各タイプのカラーセンサからの別個のモノクローム画像を取得することによって生成される。共通センシング波長帯域における異なるタイプのカラーセンサの異なる感度を使用することによって、HDR画像にとって必要な異なる露光レベルが自動的に生成される。

30

【0011】

上述のシステムおよび方法を、1つまたは複数の以降の付加的な特徴を加えることによってさらに改良することができる。これらの特徴の各々は、独立して加えることが可能であり、各々はそれ自体で有利である。以降に記載する付加的な特徴はそれぞれ、方法およびシステムの両方に適用することが可能である。

【0012】

例えば、有利にはデジタルモノクローム画像は少なくとも1つの共通センシング波長帯域においてのみ取得される。これによって、デジタルモノクローム入力画像が、異なる感度で、すなわち異なる平均強度レベルで記録されることが保証される。

40

【0013】

さらに、有利には、少なくとも2つの、有利には少なくとも3つの異なるタイプのカラーセンサの分光感度、特に平均分光感度は、少なくとも1つの共通センシング波長帯域において異なっている。

【0014】

別の実施形態に相応するシステムは、少なくとも1つの通過帯域を有する光学的な帯域通過フィルターを含んでいてよい。この帯域通過フィルターは、少なくとも1つの共通センシング波長帯域と蛍光波長帯域の両方に重畳している少なくとも1つの通過帯域を有している。このような帯域通過フィルターを使用することによって、適切な共通センシング波長帯域を選択することができ、ここでは少なくとも1つのカラーセンサの各分光感度は

50

、結果として生じるHDR画像のダイナミックレンジを高めるのに十分に異なっている。光学的な帯域通過フィルターは有利には、カラーカメラまたは異なるタイプのカラーセンサそれぞれに届く光をフィルタリングするために、カラーカメラの前に配置されている。

【0015】

有利には、光学的な帯域通過フィルターの通過帯域は、少なくとも2つの、有利には3つのカラーセンサの各々の分光感度が異なっている共通センシング波長帯域に制限されている。最も有利には、少なくとも2つまたは3つのカラーセンサの分光感度は、帯域通過フィルターの通過帯域において最大の相違を有する。最大の相違は、通過帯域におけるカラーセンサの平均分光感度から計算されてよい。平均分光感度は、幾何平均、算術平均および/または調和平均および/または中央値を使用して計算可能である。最大の相違は、通過帯域における各分光感度の間の相違の絶対値の総計を最大化すること、および/または相違および/または平均相違の積を最大化することによって計算されてよい。対応する所定の閾値を上回る分光感度および/または対応する所定の閾値を下回る分光感度、例えばダイナミックレンジの40%を上回る分光感度および/または90%を下回る分光感度だけが、最大の相違を計算するために、通過帯域において考察されてよい。

10

【0016】

さらに、複数のカラーセンサの複数の分光感度、特に上述のように計算された、分光感度の複数の平均値が、通過帯域において少なくとも近似的に等間隔で交互になっているのは有利である。分光感度の間の間隔は、リニアスケールまたは対数スケールで計算されてよい。±20%の変化は、依然として、等間隔として考察される。

20

【0017】

上述した特徴の各々は、デジタルモノクローム入力画像によってカバーされているダイナミックレンジを最大化することを可能にする。

【0018】

通過帯域は、ある実施形態では、少なくとも1つの蛍光体の蛍光スペクトルおよび共通センシング波長帯域における分光感度に応じて、手動で帯域通過フィルターを交換することによって調整されてよい。

【0019】

本発明の別の有利な実施形態では、通過帯域は、帯域通過フィルターを交換する必要なく、変更可能である。このために、帯域通過フィルターは、調整可能な帯域通過フィルターであってよい。調整可能な帯域通過フィルターは、通過帯域の中心周波数、通過帯域の少なくとも1つのカットオフ周波数、少なくとも1つのカットオフ周波数でのロールオフおよびQ値のうち少なくとも1つに関して調整可能な通過帯域を含んでいてよい。例えば、調整可能な光学的な帯域通過フィルターは、液晶フィルター、光ファイバーフィルターまたは干渉法に基づく調整可能な帯域通過フィルターであってよい。

30

【0020】

通過帯域は、画像取得システムの動作中に、有利には自動的に調整されてよい。通過帯域のこの種の自動的な調整のために、画像取得システムは、有利には、デジタルモノクローム入力画像および/またはデジタルモノクロームHDR出力画像の画像特性に応じて通過帯域を変えるフィルターコントローラを含んでいてよい。画像特性は、平均強度、強度ヒストグラム、強度の分散および蛍光発光性蛍光体のダイナミックレンジのうち少なくとも1つを含んでいてよい。

40

【0021】

ある実施形態では、通過帯域は、フィードバックループに基づいて自動的に変更されてよい。このようなフィードバックループにおける修正変数として、少なくとも2つのモノクローム入力画像の画像特性および/またはデジタルモノクロームHDR出力画像の画像特性が使用されてよい。例えば、通過帯域は、通過帯域における蛍光強度を最大化するために自動的に変更されてよい。通過帯域における蛍光強度は、少なくとも2つのデジタルモノクローム入力画像および/またはデジタルモノクロームHDR出力画像のうち少なくとも1つの平均または平均強度また輝度を特定することによって計算されてよい。

50

## 【0022】

択一的にまたは累積的に、通過帯域は、通過帯域における平均分光感度の間の相違を増大するために、例えばフィードバックループによって自動的に変更されてよい。このような相違は、少なくとも2つのデジタルモノクローム入力画像相互の平均強度を比較することによって特定されてよい。さらに、択一的または累積的に、通過帯域は、蛍光強度が最大レベルにある蛍光波長を含むために変更されてよい。このような波長は、多様な異なる蛍光体に対して格納されていてよい。

## 【0023】

別の実施形態では、通過帯域は、蛍光体に応じて自動的に変えられてよい。例えば、蛍光体のタイプが手動で入力され、通過帯域が自動的に調整されてよい。この種の調整は、例えば、経験的に特定され、画像取得装置内に格納されている蛍光体依存通過帯域に対する値を使用して行われてよい。

10

## 【0024】

上述の実施形態に対して別個にまたは付加的に使用され得る別の実施形態では、通過帯域は、デジタルモノクロームHDR蛍光出力画像がモノクローム入力画像の少なくとも幾つかの出力ピクセルにわたって平均最大ダイナミックレンジを有するように変更されてよい。

## 【0025】

択一的または累積的に、通過帯域は、カラーセンサのダイナミックレンジの中央にある少なくとも1つの分光感度を含むように変更されてよい。中央ダイナミックレンジは、全体のダイナミックレンジの $50\% \pm 15\%$ である。例えば、8ビットカラーセンサの1つのピクセルでの最大強度値が255である場合には、中央ダイナミックレンジは、 $128 \pm 38$ の強度値にある。

20

## 【0026】

通過帯域のこの種の自動調整を実行するために、画像取得システムのフィルターコントローラは、少なくとも1つのモノクローム入力画像の少なくとも幾つかのピクセルの平均強度を計算し、その強度に応じて通過帯域を変更するように構成されていてよい。択一的または付加的に、異なるタイプのカラーセンサの分光感度が、画像取得システム内に格納されていてよく、通過帯域を自動的に調整するために使用されてよい。画像取得システム、特にHDR画像生成器は、異なるタイプのカラーセンサの分光感度に応じて通過帯域を調整するように構成されていてよい。画像取得システム、特にHDR画像生成器は、分光感度の重畳を自動的に計算して、分光感度の重畳に少なくとも部分的に重畳するように、通過帯域を調整するように構成されていてよい。

30

## 【0027】

制限波長、すなわち共通センシング波長帯域の終端は手動で指定されてよく、通過帯域の自動調整は、この制限内に入るように制限されてよい。

## 【0028】

カラーカメラはRGBカメラ、CYGMカメラまたはRGBEカメラであってよい。カラーカメラは、モザイクフィルターアレイメント、例えばベイヤーフィルター、CYGMフィルター、RGBフィルターを含んでいてよく、かつ/またはこれはFoveonセンサアーキテクチャ、color co-site samplingアーキテクチャ、ダイクロックミラーおよび/または透過性回折フィルターアレイを含んでいてよい。カラーカメラは、マルチスペクトルカメラまたはハイパースペクトルカメラであってもよい。少なくとも2つの、有利には少なくとも3つの異なるタイプのカラーセンサが必要である。共通センシング帯域の数は有利には、異なるセンサタイプの数よりも1つ低い。各タイプのセンサは異なるカラーバンドを記録する。

40

## 【0029】

HDR画像生成器およびフィルターコントローラは、それぞれハードウェア機器として実装されていても、ソフトウェア機器として実装されていても、またはハードウェア機器とソフトウェア機器の両方の組み合わせとして実装されていてもよい。例えば、HDR画

50

像生成器および/またはフィルターコントローラは、少なくとも1つのCPU、少なくとも1つのGPUおよび/または少なくとも1つのASICおよび/または動作時に、必要な機能を実行するソフトウェアモジュールを含んでよい。動作時に、ソフトウェアがハードウェア機器に対して構造的な変化を生じさせてよく、これによってハードウェア機器がHDR画像生成器および/またはフィルターコントローラとして動作してよい、ということに留意されたい。このような動作上の変化は例えば、電子部品、例えばトランジスタおよびストレージ要素等の変化に関連し得る。

【0030】

ある実施形態では、少なくとも2つのデジタルモノクローム入力画像は1つのフレームの一部である。したがって少なくとも2つのデジタルモノクローム入力画像は実質的に同時に記録され、したがって、結果として生じるHDR出力画像においてモーションブラーは生じない。

10

【0031】

本発明は特に、上述した実施形態のうちの1つにおける画像取得システムを含んでいる、かつ/または上述した画像処理方法を実行するのに適した医療用観察装置、例えば顕微鏡または内視鏡に関連してよい。

【0032】

最後に、本発明は、上述した実施形態のいずれかに従った画像処理方法をコンピュータに実行させるプログラムを格納している非一過性のコンピュータ可読媒体に関する。

20

【0033】

以降では、本発明の例示的な実施形態を、図面を参照して説明する。図面では、機能および構造のうちの少なくとも1つに関して相互に一致する要素に同じ参照番号が付けられている。

【0034】

図面において示され、記載された特徴の組み合わせは、単に説明のために用いられ、図示および記載された組み合わせに本発明を制限するものではない。特に、1つまたは複数の上述した、自由選択的な特徴は、得られる技術的な作用が特定の用途に不要な場合には実施形態から省かれてよい、またその逆に、自由選択的であるとして上述された1つまたは複数の付加的な特徴が、この1つまたは複数の特徴の技術的な作用が特定の用途に対して必要である場合には、図示の実施形態に加えられてよい。

30

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】本発明に相応する画像取得システムの概略図である。

【図2】図1の画像取得システムにおいて使用されるカラーセンサの概略図である。

【図3】図1の画像取得システムにおいて使用される別のカラーセンサの概略図である。

【図4】図1の画像取得システムの帯域通過フィルターの通過帯域の概略図である。

【図5】図1の画像取得システムにおいて使用される種々のタイプのカラーセンサの分光感度、1つまたは複数の帯域通過フィルターの種々の通過帯域および蛍光体の種々の蛍光波長帯域の概略図である。

【図6】本発明の方法のフローチャートの概略図である。

40

【発明を実施するための形態】

【0036】

図1に示す本発明に相応する画像取得システム1はカラーカメラ2、例えばRGBカメラ、マルチスペクトルカメラまたはハイパースペクトルカメラを含んでよい。RGBカメラ2は典型的に、3つの異なるモノクローム画像6を含んでいるデジタルカラー入力画像4を記録する。デジタルモノクローム入力画像6の各々は、図2および図3に示されているように、異なるタイプのカラーセンサ8によって記録されたものである。各タイプのカラーセンサ8は、デジタルカラー入力画像4における入力ピクセル10での異なるカラーバンドを表している。各デジタル入力画像4、6は、2次元または一般的にはn次元の、例えば光強度を表すデジタル値のレイによって表されてよい。

50

## 【0037】

異なるデジタルモノクローム入力画像6は、例えばモザイクフィルターアレイ12、例えばベイヤーフィルター、CYGMフィルターまたはRGBEフィルターを提供することによって生成されてよい。単に例示の目的で、図2はRGBフィルターを示しており、ここでは、各ピクセル10で、2つの緑フィルター13、1つの赤フィルター14および1つの青フィルター15が、各カラーセンサ8の前に使用されている。緑フィルター13は可視の緑色の光のみを通過させ、赤フィルター14は可視の赤色の光のみを通過させ、青フィルター15は可視の青色の光のみを通過させる。したがって、3つの異なるタイプのセンサ16、17、18が提供され、各センサ16、17、18は、異なるカラーバンドにおける光に対して感度を有する。表現「カラーセンサのタイプ(type of color sensor)」は、異なるタイプ16、17、18のセンサ8の間に構造的な相違が存在することを必ずしも必要とせず、少なくとも機能的な相違を必要としてよく、すなわち各タイプ16、17、18のカラーセンサ8が異なる色または波長帯域を記録することを必要としてよい。

10

## 【0038】

図3は、カラーセンサ8の別の配置を示している。ここでは、異なるタイプ16、17、18のカラーセンサ8によってセンシングされた色が、表面20からのその深度によって特定される。可視光の侵入深度は波長に依存しているので、青色光は緑色光よりも浅く侵入し、緑色光は赤色光よりも浅く侵入する。したがって、カラーセンサ8は、各ピクセル10に対して相互に積み重ねられる。

20

## 【0039】

本発明は、少なくとも2つの異なるタイプ16、17、18のカラーセンサ8を有する、あらゆる構造に対して作用する。しかし、3つまたはそれよりも多くの異なるタイプのカラーセンサが有利である。有利には、異なるデジタルモノクローム入力画像6は、同じフレーム21の一部であり、すなわち、同時に撮影されたものである。

## 【0040】

画像取得システム1は、手術顕微鏡または内視鏡の場合のように、蛍光発光性蛍光体22(図1)、特に生体組織24内の蛍光体22の画像4、6を記録するように適応されている。択一的に、蛍光体22は、あらゆる他のタイプの顕微鏡または内視鏡と同様に、例えば細胞の一部を視覚化するための、比較的大きい倍率を有する実験用顕微鏡において使用されてもよい。

30

## 【0041】

画像取得システム1は光源26を含んでいてよく、光源は蛍光体22において蛍光をトリガする波長で光を生成する。光源26からの光28は、蛍光体22を含んでいる対象物30、例えば生体組織24へ向けられる。蛍光体22から放射される蛍光は、少なくとも2つのデジタルモノクローム入力画像6に、カラーカメラ2によって記録される。

## 【0042】

光源26は白色光も含んでいてよく、これによって可視光画像が同時に、蛍光光を含んでいる画像として記録され得る。可視光画像を取得するために、別のカメラ(図示されていない)が使用されてよく、これは、光学的なフィルターアレイ(図示されていない)によって蛍光励起および放射帯域から分離されており、したがってこれらの波長は可視光画像において記録されない。

40

## 【0043】

このような場合には、カラーカメラ2は、蛍光画像を記録するためだけに設けられていてよく、光源26の励起波長とあらゆる白色光の両方から、帯域通過フィルター32によって分離されていてよい。帯域通過フィルター32は、複数の光学的なフィルターのうちの1つを含んでいてよく、これによって、組み合わせにおいて結果として、図4および図5に概略的に示されているように、通過帯域34内の波長のみが帯域通過フィルターを通過することができる。ここでは帯域通過フィルターの透過率Tが種々の波長に対して示されている。択一的に、マルチスペクトルカメラまたはハイバースペクトルカメラが使用

50

されてよく、これは、相応する数の異なるタイプのカラーセンサを使用して、複数の、例えば少なくとも4つの波長帯域における白色光および蛍光画像を同時に記録する。各デジタルモノクローム入力画像6は、異なるタイプのカラーセンサによって記録される。

【0044】

帯域通過フィルター32は、カメラ2も含んでいる画像取得システム1の光学的な取得システム37の光路36においてカメラ2の前に配置されている。内視鏡が使用される場合、光路は光ファイバー（図示されていない）を通じて対象物30へ向けられる。

【0045】

デジタルモノクロームHDR出力画像38を計算するために、画像取得システム1はHDR画像生成器40を含んでいる。これは汎用コンピュータ42のCPU等であるハードウェア機器41であってよく、かつ/または画像取得システムはGPU、FPUおよび/またはASICを含んでいてよい。択一的または累積的に、HDR画像生成器40は、ソフトウェアモジュールから構成されていてよい、またはソフトウェアモジュールを含んでいてよい。デジタルカラー入力画像4またはデジタルモノクローム入力画像6はそれぞれ、入力インタフェース44を介して、HDR画像生成器40へ入力されてよく、入力インタフェースは、例えばRGB、HDMI、DVIまたは、画像または動画データを伝送するのに適した他の入力フォーマットを受容するように構成されていてよい。

【0046】

デジタルモノクローム出力画像38は、出力インタフェース46を用いた、同じまたは異なる画像フォーマットにおいて出力されてよい。

【0047】

HDR画像生成器40は、少なくとも2つのデジタルモノクローム入力画像6から、デジタルモノクロームHDR出力画像38を計算するように適応されている。デジタルモノクロームHDR出力画像38は、少なくとも1つの表示機器48、例えばアイピース50、ARゴーグル52またはモニター54に表示される。あらゆるデジタルカラー入力画像のように、デジタルモノクローム入力画像6およびデジタルモノクロームHDR出力画像38は立体画像であってよく、1つまたは複数の表示機器48も立体表示機器であってよい。

【0048】

HDR画像生成器40は、出力ピクセル56での強度値に応じて、デジタルモノクロームHDR出力画像38を可視光画像と混合するように、かつ/または疑似カラーをデジタルモノクロームHDR出力画像38に割り当てるように適応されていてよい。

【0049】

デジタル入力画像4、6およびデジタルモノクロームHDR出力画像38が、結果として動画シーケンスになる、時間的に連続した入力画像および出力画像の一部であってよい、ということに留意されたい。各デジタルモノクロームHDR出力画像38は有利には、HDR画像生成器40によってリアルタイムに計算および出力され、あらゆる表示機器48によってリアルタイムに表示される。さらに、デジタルモノクロームHDR出力画像38がデジタルモノクローム入力画像6に基づいているということがこの明細書において述べられる場合、これは、1つまたは複数のタイプのカラーセンサ8の2つ以上のモノクローム入力画像6が平均化されて、結果的に1つのデジタルモノクローム入力画像6になり、これが次に、デジタルモノクロームHDR出力画像38を計算するために使用されるケースも含んでいる。

【0050】

デジタルモノクロームHDR出力画像38の計算を、図5を参照してより詳細に記載する。

【0051】

図5の最も上の部分では、RGBカメラの例示的なケースにおける種々のタイプ16、17、18のカラーセンサ8（図2および図3）の分光感度Rが参照番号58、60、62によって示されており、波長に関連して示されている。示されている分光感度Rは、

10

20

30

40

50

共通の最大値  $R_{max}$  に規準化されている。曲線 60 は、赤色の可視光スペクトルからの光をセンシングするカラーセンサ 8 の分光感度を示している。曲線 58 は、緑色の可視光スペクトルからの光をセンシングするカラーセンサ 8 の分光感度を示している。曲線 62 は、青色の可視光スペクトルからの光をセンシングするカラーセンサ 8 の分光感度を示している。全ての分光感度  $R$  は、概略的に示されているだけであり、正規化されている。

#### 【0052】

図 5 の最も上の部分には、共通センシング波長帯域 64、66、68 の例も示されている。共通センシング波長帯域 64、66、68 では、少なくとも 2 つのタイプ 16、17、18 のカラーセンサ 8 の分光感度 58、60、62 は重畳している。例えば、共通センシング波長帯域 64 では、青色のカラーセンサ 18 の分光感度 62 と、緑色のカラーセンサ 16 の分光感度 58 が重畳している。共通センシング波長帯域 64 内の波長を有する光に対しては、青色のセンサ 18 および緑色のセンサ 16 の両方が信号を生じさせることになる。赤色のカラーセンサ 17 の分光感度 60 は、共通センシング波長帯域 64 では無視してよい。

10

#### 【0053】

さらに、共通センシング波長帯域 64 では、あるタイプ 16 のカラーセンサの平均分光感度 70 は、別のタイプ 18 のカラーセンサの平均分光感度 74 とは異なっている。平均分光感度 70 は、平均化のためのあらゆる手法、例えば幾何平均値、算術平均値および / または調和平均値または各共通センシング波長帯域 64、66、68 内の各分光感度 58、60、62 の中央値によって計算可能である。有利には、少なくとも 2 つのタイプのカラーセンサ、有利には少なくとも 3 つのタイプのカラーセンサの平均分光感度 70、72、74 は異なっている。

20

#### 【0054】

共通センシング波長帯域 66 では、分光感度 58、60、62 は重畳しており、共通センシング波長帯域 66 内の波長によって照明される場合に各カラーセンサ 8 は、信号を生じさせるだろう。ここでも、参照番号 70、72、74 は平均分光強度を示している。共通センシング波長帯域 68 では、関連する平均分光強度 70、72 および 74 は、共通センシング波長帯域 66 に比べてシフトされている。したがって、図 5 の最も上の部分から、例えば中心周波数または少なくとも 1 つのカットオフ周波数によって特定されるように、共通センシング波長帯域の位置および / または幅を変えることによって、平均分光感度 70、72、74 が調整されてよいことが明らかである。この依存性は、異なるタイプのセンサによって記録されたカラーバンドが共通センシング波長帯域に制限されている場合に、デジタルモノクローム入力画像 6 から計算されたデジタルモノクローム HDR 出力画像 38 のダイナミックレンジを最大化するために使用されてよい。

30

#### 【0055】

例えば、共通センシング波長帯域は、平均分光感度 70、72、74 が少なくとも近似的に、リニアスケールまたは対数スケールにおいて等間隔で間隔が空けられているように選択されていてよい。ここでは、後続する平均分光感度 70、72、74 の間の相違の  $\pm 20\%$  の変化は、依然として、等間隔と見なされる。

#### 【0056】

択一的または累積的に使用され得る別の手法では、正規化されたスペクトル感度の約半分  $R_{0.5}$  に、少なくとも 1 つの平均スペクトル感度 70、72、74 がある共通センシング波長帯域が選択される。ここでも、 $R_{0.5}$  に相対的に  $\pm 20\%$  の変化は、依然として、 $R_{0.5}$  に相当すると考察される。

40

#### 【0057】

さらに、再び、択一的または累積的に、共通センシング波長帯域は、平均分光感度 70、72、74 の間の相違が、選択された共通センシング波長帯域において最大であるようにシフトされてよい。相違のこのような最大化は、平均スペクトル感度の間の相違の総計、積またはあらゆる他の基準を最大化することによって実行されてよい。

#### 【0058】

50

本出願において使用されているように、あるタイプのカラーセンサの分光感度は、特定の波長での入射光に対するその応答を表している。分光感度は、特に、光学的な入力に対する電氣的な出力の比に関してよく、すなわち、このタイプのカラーセンサの光学的な波長依存特性を含んでいるだけでなく、その電氣的な特性および電子的な特性も含んでいる。しかし、最低限、分光感度は、各タイプのカラーセンサの光学的な特性に関係している。

**【0059】**

共通センシング波長帯域64、66、68を作成および/または調整するために、有利には帯域通過フィルター32(図1)が使用される。通過帯域34は、異なるタイプのカラーセンサがデジタルモノクローム入力画像6を記録する共通センシング波長帯域を定める。

10

**【0060】**

例えば、共通センシング波長帯域64、66、68または図5に示されていないあらゆる他の共通センシング波長帯域が、帯域通過フィルター32を手動で交換し、異なる通過帯域34を有するカラーセンサ8への入射光をフィルタリングすることによって選択されてよい。図5の中央部分には、3つの異なる通過帯域34が示されており、これらは、異なる帯域通過フィルター32を使用することによって選択されてよい。有利には、1つの通過帯域34だけが一度に使用される。当然、あらゆる他の通過帯域34が選択されてよい。これは、少なくとも2つの無視できないまたはゼロではない分光感度58、60および/または62が存在し、つまり結果として共通センシング波長帯域になる波長帯域と、このような他の通過帯域が重畳する、つまり同時に発生する場合に限る。

20

**【0061】**

しかし、帯域通過フィルター32が調整可能な帯域通過フィルター32であるのは有利である。これは、以降のフィルター特性77のうち少なくとも1つが変更可能であることを意味する。フィルター特性は、上方のカットオフ周波数または同様に下方のカットオフ波長 $f_L$ 、上方のカットオフ周波数または下方のカットオフ波長 $f_U$ 、中心周波数または中心波長 $f_C$ 、帯域幅75(図4)「Q値」、すなわち帯域幅75によって分けられた中心周波数および/またはフィルターのロールオフ76、すなわちカットオフ波長 $f_L$ 、 $f_U$ での減衰または上述のものに加えられる、あらゆる他のフィルター特性77である。

30

**【0062】**

調整可能な帯域通過フィルター32を使用することによって、デジタルモノクロームHDR出力画像38(図1)に対して最良の結果をもたらす、特に、最大のコントラストをもたらす共通センシング波長帯域64、66、68を選択するために通過帯域34を迅速に調整することが可能になる。

**【0063】**

さらに、調整可能な帯域通過フィルター32が使用される場合、あらゆるフィルター特性77の自動的な調整、特にフィードバックコントロールが、例えばフィルターコントローラ78(図1)を使用して実現されてよい。これは、HDR画像生成器40の一部またはCPUまたはASIC等の別個の電子コンポーネントおよび/またはソフトウェアコンポーネントであってよい。

40

**【0064】**

このようなフィードバックコントロールの例として、HDR画像生成器40は、各デジタルモノクローム入力画像6および/またはデジタルモノクロームHDR出力画像38内のダイナミックレンジを計算するように構成されていてよく、このダイナミックレンジを最大化するために、フィルター特性77の少なくとも1つを調整してよい。このために、HDR画像生成器40はメモリ部分80(図1)を含んでいてよく、ここに、図5の最上の部分に示されているように、分光感度曲線58、60、62を表すルックアップテーブルが格納されている。通過帯域34での異なるタイプのカラーセンサの分光感度を照合することによって、フィルターコントローラ78は、例えば固定されたフィルター帯域幅74のために、帯域通過フィルター32の調整可能なレンジ内の共通センシング波長帯域

50

の位置を計算してよい。これは、デジタルモノクロームHDR出力画像38および/またはあらゆるデジタルモノクローム入力画像6において、所与の入力画像4、6に対してコントラストを最大化する。それに従って、通過帯域34の自動的な適合が実行されていてよい他の基準は上述されており、これは例えば平均分光感度の間の相違を最大化することである。

#### 【0065】

図5の最も下の部分では、2つの異なる蛍光体22の蛍光スペクトル82、84が概略的に示されている。例えば、共通センシング波長帯域68において、両方の蛍光体22の蛍光強度Fが低くなるのが見て取れるだろう。蛍光スペクトル84を有する蛍光体の場合には、共通センシング波長帯域70を使用するのが最も良い。なぜなら、これは、蛍光放射が最大になる波長 $F$ と一致するからである。これは、デジタルモノクロームHDR出力画像38において極めて高いコントラストを生じさせるだろう。

10

#### 【0066】

蛍光スペクトル82を有する蛍光体の場合には、共通センシング波長帯域64および66の両方が良好な結果をもたらし得る。しかし、共通センシング波長帯域64が蛍光スペクトル82からの $F$ を含んでいるとはいえ、2つのカラーセンサだけの信号が使用されてよい。なぜなら、赤色のカラーセンサ17の平均感度60はこの共通センシング波長帯域64においてはゼロまたは無視できるものだからである。したがって、デジタルモノクローム入力画像6および/またはデジタルモノクロームHDR出力画像38の画像特性に応じて、通過帯域34を共通センシング波長帯域66にシフトさせることが有利であり得る。

20

#### 【0067】

これは、最適な結果に達するために、蛍光体が、異なるタイプのカラーセンサの分光感度に応じて選択されてもよい、ということを示す。特に、蛍光体は、使用可能な共通センシング波長帯域において強い蛍光を有しているべきであり、これと同時に、異なるタイプのカラーセンサは、十分に異なる分光感度を有しているべきである。

#### 【0068】

図6は、対象物30における蛍光のデジタルモノクローム入力画像6を使用したデジタルモノクロームHDR出力画像38を得るためのプロセスの外観を提供している。

#### 【0069】

自由選択的なステップ90において、蛍光体22が選択され、その蛍光スペクトル82、84は、共通センシング波長帯域と重畳している。このステップは、少なくとも2つのカラーセンサ8が十分に大きい出力信号を生成するだろう波長帯域において生成された十分な蛍光強度が存在することを保証する。

30

#### 【0070】

さらに、ステップ90では、その通過帯域34が、有利には蛍光体の蛍光スペクトルよりも狭い共通センシング波長帯域を規定する帯域通過フィルター32が選択されてよい。

#### 【0071】

次のステップ92では、蛍光励起光が、蛍光体22における蛍光をトリガするために提供される。

40

#### 【0072】

次に、ステップ94では、蛍光体によって放射された蛍光が、有利には、あらゆる反射光に沿って、帯域通過フィルター32によってフィルタリングされ、これによって、共通センシング波長帯域がそれに制限される。

#### 【0073】

ステップ96では、デジタルモノクローム入力画像6が、有利には少なくとも2つのカラーチャネルに対して、最も有利にはカラーカメラ2の各カラーチャネルに対して取得される。デジタルモノクローム入力画像6は有利には同時に、すなわち同じフレーム21の一部として、または同じデジタルカラー入力画像4として取得される。画像4、6は立体画像であってよい。

50

## 【 0 0 7 4 】

ステップ 9 8 では、デジタルモノクローム H D R 出力画像 3 8 が、デジタルモノクローム入力画像 6 から計算される。デジタルモノクローム H D R 出力画像 3 8 は三次元画像または立体画像であってよい。

## 【 0 0 7 5 】

ステップ 1 0 0 では、デジタルモノクローム H D R 出力画像 3 8 が、少なくとも 1 つの表示機器 4 8 に表示される。

## 【 0 0 7 6 】

デジタルモノクローム H D R 出力画像 3 8 が、十分なコントラストを示さない場合、ステップ 1 0 2 において新たな帯域通過フィルター 3 2、新たな通過帯域 3 4 および / または新たな蛍光体 2 2 が選択されてよい。調整可能な帯域通過フィルター 3 2 が使用される場合、新たな通過帯域 3 4 の計算が手動で、この段階でトリガされてよい。ステップ 1 0 2 は、デジタルモノクローム H D R 画像 3 8 が表示されるときにいつでも実行されてよい。

10

## 【 0 0 7 7 】

ステップ 1 0 4 では、少なくとも 1 つのデジタルモノクローム入力画像 6 および / またはデジタルモノクローム H D R 出力画像 3 8 における画像パラメータ、例えばダイナミックレンジが計算されてよい。付加的にまたは択一的に、現下の共通センシング波長帯域における平均分光感度の位置が定められてよい。ここから、かつ、例えばカメラにおいて使用されている異なるタイプのカラーセンサの分光感度を表すルックアップテーブルを使用することによって、デジタルモノクローム H D R 出力画像 3 8 においてコントラストを最大化するフィルター特性 7 7 を有する通過帯域 3 4 が計算される。必要なフィルター特性 7 7 が、帯域通過フィルター 3 2 を手動で選択するため、または調整可能な帯域通過フィルター 3 2 を手動で調整するためにユーザーに表示されてよい。フィルター特性が、通過帯域 3 4 を調整するために、フィルターコントローラ 7 8 に対して電子のかつ自動的に、伝えられてもよい。

20

## 【 0 0 7 8 】

ステップ 1 0 6 では、帯域通過フィルター 3 2 は、新たなフィルター特性 7 7 を示すために自動的に調整される、または手動で交換される。ステップ 1 0 4 および 1 0 6 は最適な通過帯域 3 4 を自動的に調整するためのフィードバックコントロール 1 0 8 を確立する。

30

## 【 0 0 7 9 】

上述したステップはリアルタイムで実行可能であり、したがって、デジタルモノクローム H D R 出力画像 3 8 の計算は、動画シーケンスまたはストリームのフレームレートで実行可能である。

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 8 0 】

- 1 画像取得システム
- 2 カラーカメラ
- 3 医療用観察装置
- 4 デジタルカラー入力画像
- 6 デジタルモノクローム入力画像
- 8 カラーセンサ
- 1 0 入力ピクセル
- 1 2 モザイクフィルターアレンジメント
- 1 3 緑フィルター
- 1 4 赤フィルター
- 1 5 青フィルター
- 1 6 緑色のセンサ
- 1 7 赤色のセンサ

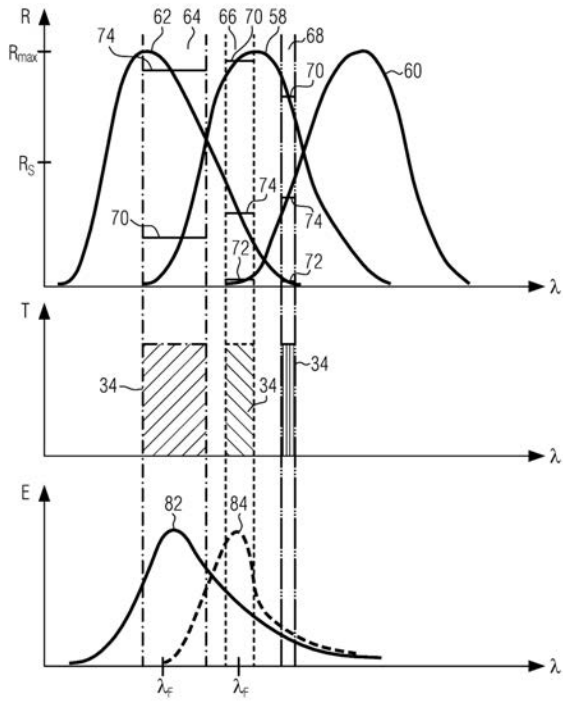
40

50

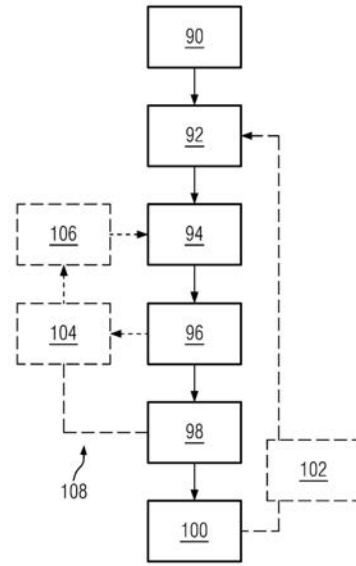
|       |                   |    |
|-------|-------------------|----|
| 1 8   | 青色のセンサ            |    |
| 2 0   | 表面                |    |
| 2 1   | フレーム              |    |
| 2 2   | 蛍光体               |    |
| 2 4   | 生体組織              |    |
| 2 6   | 光源                |    |
| 2 8   | 光源からの光            |    |
| 3 0   | 対象物               |    |
| 3 2   | 帯域通過フィルター         |    |
| 3 4   | 通過帯域              | 10 |
| 3 6   | 光路                |    |
| 3 7   | 光学的な取得システム        |    |
| 3 8   | デジタルモノクロームHDR出力画像 |    |
| 4 0   | HDR画像生成器          |    |
| 4 1   | ハードウェア機器          |    |
| 4 2   | 汎用コンピュータ          |    |
| 4 4   | 入力インタフェース         |    |
| 4 6   | 出力インタフェース         |    |
| 4 8   | 表示機器              |    |
| 5 0   | アイピース             | 20 |
| 5 2   | ARゴーグル            |    |
| 5 4   | モニター              |    |
| 5 6   | 出力ピクセル            |    |
| 5 8   | 異なるカラーセンサの分光感度    |    |
| 6 0   | 異なるカラーセンサの分光感度    |    |
| 6 2   | 異なるカラーセンサの分光感度    |    |
| 6 4   | 共通センシング波長帯域       |    |
| 6 6   | 共通センシング波長帯域       |    |
| 6 8   | 共通センシング波長帯域       |    |
| 7 0   | 平均分光感度            | 30 |
| 7 2   | 平均分光感度            |    |
| 7 4   | 平均分光感度            |    |
| 7 5   | 帯域幅               |    |
| 7 6   | ロールオフ             |    |
| 7 7   | フィルター特性           |    |
| 7 8   | フィルターコントローラ       |    |
| 8 0   | メモリ部分             |    |
| 8 2   | 蛍光スペクトル           |    |
| 8 4   | 蛍光スペクトル           |    |
| 9 0   | プロセスステップ          | 40 |
| 9 2   | プロセスステップ          |    |
| 9 4   | プロセスステップ          |    |
| 9 6   | プロセスステップ          |    |
| 9 8   | プロセスステップ          |    |
| 1 0 0 | プロセスステップ          |    |
| 1 0 2 | プロセスステップ          |    |
| 1 0 4 | プロセスステップ          |    |
| 1 0 6 | プロセスステップ          |    |
| 1 0 8 | フィードバックコントロールループ  |    |
| R     | 分光感度              | 50 |



【 図 5 】



【 図 6 】



## フロントページの続き

(74)代理人 100098501

弁理士 森田 拓

(74)代理人 100116403

弁理士 前川 純一

(74)代理人 100135633

弁理士 二宮 浩康

(74)代理人 100162880

弁理士 上島 類

(72)発明者 ゲオルゲ テメリス

ドイツ連邦共和国 リンダウ イム キュアツェネン 5

Fターム(参考) 2H052 AA09 AF14 AF21 AF25

4C161 BB08 LL01 MM05 PP01 PP04 RR04 RR14 TT03 WW17

5B057 CA08 CA12 CA16 CB08 CB12 CB16 CE08 CE11

【 外国語明細書 】

### **System and Method, in Particular for Microscopes and Endoscopes, for Creating HDR Monochrome Images of a Fluorescing Fluorophore**

The invention relates to a system and a method for creating HDR monochrome images of  
5 a fluorescing fluorophore.

During surgery or during a pathological examination of a biopsy, fluorophores are used to mark specific types of tissue, cells or parts of a cell. The fluorescence of a fluorophore is triggered by light covering the fluorescence excitation spectrum of the fluorophore. Upon excitation, the fluorophore emits fluorescence in a fluorescence spectrum. Light intensities  
10 in the fluorescence spectrum are typically low, resulting in low-contrast fluorescence images even if all other wavelengths not falling within the fluorescence spectrum are blocked.

When within the same image areas of very low and very high intensity coexist, then the dynamic range of the imaging sensor might not be sufficient to capture both high and low intensities. This results in losing the intensity information for the brightest, or/and darkest intensities. In that case all areas with intensity below the lowest level will be presented as black and all intensities above the highest level will be presented as white.  
15

The problem of limited dynamic range does not only occur in cases that high and low intensities are exhibited simultaneously, but also sequentially. In such cases the adjustment of the camera sensitivity could mitigate the problem, but rapid intensity changes might not be able to be compensated fast enough by adjustment of the sensitivity. For example, when fluorescence dye, such as indocyanine green (ICG), is injected intravenously for fluorescence angiography, then the fluorescence signal will be start as very dark, and then upon the arrival of the dye bolus, the signal will become  
20 rapidly very high, resulting in a few frames with saturated areas due to the delay of the camera sensitivity auto-adjustment.  
25

Even when the imaging sensor (e.g. CCD, CMOS) has high nominal dynamic range, this often refers to digitization circuit and does not reflect the overall dynamic range of the sensor. For example, even if the output signal is 14 bit, i.e. ~16K different signal levels,

the sensor can only distinguish 1000 different light intensity levels. Typically, the dynamic range is increased by capturing multiple images sequentially with a single sensor at different exposure levels so that each subsequent image captures a different dynamic range, e.g. one image for the low intensities, and another for the high intensities. The images are then merged in a way that the dynamic ranges are combined and both the brightest and darkest areas are visualized in a single image. This approach, however, cannot be used for video capture.

The presence of high and low intensity of the fluorescence images results in a low contrast and the loss of valuable information in the process of recording the fluorescence image. To retain this information, it is the objective of the system and method according to the invention to create fluorescence images which have an increased dynamic range without the use of expensive additional equipment and which can be used for video.

To solve this problem, the invention provides an image acquisition system, in particular for a microscope or endoscope, for processing digital input images of a fluorescing fluorophore, and a method for creating a digital monochrome HDR fluorescence image from at least two digital monochrome input images of at least one fluorophore.

According to the invention, the image acquisition system comprises a color camera, the color camera having at least two different types of color sensor, a plurality of input pixels, each type of color sensor generating a different digital monochrome input image comprising the input pixels and having a different spectral responsivity, the color camera further comprising at least one co-sensing wavelength band in which the respective spectral responsivities of at least two sensors at a pixel overlap; and an HDR image generator coupled to the color camera; wherein the HDR image generator is configured to compute a digital monochrome HDR fluorescence output image from the at least two digital monochrome input images.

Further, the method comprises the steps of acquiring at least two digital monochrome input images of the fluorescing fluorophore using at least two different types of color sensor, the at least two different types of color sensor having a different spectral responsivity and comprising at least one co-sensing wavelength band in which the spectral responsivities of the at least two types of sensor overlap, selecting the fluorophore to have a fluorescence spectrum which overlaps with the co-sensing

wavelength band; and computing a digital monochrome HDR fluorescence image from the at least two digital monochrome input images.

Thus, the system and method according to the invention are able to provide an HDR image of the fluorescing fluorophore by using e.g. a standard color camera, such as an  
5 RGB camera that has three different types of color sensor for each pixel, namely an R (red), a G (green) and a B (blue) color sensor. The HDR images are generated by acquiring a separate monochrome image from each type of color sensor. By using the different responsivities of the different types of color sensor in the co-sensing wavelength band, the different exposure levels necessary for an HDR image are generated  
10 automatically.

The above system and method can be further improved by adding one or more of the following additional features, of which each can be added independently of the other, and each is advantageous on its own. The additional features described below may each be applied to both the method and the system.

15 For example, it is preferred that the digital monochrome images are acquired only in the at least one co-sensing wavelength band. This makes sure that the digital monochrome input images are recorded at different responsivities, i.e. at a different mean intensity level.

Further, it is preferred that the spectral responsivities, in particular the mean spectral  
20 responsivities, of at least two, preferably at least three, different types of color sensor differ in the at least one co-sensing wavelength band.

The system may, according to another embodiment, comprise an optical band-pass filter having at least one pass band, the at least one pass band overlapping both the at least one co-sensing wavelength band and the fluorescence wavelength band. Use of such a  
25 band-pass filters allows the proper co-sensing wavelength band to be selected, where the respective spectral responsivities of the at least color sensors are sufficiently different to enhance the dynamic range of the resulting HDR image. The optical band-pass filter is preferably located in front of the color camera for filtering light reaching the color camera, or the different types of color sensor, respectively.

Preferably, the pass band of the optical band-pass filter is restricted to a co-sensing wavelength band in which the spectral responsivity of each of the at least two, preferably three, color sensors is different. Most preferably, the spectral responsivities of the at least two or three color sensors have their maximum difference in the pass band of the band-pass filter. The maximum difference may be computed from the mean spectral responsivity of the color sensor in the pass band. The mean spectral responsivity can be computed by using the geometric, arithmetic and/or harmonic mean, and/or the median. The maximum difference may be computed by maximizing the sum of the absolute values of the differences between each of the spectral responsivities in the pass band, and/or by maximizing the product of the differences and/or the mean difference. Only those spectral responsivities that are located above and/or below a corresponding predetermined threshold – e.g. above 40% and/or below 90% of the dynamic range – may be considered in the pass band for computing the maximum difference.

Further, it may be advantageous if the spectral responsivities of the color sensors, in particular their mean values as calculated above, are staggered at least approximately equidistantly in the pass band. The distance between the spectral responsivities may be computed linearly or in a log scale. Variation of +/- 20% may still be considered as equidistant.

Each of the above features allows the dynamic range covered by the digital monochrome input images to be maximized.

The pass band may, in one embodiment, be adjusted depending on the fluorescence spectrum of the at least one fluorophore and the spectral responsivities in the co-sensing wavelength band by exchanging the band-pass filter manually.

According to another preferred embodiment of the invention, the pass band may be modified without the need to exchange the band-pass filter. For this, the band-pass filter may be a tunable band-pass filter. The tunable band-pass filter may comprise a tunable pass band which is tunable with respect to at least one of a center frequency of the pass band, at least one cut-off frequency of the pass band, a roll-off at at least one cut-off frequency, and a Q-factor. For example, the tunable optical band-pass filter may be a liquid crystal filter, a fiber-optic filter or a tunable band-pass filter based on interferometry.

The pass band may be adjusted during operation of the image acquisition system, preferably automatically. For such an automatic adjustment of the pass band, the image acquisition system may comprise a filter controller for changing the pass band, preferably depending on an image characteristic of the digital monochrome input images and/or the digital monochrome HDR output image. The image characteristic may comprise at least one of a mean intensity, an intensity histogram, a variance of the intensity and a dynamic range of the fluorescing fluorophore.

According to one embodiment, the pass band may be changed automatically based on a feedback loop. As a correcting variable in such a feedback loop, an image characteristic of the at least two monochrome input images and/or the digital monochrome HDR output image may be used. For example, the pass band may be automatically modified to maximize fluorescence intensity in the pass band. The fluorescence intensity in the pass band may be computed by determining an average or mean intensity or brightness of at least one of the at least two digital monochrome input images and/or the digital monochrome HDR output image.

Alternatively or cumulatively, the pass band may be automatically modified, e.g. by the feedback loop, to increase the difference between the mean spectral responsivities in the pass band. Such a difference may be determined by comparing the mean intensity of the at least two digital monochrome input images with one another. Further, alternatively or cumulatively, the pass band may be modified to include the fluorescence wavelength at which the fluorescence intensity is at its maximum level. Such wavelengths may be stored for a variety of different fluorophores.

In another embodiment, the pass band may be changed automatically depending on the fluorophore. For example, the type of fluorophore may be entered manually and the pass band may be adjusted automatically. Such an adjustment may be made using e.g. values for fluorophore-dependent pass bands that have been determined empirically and are stored in the image acquisition apparatus.

In another embodiment, which may be used separately or in addition to the above embodiments, the pass band may be modified for the digital monochrome HDR fluorescence output image to have a mean maximum dynamic range across at least some output pixels of the monochrome input images.

Alternatively or cumulatively, the pass band may be modified to include at least one spectral responsivity located in the middle of a dynamic range of a color sensor. The middle dynamic range is at 50% +/- 15% of the overall dynamic range. If e.g. the maximum intensity value at one pixel of an 8-bit color sensor is 255, the middle dynamic range is at an intensity value of 128 +/- 38.

For performing such an automatic adjustment of the pass band, the filter controller of the image acquisition system may be configured to compute a mean intensity of at least some pixels of at least one monochrome input image, and to modify the pass band depending on that intensity. Alternatively or additionally, the spectral responsivities of the different types of color sensor may be stored in the image acquisition system and used to automatically adjust the pass band. The image acquisition system, in particular the HDR image generator, may be configured to adjust the pass band depending on the spectral responsivities of the different types of color sensor. The image acquisition system, in particular the HDR image generator, may be configured to automatically compute an overlap of the spectral responsivities and to adjust the pass band to at least partly overlap the overlap of the spectral responsivities.

The limiting wavelengths, i.e. the ends, of the co-sensing wavelength band may be specified manually and the automatic adjustment of the pass band may be limited to fall within these limits.

The color camera may be an RGB camera, a CYGM camera or an RGBE camera. The color camera may include a mosaic filter arrangement, such as a Bayer filter, a CYGM filter, an RGB filter and/or it may comprise a Foveon sensor architecture, a color co-site sampling architecture, dichroic mirrors and/or a transparent diffractive filter array. The color camera may also be a multi-spectral or hyper-spectral camera. At least two different types of color sensor are required, preferably at least three. The number of co-sensing bands is preferably one lower than the number of different sensor types. Each type of sensor records a different color band.

The HDR image generator and the filter controller may each be implemented as a hardware device, as a software device, or as a combination of both a hardware and a software device. For example, the HDR image generator and/or the filter controller may comprise at least one CPU, at least one GPU and/or at least one ASIC, and/or a software

module which in operation carries out the required function. It is to be noted that, in operation, the software may cause structural changes to the hardware device so that the latter may operate as an HDR image generator and/or a filter controller. These operational changes may e.g. relate to changes of electronic component such as transistors and storage elements.

According to one embodiment, the at least two digital monochrome input images are part of a single frame. The at least two monochrome input images are thus recorded at substantially the same time, so that there is no motion blurring in the resulting HDR output image.

10 The invention in particular may relate to a medical observation apparatus, such as a microscope or an endoscope, comprising an image acquisition system in one of the above embodiments and/or adapted to carry out the above-described image processing method.

Finally, the invention relates to a non-transitory computer-readable medium storing a program causing a computer to execute the image processing method according to any of the above embodiments.

In the following, an exemplary embodiment of the invention is described with reference to the drawings. In the drawings, elements that correspond to one another with respect to at least one of function and structure are provided with the same reference numerals.

The combination of features shown and described in the figures is used for explanation only and does not limit the invention to the combination shown and described. In particular, one or more of the above-described optional features may be omitted from the embodiment if the technical effect obtained is not needed for a particular application; and vice versa: one or more additional features described as optional above may be added to the shown embodiment if the technical effect of that one or more features is needed for a particular application.

In the figures:

Fig. 1 shows a schematic rendition of an image acquisition system according to the invention;

- Fig. 2 shows a schematic rendition of a color sensor as used in the image acquisition system of Fig. 1;
- Fig. 3 shows a schematic rendition of another color sensor as used in the image acquisition system of Fig. 1;
- 5 Fig. 4 shows a schematic rendition of a pass band of a band-pass filter of the image acquisition system of Fig. 1;
- Fig. 5 shows a schematic rendition of spectral responsivities of different types of color sensor, various pass bands of one or more band-pass filters and various fluorescence wavelength bands of fluorophores as used in the image acquisition system of Fig. 1; and
- 10 Fig. 6 shows a schematic representation of a flowchart for the method according to the invention.

An image acquisition system 1 according to the invention may comprise a color camera 2, such as an RGB camera, a multispectral camera or a hyperspectral camera. An RGB camera 2 typically records a digital color input image 4 comprising three different monochrome images 6. Each of the digital monochrome input images 6 has been recorded by a different type of color sensor 8, as shown in Figs. 2 and 3. Each type of color sensor 8 represents a different color band at an input pixel 10 in the digital color input image 4. Each of the digital input images 4, 6 may be represented by a two- or, generally, n-dimensional array of digital values representing e.g. light intensity.

15

20

The different digital monochrome input images 6 may be generated by e.g. providing a mosaic filter arrangement 12 such as a Bayer filter, a CYGM filter or an RGBE filter. Only for exemplary purposes, Fig. 2 shows an RGB filter where, at each pixel 10, two green filters 13, a red filter 14 and a blue filter 15 are used in front of each color sensor 8. The green filter 13 allows only visible green light to pass through it, the red filter 14 only visible red light and the blue filter 15 only visible blue light. Thus, three different types of sensor 16, 17, 18 are provided, with each sensor 16, 17, 18 being sensitive to light in a different color band. The expression "*type of color sensor*" does not necessarily require a structural difference to exist between the different types 16, 17, 18 of sensor 8, but may require at

25

least a functional difference, namely that each type 16, 17, 18 of color sensor 8 records a different color or wavelength band.

Fig. 3 shows another arrangement of color sensors 8. Here, the color sensed by the different types 16, 17, 18 of color sensor 8 is determined by its depth from a surface 20.

5 As the penetration depth of the visible light depends on the wavelength, blue light penetrates less deeply than green light, and green light penetrates less deeply than red light. Thus, the color sensors 8 are stacked one above the other for each pixel 10.

The invention works for any of these configurations having at least two different types 16, 17, 18 of color sensor 8. However, three or more different types of color sensor are  
10 preferred. Preferably, the different digital monochrome input images 6 are part of the same frame 21, i.e. have been taken simultaneously.

The image acquisition system 1 is adapted to record images 4, 6 of a fluorescing fluorophore 22 (Fig. 1), in particular of a fluorophore 22 in live tissue 24 as is the case in surgical microscopes or endoscopes. Alternatively the fluorophore 22 may also be used in  
15 a laboratory microscope having a larger magnification, e.g. to visualize parts of a cell, as well as in any other type of microscope or endoscope.

The image acquisition system 1 may comprise a light source 26 which generates light at wavelengths that trigger fluorescence in the fluorophore 22. The light 28 from the light source 26 is directed onto an object 30 containing the fluorophore 22, such as the live  
20 tissue 24. The fluorescence emitted from the fluorophore 22 is recorded by the color camera 2 in the at least two digital monochrome input images 6.

The light source 26 may also include white light so that a visible-light image can be recorded at the same time as the image containing the fluorescence light. To acquire a visible-light image, another camera (not shown) may be used which is decoupled by an  
25 optical filter arrangement (not shown) from the fluorescence excitation and emission bands, so that these wavelengths are not recorded in the visible-light images.

In this case, the color camera 2 may be solely devoted to recording fluorescence images and may be decoupled from both the excitation wavelengths of the light source 26 and any white light by a band-pass filter 32. The band-pass filter 32 may comprise one of more  
30 optical filters which, in combination, result in only wavelengths that fall within a pass band

34 being able to pass through the band-pass filter, as shown schematically in Figs. 4 and 5, where transmittivity  $T$  of the band-pass filter is shown for different wavelengths  $\lambda$ . Alternatively, a multispectral or hyperspectral camera may be used which simultaneously records white-light and fluorescence images in a plurality of, e.g. at least four, wavelength bands using a corresponding number of different types of color sensor. Each digital monochrome input image 6 is recorded by a different type of color sensor.

The band-pass filter 32 is located in front of the camera 2 in an optical path 36 of an optical acquisition system 37 of the image acquisition system 1, which may also comprise the camera 2. If an endoscope is used, the optical path is directed through an optical fiber (not shown) to the object 30.

For computing digital monochrome HDR output images 38, the image acquisition system 1 comprises an HDR image generator 40, which may be a hardware device 41, such as a CPU of a general-purpose computer 42, and/or may comprise a GPU, FPU and/or an ASIC. Alternatively or cumulatively, the HDR image generator 40 may consist of or comprise a software module. The digital color input image 4 or the digital monochrome input image 6, respectively, may be input into the HDR image generator 40 via an input interface 44, which may be configured to accept e.g. RGB, HDMI, DVI or other input formats suitable for transmitting image or video data.

The digital monochrome output image 38 may be output in the same or in a different image format using an output interface 46.

The HDR image generator 40 is adapted to compute the digital monochrome HDR output image 38 from at least two of the digital monochrome input images 6. The digital monochrome HDR output image 38 is displayed on at least one display device 48, such as an eyepiece 50, AR goggles 52 or a monitor 54. As any of the digital color input image, the digital monochrome input image 6 and the digital monochrome HDR output images 38 may be stereoscopic, one or more of the display devices 48 may also be stereoscopic.

The HDR image generator 40 may be adapted to blend the digital monochrome HDR output image 38 with a visible-light image and/or to assign a pseudo-color to the digital monochrome HDR output image 38 depending on the intensity value at an output pixel 56.

It is to be noted that the digital input images 4, 6 and the digital monochrome HDR output image 38 may be part of a time-series of input and output images which result in a video sequence. Each digital monochrome HDR output image 38 is preferably computed and output in real-time by the HDR image generator 40, and displayed in real-time by any of the display devices 48. Moreover, if it is stated in this description that the digital monochrome HDR output image 38 is based on the digital monochrome input images 6, this also includes cases in which two or more monochrome input images 6 of one or more types of color sensor 8 may be averaged to result in a single digital monochrome input image 6 which is then used to compute the digital monochrome HDR output image 38.

10 The computation of the digital monochrome HDR output image 38 is described in closer detail with reference to Fig. 5.

In the topmost part of Fig. 5, the spectral responsivities  $R$  of the different types 16, 17, 18 of color sensor 8 (Figs. 2 and 3) in the exemplary case of an RGB camera are denoted with reference numerals 58, 60, 62, and shown to be dependent on the wavelength  $\lambda$ . The spectral responsivities  $R$  shown have been normalized to a common maximum value  $R_{\max}$ . The curve 60 denotes the spectral responsivity of the color sensor 8 sensing light from the red visible-light spectrum. The curve 58 shows the spectral responsivity of the color sensor 8 sensing light from the green visible-light spectrum. The curve 62 denotes the spectral responsivity of the color sensor 8 sensing light from the blue visible-light spectrum. All spectral responsivities  $R$  are shown schematically only and have been normalized.

Also shown in the topmost part of Fig. 5 are examples of co-sensing wavelength bands 64, 66, 68. In a co-sensing wavelength band 64, 66, 68, the spectral responsivities 58, 60, 62 of at least two types 16, 17, 18 of color sensor 8 overlap. For example, in co-sensing wavelength band 64, the spectral responsivity 62 of the blue color sensor 18 and the spectral responsivity 58 of the green color sensor 16 overlap. For light having wavelengths that fall with the co-sensing wavelength band 64, both the blue sensor 18 and the green sensor 16 will yield a signal. The spectral responsivity 60 of the red color sensor 17 is negligible in co-sensing wavelength band 64.

30 Moreover, in co-sensing wavelength band 64, the mean spectral responsivity 70 of the one type 16 of color sensor is different from the mean spectral responsivity 74 of the other

type 18 of color sensor. The mean spectral responsivity 70 can be calculated by any procedure for averaging, such as the geometric, arithmetic and/or harmonic mean value or the median of the respective spectral responsivity 58, 60, 62 within the respective co-sensing wavelength band 64, 66, 68. Preferably, the mean spectral responsivities 70, 72, 74 of at least two types of color sensor, preferably of at least three types of color sensor, are different.

In co-sensing wavelength band 66, the spectral responsivities 58, 60, 62 overlap so that each color sensor 8 will yield a signal if illuminated with wavelengths that fall within the co-sensing wavelength band 66. Again, reference numerals 70, 72, 74 denote the mean spectral responsivities. In co-sensing wavelength band 68, the relative mean spectral responsivities 70, 72 and 74 have shifted compared to co-sensing wavelength band 66. From the top of Fig. 5, it is therefore clear that, by changing the location and/or width – as e.g. determined by the center frequency or at least one cut-off frequency – of a co-sensing wavelength band, the mean spectral responsivities 70, 72, 74 may be adjusted. This dependency may be used to maximize the dynamic range of a digital monochrome HDR output image 38 computed from the digital monochrome input images 6 if the color bands recorded by the different types of sensor are restricted to a co-sensing wavelength band.

For example, the co-sensing wavelength band may be selected such that the mean spectral responsivities 70, 72, 74 are, at least approximately, equidistantly spaced in a linear or log scale. Hereby, variations of +/- 20% of the difference between subsequent mean spectral responsivities 70, 72, 74 still count as equidistant.

In another approach, which can be used alternatively or cumulatively, a co-sensing wavelength band is selected where there is at least one mean spectral responsivity 70, 72, 74 at approximately half the normalized spectral responsivity  $R_{0.5}$ . Again, a variation of +/- 20% relative to  $R_{0.5}$  is still considered to correspond to  $R_{0.5}$ .

Further, again alternatively or cumulatively, the co-sensing wavelength band may be shifted so that the differences between the mean spectral responsivities 70, 72, 74 are maximized in the chosen co-sensing wavelength band. Such a maximization of the differences may be performed by maximizing the sum, product or any other norm of the differences between the mean spectral responsivities.

As used in this application, the spectral responsivity of a type of color sensor is representative of its response to incident light at a specific wavelength  $\lambda$ . The spectral responsivity may specifically relate to the ratio of the electrical output per optical input, i.e. not only include the optical wavelength-dependent properties of the type of color sensor, but also its electrical and electronic properties. At the very least, however, the spectral responsivity relates to the optical properties of the respective type of color sensor.

For creating and/or adjusting the co-sensing wavelength band 64, 66, 68, the band-pass filter 32 (Fig. 1) is preferably used. The pass band 34 defines the co-sensing wavelength band in which the different types of color sensor record the digital monochrome input images 6.

For example, a co-sensing wavelength band 64, 66, 68, or any other co-sensing wavelength band not shown in Fig. 5, may be selected by exchanging the band-pass filter 32 manually and thus filtering the light incident on the color sensor 8 with a different pass band 34. In the middle section of Fig. 5, three different pass bands 34 are shown which may be selected by using different band-pass filters 32. Preferably, only one pass band 34 is used at any one time. Of course, any other pass band 34 may be selected, as long as it overlaps, i.e. coincides, with a wavelength band in which there are at least two non-negligible or non-zero spectral responsivities 58, 60 and/or 62, i.e. results in a co-sensing wavelength band.

It is, however, preferred that the band-pass filter 32 is a tunable band-pass filter 32. This means that at least one of the following filter characteristics 77 may be modified: the upper cut-off frequency or, equivalently, the lower cut-off wavelength  $\lambda_l$ ; the upper cut-off frequency or lower cut-off wavelength  $\lambda_u$ ; the center frequency frequency or center wavelength  $\lambda_c$ ; the bandwidth 75 (Fig. 4) the Q-factor, i.e. the center frequency divided by the bandwidth 75, and/or the filter roll-off 76, i.e. the attenuation at the cut-off wavelengths  $\lambda_l$ ,  $\lambda_u$ ; or any other filter characteristic 77 in addition to the above.

Using a tunable band-pass filter 32 allows the pass band 34 to be quickly adjusted in order to select a co-sensing wavelength band 64, 66, 68 which yields the best results, in particular maximum contrast, for the digital monochrome HDR output image 38 (Fig. 1).

Moreover, if a tunable band-pass filter 32 is used, an automatic adjustment, in particular a feedback control, of any of the filter characteristics 77 may be implemented using e.g. a

filter controller 78 (Fig. 1), which may be part of the HDR image generator 40 or be a separate electronic component such as a CPU or an ASIC and/or be a software component.

As an example of such a feedback control, the HDR image generator 40 may be  
5 configured to compute the dynamic range within each of the digital monochrome input images 6 and/or of the digital monochrome HDR output image 38 and adjust at least one of the filter characteristics 77 to maximize this dynamic range. For this, the HDR image generator 40 may comprise a memory section 80 (Fig. 1) in which a look-up table representative of the spectral responsivity curves 58, 60, 62, as shown e.g. in the topmost  
10 part of Fig. 5, is stored. By looking up the spectral responsivities of the different types of color sensor at a pass band 34, the filter controller 78 may compute, e.g. for a fixed filter bandwidth 74, a position of a co-sensing wavelength band within the tunable range of the band-pass filter 32 that maximizes contrast in the digital monochrome HDR output image 38 and/or any of the digital monochrome input images 6 for a given input image 4, 6.  
15 Other criteria according to which an automatic adaptation of the pass band 34 may be carried out have been explained above, such as maximizing the difference between the mean spectral responsivities.

In the bottom part of Fig. 5, the fluorescence spectra 82, 84 of two different fluorophores 22 are shown schematically. It can be seen that, for example in co-sensing wavelength  
20 band 68, the fluorescence intensity  $F$  of both fluorophores 22 will be low. For the fluorophore having fluorescence spectrum 84, it is best to use the co-sensing wavelength band 70 because it coincides with the wavelength  $\lambda_F$  where the fluorescence emission is at its maximum. This will lead to a very high contrast in the digital monochrome HDR output image 38.

25 In the case of the fluorophore having fluorescence spectrum 82, both the co-sensing wavelength bands 64 and 66 may lead to good results. However, although co-sensing wavelength band 64 includes  $\lambda_F$  from fluorescence spectrum 82, the signal of only two color sensors may be used, as the mean responsivity 60 of the red color sensor 16 is zero or negligible in this co-sensing wavelength band 64. Therefore, depending on the image  
30 characteristics of the digital monochrome input images 6 and/or the digital monochrome HDR output image 38, shifting the pass band 34 to a co-sensing wavelength band 66 may be preferable.

This demonstrates that the fluorophore may also be selected depending on the spectral responsivities of the different types of color sensor to achieve optimum results. In particular, the fluorophore should have a strong fluorescence in the available co-sensing wavelength bands and, at the same time, that the different types of color sensor should  
5 have sufficiently different spectral responsivities.

Fig. 6 provides an overview of the process for obtaining a digital monochrome HDR output image 38 using the digital monochrome input images 6 of the fluorescence in the object 30.

In optional step 90, a fluorophore 22 is selected, of which the fluorescence spectrum 82, 84 overlaps with a co-sensing wavelength band. This step ensures that there will be sufficient fluorescence intensity generated in a wavelength band, in which at least two  
10 color sensors 8 will produce a sufficiently large output signal.

Further, in step 90, a band-pass filter 32 may be selected, of which the pass band 34 defines a co-sensing wavelength band which is preferably narrower than the fluorescence  
15 spectrum of the fluorophore.

In the next step 92, the fluorescence excitation light is provided to trigger the fluorescence in the fluorophore 22.

Next, in step 94, the fluorescence emitted by the fluorophore, preferably along with any reflected light, is filtered by the band-pass filter 32 in order to restrict it to the co-sensing  
20 wavelength band.

In step 96, digital monochrome input images 6 are acquired, preferably for at least two, most preferably for each color channel of color camera 2. The digital monochrome input images 6 are preferably acquired at the same time, i.e. as part of the same frame 21 or the same digital color input image 4. The images 4, 6 may be stereoscopic.

25 In step 98, the digital monochrome HDR output image 38 is computed from the digital monochrome input images 6. The digital monochrome HDR output image 38 may be three-dimensional or stereoscopic.

In step 100, the digital monochrome HDR output image 38 is displayed on at least one display device 48.

If the digital monochrome HDR output image 38 does not exhibit satisfactory contrast, a new band-pass filter 32, a new pass band 34 and/or a new fluorophore 22 may be chosen in step 102. If a tunable band-pass filter 32 is used, computation of a new pass band 34 may be manually triggered at this stage. Step 102 may be carried out at any time once a  
5 digital monochrome HDR image 38 is displayed.

In step 104, an image parameter, such as the dynamic range in at least one of the digital monochrome input images 6 and/or of the digital monochrome HDR output image 38 may be computed. In addition or alternatively, the location of the mean spectral responsivities in the current co-sensing wavelength band may be determined. From this, and by e.g.  
10 using a look-up table representing the spectral responsivities of the different types of color sensor used in the camera, a pass band 34 having filter characteristics 77 that maximize the contrast in the digital monochrome HDR output image 38 is computed. The required filter characteristics 77 may be displayed for a user to manually select a band-pass filter 32 or manually adjust a tunable band-pass filter 32. The filter characteristics may also be  
15 communicated electronically and automatically for the filter controller 78 to adjust the pass band 34.

In step 106, the band-pass filter 32 is automatically adjusted or exchanged manually to exhibit to the new filter characteristics 77. Steps 104 and 106 establish a feedback control 108 for automatically adjusting the optimum pass band 34.

20 The above steps can be performed in real-time so that the computation of the digital monochrome HDR output image 38 can be performed at the frame rate of a video sequence or stream.

## REFERENCE NUMERALS

|    |    |  |
|----|----|--|
|    | 1  | image acquisition system                             |
|    | 2  | color camera   |
|    | 3  | medical observation apparatus                        |
| 5  | 4  | digital color input image                            |
|    | 6  | digital monochrome input image                       |
|    | 8  | color sensor   |
|    | 10 | input pixel  |
|    | 12 | mosaic filter arrangement                            |
| 10 | 13 | green filter   |
|    | 14 | red filter   |
|    | 15 | blue filter  |
|    | 16 | green sensor   |
|    | 17 | red sensor   |
| 15 | 18 | blue sensor  |
|    | 20 | surface  |
|    | 21 | frame  |
|    | 22 | fluorophore  |
|    | 24 | live tissue  |
| 20 | 26 | light source   |
|    | 28 | light from light source                              |
|    | 30 | object   |
|    | 32 | band-pass filter                                     |
|    | 34 | pass band  |
| 25 | 36 | optical path   |
|    | 37 | optical acquisition system                           |
|    | 38 | digital monochrome HDR output image                  |
|    | 40 | HDR image generator                                  |
|    | 41 | hardware device                                      |
| 30 | 42 | general-purpose computer                             |
|    | 44 | input interface                                      |
|    | 46 | output interface                                     |
|    | 48 | display device                                       |
|    | 50 | eyepiece   |
| 35 | 52 | AR goggles   |
|    | 54 | monitor  |
|    | 56 | output pixel   |
|    | 58 | } spectral responsivities of different color sensors |
|    | 60 |  |

|    |             |                                       |
|----|-------------|---------------------------------------|
|    | 62          |                                       |
|    | 64          | } co-sensing wavelength bands         |
|    | 66          |                                       |
|    | 68          | } mean spectral responsivity          |
| 5  | 70          |                                       |
|    | 72          |                                       |
|    | 74          |                                       |
|    | 75          | bandwidth                             |
|    | 76          | roll-off                              |
| 10 | 77          | filter characteristics                |
|    | 78          | filter controller                     |
|    | 80          | memory section                        |
|    | 82          | } fluorescence spectrum               |
| 15 | 84          |                                       |
|    | 90          | } process steps                       |
|    | 92          |                                       |
|    | 94          |                                       |
|    | 96          |                                       |
| 20 | 98          |                                       |
|    | 100         |                                       |
|    | 102         |                                       |
|    | 104         |                                       |
|    | 106         |                                       |
| 25 | 108         | feedback control loop                 |
|    | R           | spectral responsivity                 |
|    | T           | transmittivity                        |
|    | F           | fluorescence intensity                |
|    | $\lambda$   | wavelength                            |
| 30 | $\lambda_c$ | wavelength at center frequency        |
|    | $\lambda_l$ | wavelength at lower cut-off frequency |
|    | $\lambda_u$ | wavelength at upper cut-off frequency |
|    | $\lambda_F$ | wavelength at maximum fluorescence    |

**CLAIMS**

1. Image acquisition system (1), in particular for a microscope or an endoscope, for processing digital input images (4, 6) of a fluorophore (22) having a fluorescence spectrum (82, 84), the image acquisition system (1) comprising:
  - 5 a color camera (2),  
  
the color camera (2) having at least two different types (16, 17, 18) of color sensor (8) at a plurality of input pixels (10), each type (16, 17, 18) of color sensor (8) generating a different digital monochrome input image (6) comprising the input pixels (10) and having a different spectral responsivity  
10 (58, 60, 62),  
  
the color camera (2) further comprising at least one co-sensing wavelength band (64, 66, 68) in which the spectral responsivities of at least two types of color sensor overlap; and  
  
an HDR image generator (40) coupled to the color camera (2);
  - 15 wherein the HDR image generator (40) is configured to compute a digital monochrome HDR output image (38) from the at least two digital monochrome input images (6).
2. Image acquisition system (1) according to claim 1, further comprising an optical band-pass filter (32) located in front of the color camera (2), the optical band-pass  
20 filter (32) having a pass band (34), the pass band (34) defining the co-sensing wavelength band (64, 66, 68).
3. Image acquisition system (1) according to claim 2, wherein the pass band (34) of the band-pass filter (32) overlaps with the fluorescence spectrum (82, 84) of the fluorophore (22).
- 25 4. Image acquisition system (1) according to claim 2 or 3, the band-pass filter (32) comprising a tunable pass band (34), the pass band (34) being tunable with respect to at least one filter characteristic (77), the filter characteristics (77)

comprising at least one of a center frequency, at least one cut-off frequency, a roll-off 76, a bandwidth (75) and a Q-factor.

5. Image acquisition system (1) according to claim 4, further comprising a filter controller (78) coupled to the HDR image generator (40) for modifying the pass band (34) of the band-pass filter (32) depending on image characteristics of the digital monochrome input images (6) and/or the digital monochrome HDR output image (38).
6. Image acquisition system (1) according to claim 4 or 5, further comprising a control loop (108) for automatically modifying the pass band (34) depending on an image characteristic of at least one of the digital monochrome input images (6) and/or the digital monochrome HDR output image (38).
7. Image acquisition system (1) according to any one of claims 1 to 6, further comprising a memory section (80) comprising a representation of the spectral responsivities (58, 60, 62) of the different types (14, 16, 18) of color sensor (8) of the color camera (2) and wherein the image acquisition system (1) is configured to automatically adjust the pass band (34) depending on the spectral responsivities (58, 60, 62).
8. Medical observation apparatus (3), such as a microscope or an endoscope, comprising an image acquisition system (1) according to any one of claims 1 to 7.
9. Method for creating a digital monochrome HDR output image (38) of at least one fluorescing fluorophore (22) from at least two digital monochrome input images (6), each having a plurality of input pixels (10),

the method comprising the steps of

- acquiring the at least two digital monochrome input images (6) of the fluorescing fluorophore (22) using at least two different types (16, 17, 18) of color sensor (8), the at least two different types of color sensor having a different spectral responsivity (58, 60, 62) and comprising at least one co-sensing wavelength band (64, 66, 68) in which the spectral responsivities of at least two types of color sensor overlap;

selecting the fluorophore (22) to have a fluorescence spectrum (82, 84) which overlaps with the co-sensing wavelength band; and

computing a digital monochrome HDR output image (38) from at least two digital monochrome input images (6).

- 5 10. Method according to claim 9, further including the step of filtering the fluorescent light from the fluorophore (22) directed to the color sensors (8) using an optical band-pass filter (32) having a pass band (34) which overlaps with the co-sensing wavelength band (64, 66, 68).
11. Method according to claim 9 or 10, further including the step of modifying the pass  
10 band (34) to increase contrast in the digital monochrome HDR output image (38).
12. Method according to claim 11, further including the step of automatically modifying the pass band (34) depending on an image characteristic of at least one of the digital monochrome input images (6) and/or the digital monochrome HDR output image (38).
- 15 13. Method according to claim 11 or 12, further including the step of modifying the pass band (34) depending on the difference between the spectral responsivities (58, 60, 62) of the at least two different types (16, 17, 18) of color sensor (8) within the pass band (34).
14. Method according to any one of claims 11 to 13, further including the step of  
20 recording the at least two digital monochrome input images (6) using the at least two different types (16, 17, 18) of color sensor (8).
15. Non-transitory computer-readable medium storing a program causing a computer to execute the method according to any one of claims 9 to 14.

**ABSTRACT****System and Method, in Particular for Microscopes and Endoscopes, for Creating HDR Monochrome Images of a Fluorescing Fluorophore**

The invention relates to a method and system for computing an HDR image (38) from a digital color input image (4) of an object (30) containing a fluorescing fluorophore (22).  
5 The input image (4) is acquired using a color camera (2) having at least two different types (16, 17, 18) of color sensor (8), such as an R, G and B sensor. The input image (4) is recorded in a co-sensing wavelength band (64, 66, 68) in which the different spectral  
responsivities (58, 60, 62) of the at least two different types of color sensor overlap. The  
10 input image (4) comprises at least two different digital monochrome input images (6), each recorded by a different type of color sensor. The light incident on the color camera (2) may be filtered using a band-pass filter (32) having a preferably tunable pass band (34). The pass band (34) defines the co-sensing wavelength band and may be adjusted depending  
on the spectral responsivities of the color sensors, the fluorophore and the image  
15 characteristics of the digital monochrome input images (6).

(Fig. 1)

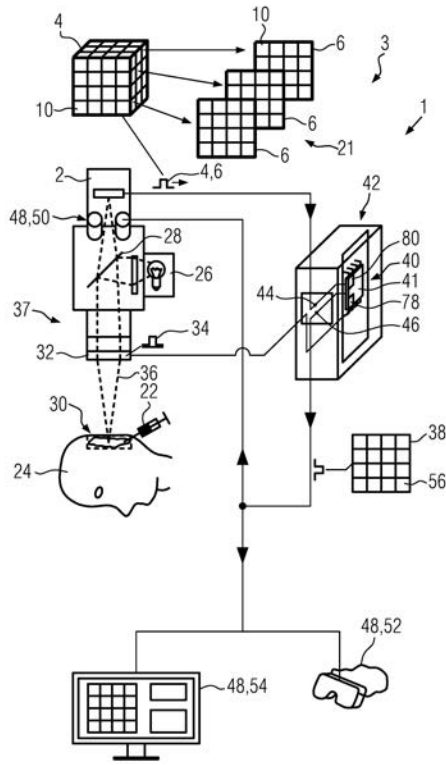


FIG. 1

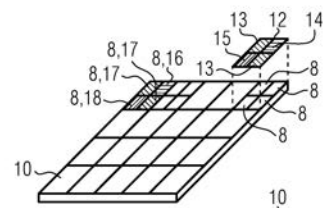


FIG. 2

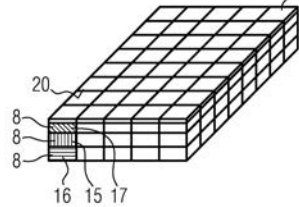


FIG. 3

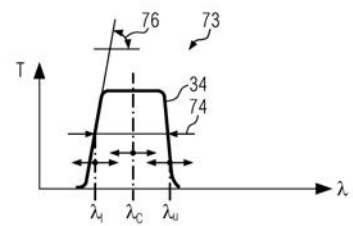


FIG. 4

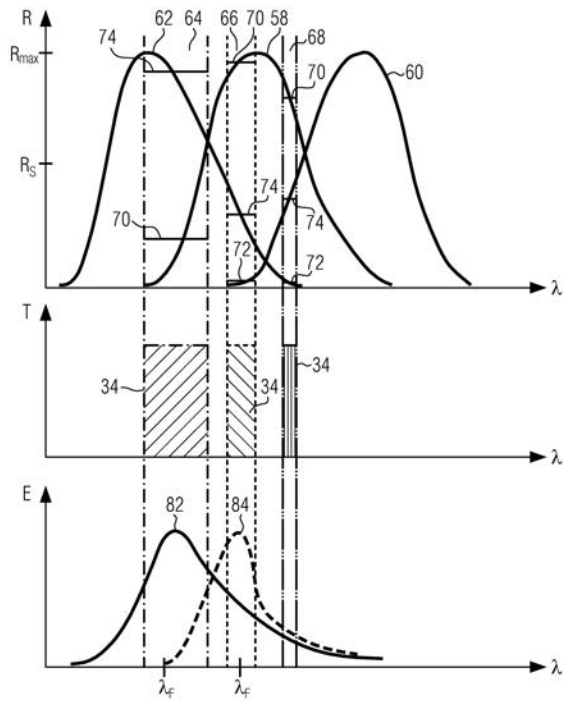


FIG. 5

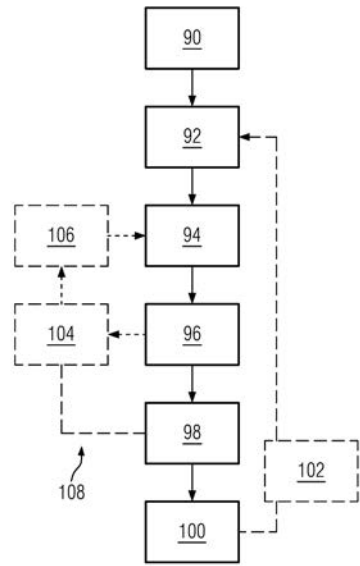


FIG. 6

|                |   |         |            |
|----------------|---|---------|------------|
| 专利名称(译)        | 用于产生荧光磷光体的hdr单色图像的系统和方法,特别是用于显微镜和内窥镜  |         |            |
| 公开(公告)号        | <a href="#">JP2020099694A</a>   | 公开(公告)日 | 2020-07-02 |
| 申请号            | JP2019229332  | 申请日     | 2019-12-19 |
| [标]申请(专利权)人(译) | 莱カウルメンツシンガポールプライヴェットリミテッド安装.<br>徕卡仪器(新加坡)有限公司   |         |            |
| 申请(专利权)人(译)    | 莱卡教练, トウル面子(新加坡)プライヴェット有限公司   |         |            |
| [标]发明人         | ゲオルゲテメリス  |         |            |
| 发明人            | ゲオルゲ テメリス   |         |            |
| IPC分类号         | A61B1/00 A61B1/04 G06T5/00 G02B21/36  |         |            |
| CPC分类号         | A61B1/00186 A61B1/043 G02B21/0012 G02B21/16 G02B21/367 A61B1/00004 A61B1/05 G02B21/365<br>H04N5/225 H04N2005/2255   |         |            |
| FI分类号          | A61B1/00.511 A61B1/04.530 A61B1/00.731 G06T5/00.730 G02B21/36   |         |            |
| F-TERM分类号      | 2H052/AA09 2H052/AF14 2H052/AF21 2H052/AF25 4C161/BB08 4C161/LL01 4C161/MM05 4C161<br>/PP01 4C161/PP04 4C161/RR04 4C161/RR14 4C161/TT03 4C161/WW17 5B057/CA08 5B057/CA12<br>5B057/CA16 5B057/CB08 5B057/CB12 5B057/CB16 5B057/CE08 5B057/CE11 |         |            |
| 代理人(译)         | 前川純一<br>二宮和也HiroshiYasushi  |         |            |
| 优先权            | 2018214911 2018-12-20 EP  |         |            |
| 外部链接           | <a href="#">Espacenet</a>   |         |            |

摘要(译)

本发明涉及一种用于从包含荧光粉的物体的数字彩色输入图像中计算HDR图像的方法和系统。使用具有至少两种不同类型的颜色传感器(例如R,G和B传感器)的彩色摄像机获取输入图像。输入图像记录在公共感应波长带中,其中至少两种不同类型的颜色传感器的不同光谱灵敏度叠加在一起。输入图像各自包括由不同类型的传感器记录的至少两个不同的数字单色输入图像。可以使用带通滤波器对彩色相机的入射光进行滤波,该带通滤波器优选具有可调节的通带。所述通带定义了公共感测波长带,并且可以根据颜色传感器的光谱灵敏度,磷光体和数字单色输入图像的图像特性来进一步调节。[选型图]图1

