



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105103189 B

(45)授权公告日 2018.01.23

(21)申请号 201480020052.3

(22)申请日 2014.04.07

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105103189 A

(43)申请公布日 2015.11.25

(30)优先权数据  
61/811,610 2013.04.12 US  
14/151,589 2014.01.09 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2015.10.08

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2014/033197 2014.04.07

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02014/168880 EN 2014.10.16

(73)专利权人 高通股份有限公司  
地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 周少杰 张晓鹏 冯晨 沈亮  
贾佳亚

(74)专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限  
责任公司 11287

代理人 宋献涛

(51)Int.Cl.

G06T 5/00(2006.01)

G06T 5/50(2006.01)

(56)对比文件

US 2007/0024742 A1,2007.02.01,

CN 102404581 A,2012.04.04,

Shaojie Zhuo等.ENHANCING LOW LIGHT  
IMAGES USING NEAR INFRARED FLASH IMAGES.  
《Proceedings of 2010 IEEE 17th  
International Conference on Image  
Processing》.2010,第2537-2540页.

路阳.多尺度改进非局部平均图像去噪算  
法.《中国优秀硕士学位论文全文数据库信息科  
技辑》.2013,(第4期),参见第1138-1135页.

Wen Li等.Robust blind motion  
deblurring using near-infrared flash  
image.《J.Vis.Commun.Image R.》.2013,第24卷  
参见第1394-1413页.

审查员 刘娜

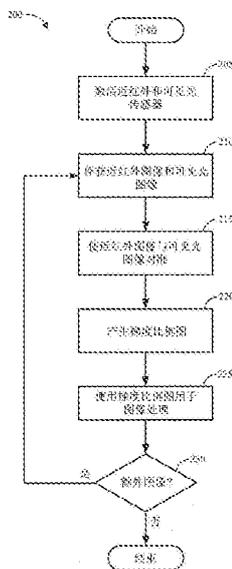
权利要求书3页 说明书13页 附图5页

(54)发明名称

近红外引导的图像去噪

(57)摘要

本发明揭示用于多光谱成像的系统和方法。所述多光谱成像系统可包含近红外NIR成像传感器和可见成像传感器。所揭示的系统和方法可经实施以使用从可见光图像和NIR图像中的梯度向量产生的梯度比例图对所述可见光图像去噪。所述梯度比例图可用于以逐像素为基础确定从所述NIR图像应用到所述可见光图像的去噪引导的量。



1. 一种用于图像去噪的电子方法,所述方法包括:
  - 接收包括NIR图像和可见光图像的图像数据;
  - 使所述NIR图像中的像素与所述可见光图像中的对应像素对准;
  - 确定所述NIR图像中的梯度向量和所述可见光图像中的梯度向量;
  - 将所述NIR图像中的所述梯度向量与所述可见光图像中的所述梯度向量比较以产生逐像素第一梯度比例图值;
  - 基于所述逐像素第一梯度比例图值产生第一梯度比例图;
  - 使用所述第一梯度比例图对所述可见光图像去噪来产生第一经去噪图像;
  - 确定所述第一经去噪图像中的梯度向量;
  - 将所述NIR图像中的所述梯度向量与所述第一经去噪图像中的所述梯度向量比较以产生逐像素第二梯度比例图值;
  - 基于所述逐像素第二梯度比例图值产生第二梯度比例图;以及
  - 使用所述第二梯度比例图对所述第一经去噪图像去噪来产生第二经去噪图像。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中使用所述第一梯度比例图对所述可见光图像去噪进一步包括使用逐像素第一梯度比例图值来确定来自所述NIR图像的去噪引导的水平。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中使用所述第一梯度比例图对所述可见光图像去噪包括采用加权最小平方平滑技术从所述可见光图像移除噪声。
4. 根据权利要求2所述的方法,其中所述逐像素第一梯度比例图值表示所述NIR图像中的所述梯度向量与所述可见光图像中的所述梯度向量之间的差的水平。
5. 根据权利要求1所述的方法,其进一步包括:
  - 确定所述第二经去噪图像中的梯度向量;以及
  - 从所述NIR图像中的所述梯度向量和所述第二经去噪图像中的所述梯度向量产生额外梯度比例图;以及
  - 计算所述第一梯度比例图与所述额外梯度比例图之间的差。
6. 根据权利要求5所述的方法,其进一步包括:
  - 将所述差与阈值比较;以及
  - 如果所述差大于所述阈值,那么使用所述额外梯度比例图对所述第二经去噪图像去噪,或如果所述差小于所述阈值,那么输出所述第二经去噪图像作为最终图像。
7. 一种多光谱成像系统,其包括:
  - 近红外NIR成像传感器,其经配置以俘获NIR图像;
  - 可见光成像传感器,经配置以俘获可见光图像;
  - 梯度比例图产生模块,其经编程以:
    - 确定所述NIR图像中的梯度向量和所述可见光图像中的梯度向量;
    - 将所述NIR图像中的所述梯度向量与所述可见光图像中的所述梯度向量比较以产生逐像素第一梯度比例图值;且
    - 基于所述逐像素第一梯度比例图值产生第一梯度比例图;
  - 去噪模块,其经编程以使用所述第一梯度比例图对所述可见光图像去噪来产生第一经去噪图像;
  - 梯度比例图产生模块,其进一步经编程以:

确定所述第一经去噪图像中的梯度向量；

将所述NIR图像中的所述梯度向量与所述第一经去噪图像中的所述梯度向量比较以产生逐像素第二梯度比例图值；且

基于所述逐像素第二梯度比例图值产生第二梯度比例图，

所述去噪模块进一步经编程以使用所述第二梯度比例图对所述第一经去噪图像去噪来产生第二经去噪图像。

8. 根据权利要求7所述的系统，其中所述去噪模块进一步经编程以通过采用加权最小平方平滑技术来进行使用所述第一梯度比例图对所述可见光图像去噪和使用所述第二梯度比例图对所述第一经去噪图像去噪这两个操作中的一者或两者。

9. 根据权利要求7所述的系统，其进一步包括经配置以使所述NIR图像与所述可见光图像对准的图像对准模块。

10. 根据权利要求7所述的系统，其进一步包括经配置以用红外波长的光谱中的光照明所述NIR图像的NIR闪光灯。

11. 根据权利要求7所述的系统，其中所述去噪模块进一步经编程以使用所述逐像素第一梯度比例图值以确定针对所述可见光图像中的每一像素的来自所述NIR图像的去噪引导的量。

12. 根据权利要求7所述的系统，其中所述去噪模块经编程以继续产生进一步额外梯度比例图直至当前梯度比例图与先前梯度比例图之间的差低于阈值为止。

13. 根据权利要求7所述的系统，其中所述去噪模块进一步经编程以利用额外梯度比例图和额外迭代经去噪图像继续去噪迭代直至当前迭代经去噪图像与先前迭代经去噪图像之间的差低于阈值为止。

14. 一种成像系统，其包括：

用于俘获NIR图像的装置；

用于俘获可见光图像的装置；

用于确定所述NIR图像中的梯度向量和所述可见光图像中的梯度向量的装置；

用于将所述NIR图像中的所述梯度向量与所述可见光图像中的所述梯度向量比较以产生逐像素第一梯度比例图值的装置；

用于基于所述逐像素第一梯度比例图值产生第一梯度比例图的装置；

用于使用所述第一梯度比例图对所述可见光图像去噪来产生第一经去噪图像的装置；

用于确定所述第一经去噪图像中的梯度向量的装置；

用于将所述NIR图像中的所述梯度向量与所述第一经去噪图像中的所述梯度向量比较以产生逐像素第二梯度比例图值的装置；

用于基于所述逐像素第二梯度比例图值产生第二梯度比例图的装置；以及

用于使用所述第二梯度比例图对所述第一经去噪图像去噪来产生第二经去噪图像的装置。

15. 根据权利要求14所述的成像系统，其中所述用于确定梯度向量的装置和所述用于产生第一梯度比例图的装置包含梯度比例图模块。

16. 根据权利要求14所述的成像系统，其中所述用于俘获所述NIR图像的装置包含NIR图像传感器和NIR闪光灯。

17. 根据权利要求14所述的成像系统,其进一步包括用于使所述NIR图像与所述可见光图像对准的装置。

18. 根据权利要求17所述的成像系统,其中所述用于使所述NIR图像与所述可见光图像对准的装置包含图像对准模块。

19. 根据权利要求14所述的成像系统,其中所述用于对所述可见光图像去噪的装置包含去噪模块。

20. 一种非暂时性计算机可读存储媒体,其具有存储于其上的指令,所述指令在执行时执行一种方法,所述方法包括:

接收包括NIR图像和可见光图像的图像数据;

使所述NIR图像中的像素与所述可见光图像中的对应像素对准;

确定所述NIR图像中的梯度向量和所述可见光图像中的梯度向量;

将所述NIR图像中的所述梯度向量与所述可见光图像中的所述梯度向量比较以产生逐像素第一梯度比例图值;

基于所述逐像素第一梯度比例图值产生第一梯度比例图;

使用所述第一梯度比例图对所述可见光图像去噪来产生第一经去噪图像;

确定所述第一经去噪图像中的梯度向量;

将所述NIR图像中的所述梯度向量与所述第一经去噪图像中的所述梯度向量比较以产生逐像素第二梯度比例图值;

基于所述逐像素第二梯度比例图值产生第二梯度比例图;以及

使用所述第二梯度比例图对所述第一经去噪图像去噪来产生第二经去噪图像。

21. 根据权利要求20所述的非暂时性计算机可读存储媒体,其中所述方法进一步包括使用所述逐像素第一梯度比例图值来确定来自所述NIR图像的去噪引导的水平。

22. 根据权利要求20所述的非暂时性计算机可读存储媒体,其中所述方法进一步包括:

确定所述第二经去噪图像中的梯度向量;以及

从所述NIR图像中的所述梯度向量和所述第二经去噪图像中的所述梯度向量产生额外梯度比例图;以及

计算所述第一梯度比例图与所述第二梯度比例图之间的差。

23. 根据权利要求22所述的非暂时性计算机可读存储媒体,其中所述方法进一步包括将所述差与阈值比较,其中如果所述差大于所述阈值,那么所述方法进一步包括使用所述额外梯度比例图对所述第二经去噪图像去噪,或如果所述差小于所述阈值,那么所述方法进一步包括输出所述第二经去噪图像作为最终图像。

24. 根据权利要求20所述的非暂时性计算机可读存储媒体,其中所述方法进一步包括在俘获所述可见光图像的预定时间间隔内使用NIR闪光灯俘获所述NIR图像。

## 近红外引导的图像去噪

### 技术领域

[0001] 本发明涉及包含去噪过程的成像系统和方法。特定来说,本发明涉及使用近红外图像引导去噪过程的系统和方法。

### 背景技术

[0002] 在低光照条件下拍摄高质量照片和视频可能具有挑战性。在无足够的环境光的情况下,摄影者通常具有四个选择来增加图片质量。第一选择是在俘获图像时使用高ISO。增加传感器增益可有效增加信号强度以在短曝光时间内获得明亮的图像。然而,图像噪声也必然增加,因此信噪比(SNR)并未改进。

[0003] 第二选择是使用较大孔径俘获图像。允许较多光穿过相机透镜是改进图像质量的极其简单的方式,然而改变孔径尺寸还会影响景深。此外,当传感器和透镜已经建置以适应小形状因数(例如,蜂窝式电话相机)时,效果极其有限。

[0004] 第三选择是使用长曝光时间来俘获图像。延长的曝光时间可增加SNR,但可增加所俘获图像中不当的运动模糊。

[0005] 第四选择是向场景采用闪光灯或其它强人造光以便获得无尖锐噪声的图像。然而,因为闪光灯的色温和强度通常与环境光的色温和强度有很大不同,所以闪光灯的使用可能毁坏周围环境且引入不必要的假影(例如红眼)、不当的反射、令人讨厌的阴影,以及剧烈的高光和反射。

[0006] 在以上四个选择中,摄影者通常偏爱使用高ISO图像且向所俘获图像应用噪声减少。图像去噪是集中地研究的问题,且存在大量方法。然而,即使在当前技术水平图像去噪方法的情况下,仍极难获得高质量无噪声照片,尤其在噪声级为高时。

[0007] 常规单图像去噪解决方案由若干不同方法构成。基于图像滤波的方法选择性地使有噪声图像的部分平滑。基于小波的方法依赖于小波系数的谨慎缩减。基于图像先前方法从无噪声图像借用词典且通过使用词典中的元素的稀疏线性组合将其近似而对图像去噪。更为新近的方法采用自然图像的“非局部”属性:自然图像中的小补丁倾向于在图像内本身重复。在上一个类别的方法中,BM3D较好地表示单图像去噪的当前技术发展水平。然而,单图像去噪方法的共同基本问题是,其不能区分噪声和原始图像信号,尤其是相对于较精细图像细节。因此,那些方法对于具有相对低噪声级的图像产生适当良好的质量结果,但对于含有高噪声级的图像通常产生具有许多假影的过分平滑的结果。

[0008] 在试图解决上文描述的单图像去噪方法的局限性时,双图像方法引入另一图像来引导去噪过程。俘获同一场景的两个图像。随后应用使用第二图像的引导的第一图像的图像滤波以较好地保留图像结构,且可应用图像细节传递来增强精细图像细节。举例来说,可在与第一图像不同的照明条件下俘获引导图像,且因此所述引导图像可含有图像场景的不同细节水平。引导图像中的额外细节可用于增强第一图像的质量。第一类型的双图像去噪方法使用可见闪光灯图像作为引导图像。然而,此方法可容易使弱边缘模糊且引入来自引导图像的假影。另外,可见闪光灯在低光条件下使用具有侵入性,且在特定环境中甚至是禁

止的。

[0009] 最近,已出现第二类型的双图像去噪方法,其使用“不可见闪光灯”(例如,使用近红外或超紫光的闪光灯)以便俘获可见光频带外部的图像,且使用所述“暗闪光灯”图像来帮助对对应可见光图像去噪。可采用经由简单泊松等式的梯度传递用于使用暗闪光灯图像作为参考对可见光图像去噪。这些方法能够同时执行去噪和细节传递,且有时实现高质量去噪结果。然而,来自暗闪光灯图像的梯度约束可能太具试探性且不能较好地适于处置可见光图像与暗闪光灯图像之间的差异。此产生去噪结果中明显的外观改变,尤其当处置具有集中噪声的图像时。

## 附图说明

[0010] 现将参看以下图式描述本发明的特定实施方案,图式是借助于实例而非限制而提供。

[0011] 图1为根据一个实施方案的多光谱成像系统的示意框图;

[0012] 图2为根据一个实施方案用于俘获特定场景的多光谱图像数据的方法的实施例的流程图;

[0013] 图3A说明实例RGB和NIR图像;

[0014] 图3B说明图3A的RGB图像的红、绿和蓝通道的各区以及图3A的NIR图像的对应区;

[0015] 图4为用于产生梯度比例图且使用所述梯度比例图用于去噪的方法的实施例的流程图;以及

[0016] 图5说明去噪过程的各种步骤处的图像的实例。

## 具体实施方式

[0017] 本文中所示的实施方案提供用于图像去噪应用的系统、方法和设备。举例来说,如本文中所阐释,可能需要使用例如近红外(NIR)图像等对应暗闪光灯图像从有噪声可见光图像处理高质量图像。尽管实施例在本文中描述为采用NIR图像,但应了解,也可使用红外和紫外闪光灯图像。本文中所揭示的实施方案可用于俘获相同图像场景的一对可见光(例如RGB和NIR)图像。在去噪过程期间,可见光和NIR图像可以像素基础对准,且可引入梯度比例图以使经对准可见光和NIR图像的梯度场使相关。

[0018] 可基于可见光图像的梯度向量与NIR图像的梯度向量之间的差异和类似性而产生梯度比例图。梯度向量可用于检测图像中的像素区之间强度值的连续性和不连续性。连续性和不连续性可表示图像中对象的边界、场景照明的变化、深度的不连续性,和材料特性的改变。

[0019] 可通过利用水平和垂直导数滤波器卷积图像而确定每一像素处图像的梯度向量。举例来说,可针对例如NIR与可见光图像之间的重叠区等像素群组计算沿着x和y方向的梯度向量。在一些实施例中,可通过利用水平和垂直导数滤波器卷积图像而计算梯度向量。对于所考虑的每一像素群组,可应用导数滤波器计算水平和垂直方向中的第一或第二导数,表示像素强度值的水平和垂直改变。此产生梯度向量值,其可指派到像素群组中的中心像素。因此,每一像素周围的区中的强度值可用于近似所述像素处的对应梯度向量值。图像中像素的梯度向量值可组合以计算梯度量值向量和梯度方向向量。梯度方向向量和梯度量值

向量提供关于对象边界的位置以及关于所述边界的任一侧上像素的区的不同强度值的信息。举例来说,对象边界像素可位于梯度量值的局部极大值处。

[0020] 为了促进本文中所描述的去噪方法,可见光图像和NIR图像可以逐像素基础对准且裁剪到重叠区。可通过计算可见光图像的梯度向量与NIR图像中的梯度向量的值之间的差或比率而产生梯度比例图。梯度比例图相应地俘获图像之间的结构偏差和类似性的性质,且可具有用于本文所描述的去噪过程中的清晰统计和数值含义。

[0021] 在一些实施例中,可向梯度比例图指派每一像素位置的正值或负值。举例来说,正值可指示存在边缘或结构,其具有可见光图像和NIR图像两者中的类似梯度方向向量。负值可指示可见光图像和NIR图像两者中存在边缘或结构,但NIR图像中的局部梯度向量的方向相对于可见光图像中的局部梯度向量反转。值0可指例如归因于源自NIR闪光灯的高光和阴影因此NIR图像中存在可见光图像中不存在的边缘或结构,或例如归因于场景中的对象对红和红外光的不同反射特性因此可见光图像中存在NIR图像中不存在的边缘或结构。基于梯度比例图中的这些值的分析,可考虑自适应平滑、边缘保留和引导强度操纵而产生用于通过梯度传递进行去噪的最佳比率图。所述最佳比率图可表示将在每一像素处应用于可见光图像的来自NIR图像的引导量。通过利用梯度比例图和梯度传递方案,本文中所描述的去噪方法较好地能够利用NIR图像作为引导图像来实现高质量图像去噪,且可在不从引导图像向经去噪可见光图像导入额外假影的情况下实现此目的。

[0022] 在一实施例中,成像设备可使用例如NIR传感器和可见光传感器等两个不同类型的成像传感器俘获图像。此类型的多光谱成像可对于对由可见光传感器俘获的图像去噪有用。在一个实施例中,可见光传感器处接收的光可携带场景的颜色信息,而NIR传感器俘获的光可用于通过执行图像去噪而增强可见光图像的质量。举例来说,NIR图像和可见光图像可分解为梯度向量且用于产生梯度比例图。如上文所描述,梯度比例图可用于引导NIR图像对可见光图像的去噪来改进所俘获可见光图像的质量。

[0023] 在一个实施例中,NIR传感器俘获的图像用于增强低光条件中俘获的可见光图像的质量。举例来说,在常规低光系统中,可见闪光灯系统常常用于照明待成像的对象。然而,此人造光可毁坏图像的周围环境且可引入比如红眼、不当的反射和阴影等不想要的假影。在本文所描述的方法中,可使用NIR闪光灯代替可见闪光灯来俘获NIR图像,且常规可见成像传感器(例如RGB彩色CCD)俘获对应可见光图像。NIR图像不可如可见光图像中那样混杂噪声,且NIR图像可结合去噪技术例如,加权最小平方平滑技术)使用以从可见(例如,RGB)图像移除由低照明条件造成的噪声。尽管主要在使用NIR闪光灯俘获的NIR引导图像的上下文内论述,但在一些实施例中也可在无闪光灯的情况下使用经配置以检测自然地存在于图像场景中的红外或近红外光的图像传感器来俘获NIR引导图像。

[0024] NIR(近红外)光对于人眼不可见,但可由图像传感器俘获。利用非侵入性NIR闪光灯,俘获高质量无噪声NIR照片以引导对应RGB图像中的去噪和细节恢复。一些实施例可同时俘获一对RGB和NIR图像,且随后逐像素对准所述RGB和NIR图像。此图像对可使用双相机系统、俘获静态场景中的循序RGB-NIR拍摄的单一相机、由单一RGB-IR相机或由如2012年10月30日申请的第13/663,897号美国申请案中描述的立体RGB-NIR相机系统俘获,所述申请案全文以引用的方式并入本文中。

[0025] 在以下描述中,给出具体细节以提供对实例的透彻理解。然而,所属领域的一般技

术人员将理解,可在没有这些具体细节的情况下实践所述方面。举例来说,可在框图中展示电组件/装置,以免用不必要的细节混淆所述实例。在其它例子中,可详细展示此些组件、其它结构和技术以便进一步阐释所述实例。

[0026] 还应注意,可将所述实例描述为过程,这个过程被描绘为流程图、流程示意图、有限状态图、结构图或框图。尽管流程图可将操作描述为连续过程,但是许多操作可并行或同时执行,且所述过程可重复。另外,可重新布置操作的次序。过程在其操作完成时终止。过程可对应于方法、函数、过程、子例程、子程序等。当过程对应于软件函数时,其终止可对应于所述函数传回到调用函数或主函数,或子程序或类似功能性的类似完成。

[0027] 所属领域的技术人员将理解,可使用多种不同技术和技艺中的任一者来表示信息和信号。举例来说,可通过电压、电流、电磁波、磁场或磁粒子、光场或光粒子或其任何组合来表示贯穿以上描述可能参考的数据、指令、命令、信息、信号、位、符号和码片。

#### [0028] 系统概述

[0029] 现转而参看图1,说明多光谱成像系统100的示意框图。多光谱成像系统100可包含多光谱成像设备110。多光谱成像设备110可经配置以包含一或多个多光谱成像传感器,其可感测宽频带的波长,包含至少可见光波长和近红外(NIR)光波长。举例来说,多光谱成像设备110可经配置以检测约390nm与约1400nm之间的波长处的光。当然,成像设备110还可经配置以检测更宽范围的波长。在一些实施方案中,电荷耦合装置(CCD)可用作多光谱成像传感器。在其它实施方案中,CMOS成像传感器可用作多光谱成像传感器。此外,闪光灯模块118和/或其它附件可包含在多光谱成像设备110中以帮助照明所述场景。在各种实施方案中,闪光灯模块8可包含可见和/或NIR闪光灯装置。

[0030] 在图1中展示的实施方案中,多光谱成像设备110包含两个单独传感器而非单一多光谱成像传感器。在此实施方案中,多光谱成像设备110包含可见光传感器115和单独NIR传感器117。举例来说,多光谱成像设备110具有能够检测至少约390nm与约800nm之间的范围中的可见光的第一可见传感器115,例如CCD/CMOS传感器。多光谱成像设备110进一步包含能够检测约800nm与约1400nm之间的范围中的NIR光的第二NIR传感器117,例如CCD/CMOS传感器。在一些实施方案中,可见和NIR传感器的波长范围可重叠或甚至可实质上相同。在一些实施方案中,例如NIR通滤波器等成像滤波器可在合适的CCD/CMOS传感器上使用以仅检测NIR数据。在一个实施方案中,举例来说,可见光传感器115和NIR传感器117两者可实施在Samsung®S5K4E1GX QSXGA CMOS传感器上。NIR传感器117可通过移除IR截止滤波器以启用传感器来接收NIR光而实施。经修改NIR传感器117可进一步由IR滤波器覆盖以滤出较低波长,例如小于约800nm的波长。举例来说,可在NIR传感器117上应用Kodak®Wratten IR滤波器(#87C)。在其它实施方案中,各种其它传感器或其组合可用于俘获可见和NIR图像数据。

[0031] 在一些实施方案中,多光谱成像系统100可同时俘获一对RGB和NIR图像。多光谱成像系统100可在其它实施例中在俘获RGB图像的预定时间间隔内俘获NIR图像,且所述预定时间间隔可足够短使得所述对图像可实质上属于同一场景。可使用NIR闪光灯或通过使用存在于目标图像场景中的NIR环境光俘获图像而俘获NIR图像。可使用闪光灯或环境光俘获可见图像。

[0032] 多光谱成像系统100进一步包含彼此且与成像设备110进行数据通信的处理器140和存储器130。处理器140和存储器130可用于处理和存储由成像设备110俘获的图像。此外,

多光谱成像系统100可包含经配置以向用户提供输入/输出(I/O)操作的用户接口(UI)150。举例来说,UI 150可包含向用户呈现各种图标的显示器。UI 150还可包含各种输入装置,例如键盘、触摸屏输入、鼠标、滚球、数据输入(例如,USB或无线)和/或任何其它合适的类型的输入装置。UI 150可经编程以允许用户操纵图像数据和/或选择用户希望使用的成像模式。UI 150还可包含用于俘获多光谱图像数据的控制。

[0033] 此外,处理器140和存储器130可经配置以实施作为软件模块存储在图像处理模块120中的过程且经配置以处理由多光谱成像设备110俘获的多光谱图像数据。图像处理模块120可在例如非暂时性存储媒体等任何合适的计算机可读存储媒体中实施。图像处理模块120可具有任何数目的软件模块。举例来说,通信模块121可实施在图像处理模块120上。通信模块121可包括计算机实施的指令,其管理多光谱成像系统100的组件之间的数据的流动。举例来说,通信模块121可包含管理从多光谱成像设备110接收图像数据的指令。图像处理模块120还包含存储模块129,其经配置以存储不同类型的数据、源码和/或可执行文件。举例来说,存储模块129可经编程以存储由成像设备110接收的图像数据和/或由图像处理模块120处理的图像数据。

[0034] 图像处理模块120还可包含经编程以实施各种多光谱成像应用的各种模块。举例来说,图像处理模块120包含暗闪光灯成像模块123,其经编程以俘获NIR图像和可见光图像两者。在一些实施方案中,暗闪光灯成像模块123可致使可见光传感器115和NIR传感器117在大体上相同时间俘获目标场景的图像。在另一实施方案中,暗闪光灯成像模块123可致使可见光传感器115和NIR传感器117连续地俘获目标场景的图像。

[0035] 此外,图像处理模块120可包含混合成像模块125。混合成像模块125可经编程以处理由成像设备110俘获的静态图像和视频图像两者。举例来说,混合成像模块25可经编程以处理来自可见光传感器115的静态图像数据和来自NIR传感器117的视频图像数据,或反之亦然。在一些布置中,静态图像数据和视频图像数据可同时由相应传感器俘获;在其它布置中,静态和视频图像数据可在单独时间俘获。在各种实施方案中,静态图像数据可在比视频图像数据高的分辨率下俘获以便减小场景的图像中的运动模糊。

[0036] 图像处理模块120还包含多光谱信息处理模块127。多光谱信息处理模块127可经编程以处理从NIR传感器117俘获的NIR图像数据以经由去噪处理增强从可见光传感器115俘获的可见光图像数据的质量。多光谱信息处理模块127可包含用于实行噪声减少过程的各种子模块,如下文所描述。

[0037] 多光谱信息处理模块127可包含图像对准模块124。NIR传感器117和可见光传感器115可隔开一距离,且可因此使用不同成帧和/或角度俘获目标场景。NIR和可见光图像可在处理图像之前对准以实现噪声减少。图像对准模块124可经编程以对NIR和可见光图像执行任何预备操作,例如确认可见光传感器115和NIR传感器117垂直对准。图像对准模块124可进一步经编程以使NIR图像中的像素与可见光图像中的像素匹配从而形成多个匹配的像素对。图像对准模块124可借此基于每一图像的图像描述符提供NIR和可见光图像的初始逐像素对准。图像描述符可部分地基于相应图像中测得的图像梯度。

[0038] 图像对准模块124还可经编程以大体使NIR和可见光图像的稀疏部分对准。举例来说,图像对准模块124可经编程以计算每一匹配的像素对的像素差别。在各种实施方案中,所述像素差别可基于每一匹配的像素对的像素分离距离。图像对准模块124可经编程以至

少部分地基于每一匹配的像素对的所计算的像素差别向每一匹配的像素对指派权数。一旦指派权数,在各种实施方案中,保持具有较高权数的匹配,同时丢弃具有较低权数的匹配。可估计可见与NIR图像之间的逐段单应约束,且可保持满足所述单应约束的匹配用于后续对准处理。

[0039] 此外,图像对准模块124可经编程以至少部分地基于所指派权数使NIR图像与可见光图像对准。举例来说,图像对准模块124可基于例如所指派的权数等强度类似性值和/或置信度图而将稀疏匹配结果传播到密集匹配结果。在一些方面中,NIR图像可扭曲到可见光图像的透视图或反之亦然,以确认图像的对准为准确的。

[0040] 梯度比例图产生模块126可经编程以从NIR和RGB图像产生梯度比例图。举例来说,如上文所描述,可基于可见光图像和NIR图像中的梯度向量之间的差异和类似性而产生梯度比例图。因此,梯度比例图产生模块126可经编程以例如通过将导数滤波器应用于像素块且向每一像素块中的中心像素指派梯度向量值而计算可见和NIR图像中的每一者中每一像素处的梯度向量值。

[0041] 梯度比例图产生模块126可进一步经编程以基于NIR图像和可见光图像的梯度向量的比较产生梯度比例图。梯度比例图相应地可俘获NIR和可见光图像之间的结构偏差和类似性的性质。在一些实施例中,梯度比例图产生模块126可向梯度比例图内的每一像素位置指派正值或负值。举例来说,正值可指示存在边缘或对象边界,其具有可见光图像和NIR图像两者中的类似梯度方向向量。负值可指示可见光图像和NIR图像两者中存在边缘,但NIR图像中的局部梯度向量的方向相对于可见光图像中的局部梯度向量反转。值0可指示例如归因于源自NIR闪光灯的高光和阴影因此NIR图像中存在可见光图像中不存在的边缘,或例如归因于场景中的对象对红和红外光的不同反射特性因此可见光图像中存在NIR图像中不存在的边缘或结构。

[0042] 去噪模块128可经编程以从梯度比例图产生模块126接收梯度比例图值且利用此些值对可见光图像去噪。在一些实施例中,可基于梯度比例图中逐像素值的分析产生用于通过梯度传递进行去噪的最佳比率图。当建构最佳比率图时,去噪模块128可考虑例如自适应平滑、边缘保留和引导强度操纵等图像质量增强因素。最佳比率图可表示来自NIR图像的去噪模块128可应用于每一像素处的可见光图像的引导量。

[0043] 在一些实施例中,去噪模块128可进一步经编程以对可见光图像执行迭代去噪过程。举例来说,经去噪可见光图像可与NIR图像一起发送回到梯度比例图产生模块126以便产生表示经去噪可见光图像和NIR图像中的梯度向量场之间的类似性和差异的经更新梯度比例图。去噪模块128可使用此经更新梯度比例图来进一步对经去噪可见图像去噪。在一些实施例中,此过程可重复直至经更新梯度比例图相对于先前梯度比例图的变化小于阈值量为止。在一些实施例中,所述过程可重复直至所产生的经去噪可见光图像相对于用于构造经更新梯度比例图的可见光图像的变化小于阈值量为止。

#### [0044] 过程概述

[0045] 图2为根据一个实施方案用于俘获特定场景的多光谱图像数据的方法200的流程图。所说明的方法200在框205中开始,其中激活NIR和可见光传感器。举例来说,参看图1,用户可使成像系统100通电和/或启动以启用传感器来俘获场景。在各种实施方案中,可接合移动装置上的图标以激活NIR和可见光传感器115和117。方法随后移动到框210,其中由可

见光传感器俘获可见光图像且由NIR传感器俘获NIR图像。在各种布置中,闪光灯(例如,可见和/或NIR闪光灯)可用于照明所述场景。

[0046] 在俘获场景的可见光和NIR图像之后,过程200移动到框215,其中可使NIR图像和可见光图像相对于图1的图像对准模块124对准。通过准确地对准图像,可减少或消除由未对准造成的图像假影。经对准图像可裁剪到重叠区用于后续处理。

[0047] 过程200随后移动到框230,其中产生表示NIR和可见光图像的梯度向量场之间的差异和类似性的梯度比例图。如上文所描述,可通过计算NIR和可见光图像的每一像素的梯度向量方向与梯度向量量值之间的差而产生梯度比例图。

[0048] 接下来,在框225处,梯度比例图用于图像处理。举例来说,梯度比例图可用于确定从NIR图像应用到可见光图像以用于对可见光图像去噪的引导水平。在一些实施例中,梯度比例图可用于对可见光图像去雾或去模糊,从而增加可见光图像中的锐度或对比度,或用于皮肤平滑应用。

[0049] 过程200随后移动到决策框230,以确定是否将处理额外图像。如果在决策框230中作出将处理额外图像的决策,那么方法200返回到框210以俘获额外NIR图像数据和可见光图像数据。如果在决策框230中作出无额外图像待处理的决策,那么方法200终止。

#### [0050] NIR和RGB梯度概述

[0051] 图3A说明实例可见光图像300和实例NIR图像310。在此实例中,可见光图像300论述为RGB图像,然而可见光图像300还可为灰度。图3B说明图3A的RGB图像300的红、绿和蓝通道的各种区以及由图3A的图像上方的矩形边界320、330和340标注的NIR图像310的对应区的放大视图。使用NIR图像310来引导RGB图像300的去噪可形成与RGB图像的每一通道(红、绿和蓝通道)相比在细节分布和强度形成方面的显著差异。针对几乎所有像素存在RGB 300与NIR 310图像之间的边缘结构和梯度不一致,如图3A和3B中所说明和下文更详细论述。

[0052] 可存在的一个结构不一致为梯度量值变化。作为一实例,如区域320的放大视图中所展示,书封面上的字母‘D’在NIR图像310中与RGB图像300中相比以低得多的对比度俘获。此效果可归因于对红外和可见光的不同反射特性。

[0053] 梯度方向发散为另一结构不一致,其中RGB图像300中的一些梯度方向向量可相对于沿着NIR图像310中的对应边缘定位的梯度方向向量反转。为了说明,书封面的下部区域330的红通道、绿通道和蓝通道在图3B中与相同区域330的NIR通道相比而说明。两个图像的梯度向量方向反转;也就是说,红、绿和蓝通道中的下部像素区与上部像素区相比较亮,而在NIR图像中上部像素区与下部像素区相比较亮。上部和下部图像区中的像素大大改变其相对强度水平,但在RGB和NIR图像中是在相反方向中。

[0054] 另一结构不一致为梯度损耗,其中RGB图像300中呈现的一些梯度可能在NIR图像310中完全丢失。如图3B的最后行中所展示,Jewel Scarabs书封面的区340中的红、绿和蓝通道中可见的文本从NIR图像的相同区340全部不见。此梯度损耗还可归因于场景中的对象对红外和可见光的不同反射。尽管未说明,RGB和NIR图像中的像素区之间可存在其它结构不一致,其例如源自存在于相应图像中的高光或阴影的差异(归因于其不同照明源)。

[0055] 大体来说,NIR图像光的内容可与对应可见光图像相比产生较好对比度且携带更丰富细节水平,其产生使用NIR图像作为引导图像来增强RGB图像的质量的较大可能性。然而,归因于上文所论述的结构不一致,显然,并非NIR图像的所有区适合用于增强RGB图像中

的对应区。为避免归因于RGB和NIR图像之间的结构不一致的引导问题，本文中所描述的去噪方法采用梯度比例图来描述两个图像的梯度场之间的关系。

[0056] 梯度比例图概述

[0057] 图4为说明用于产生梯度比例图且使用所述梯度比例图用于去噪的方法的实施例的流程图。如上文所论述，可产生梯度比例图以较好地处置可见光与NIR图像之间的结构的固有偏差。在一些实施例中，梯度比例映射可被定义为如下：

$$[0058] \quad \min || \nabla I^* - s \cdot \nabla G ||。 \quad (1)$$

[0059] 其中 $\nabla$ 是形成具有x-和y-方向梯度的向量的运算符， $I^*$ 是地面实况图像，其表示最佳经去噪可见光图像，且G为用作去噪过程中的引导图像的NIR图像。在一些实施例中，梯度比例图s可表示NIR和地面实况图像的梯度场之间的比例或比率图。其可具有对应于 $\nabla G$ 与 $\nabla I^*$ 之间的结构偏差的几个独特特性。

[0060] 过程400开始于框405，此时接收RGB图像 $I_0$ （其可为有噪声的图像）的图像数据以及对应NIR闪光灯图像G的图像数据（其可具有可忽略的噪声）。为了从恢复梯度比例图s和从 $I_0$ 恢复移除了噪声且根据G保持结构的清晰图像I，同时保留 $I_0$ 的总体视觉外观，过程400随后移动到框410以确定NIR和RGB图像两者中每一像素的x和y方向梯度向量。在一些实施例中，此可通过将水平和垂直线性卷积滤波器应用到NIR和RGB的像素块（如上文所描述）以获得每一块中的中心像素的梯度向量值来实现。在一些实施例中，围绕中心像素的至少四个像素可用于计算中心像素的梯度向量值，然而可使用更多像素。举例来说，每一像素的梯度向量值可被定义为坐标对，例如(x, y)，且坐标对的“x”变量的值可指示梯度在右还是左方向中增加，且坐标对的“y”变量的值可指示梯度在向上还是向下方向中增加（相对于图像的定向）。

[0061] 在计算NIR图像和RGB图像的梯度向量之后，过程400移动到框420，其中从梯度向量计算梯度比例图值。在一些实施例中，梯度比例图可为NIR和RGB梯度向量中的值之间的比率。在一些实施例中，梯度比例图可包含每一像素位置的正值或负值。举例来说，正值可指示存在具有可见光图像和NIR图像两者中的类似梯度方向的边缘，而负值可指示可见光图像和NIR图像两者中存在边缘但NIR图像中的局部梯度向量的方向相对于可见光图像中的局部梯度向量反转。值0可指示例如归因于源自NIR闪光灯的高光和阴影因此NIR图像中存在可见光图像中不存在的边缘，或例如归因于图像中的材料对可见和近红外光的不同反射特性因此NIR图像中不存在可见光图像中存在的边缘。

[0062] 接下来，过程400移动到框425以使用梯度比例图值来引导可见光图像 $I_0$ 的去噪。使用梯度比例图s从 $I_0$ 获得经去噪图像I的问题可公式化为求以下条件概率的最大值。

$$[0063] \quad P(I, s | I_0, G) = \frac{P(I_0, G | I, s) P(I, s)}{P(I_0, G)} \quad (2)$$

$$\propto P(I_0, G | I, s) P(I, s)$$

$$\propto P(G | I, s) P(I_0 | I, s) P(s)。$$

[0064] 此处，假定P(I)为均一分布。通过取两侧的负对数，等式(2)可重写为

$$[0065] \quad E(s, I) = E_1(s, I) + \lambda E_2(I) + \beta E_3(s)。 \quad (3)$$

[0066] 等式(3)含有三项： $E_1(s, I)$ 是s和I的数据项，表示使用s使所估计图像I与引导图

像G相关的成本;  $E_2(I)$  是I日期项,表示所估计图像与输入有噪声图像  $I_0$  偏差多少;且  $E_3(s)$  是s的正规化项,强制对s的平滑的损失。此处,  $\lambda$  控制对有噪声图像  $I_0$  的置信度,范围为1-10。 $\beta$  对应于s的平滑度。其值可通常凭经验设定为[0.2-0.8]。

[0067] 在以下等式(4)中, I表示原始有噪声RGB图像  $I_0$  的经去噪迭代,其是地面实况图像  $I^*$  的估计,且等式(1)以像素求和形式更新为

$$[0068] \quad \min \sum_i \|\nabla I_i - s_i \cdot \nabla G_i\|, \quad (4)$$

[0069] 其中i为NIR引导图像的梯度场中的像素的指数,由  $\nabla G_i$  表示。此处,  $\nabla G_i$  可视为  $s_i$  的比例且可控制当计算不同像素处的  $s_i$  时的损失。当使用此形式的成本函数时,最终成本很大程度上依赖于  $\nabla G_i$  的值。举例来说,如果  $\nabla G_i$  和  $\nabla I_i$  同时加倍,那么尽管  $s_i$  保持相同,来自  $|\nabla I_i - s_i \cdot \nabla G_i|$  的成本也将加倍。因此,  $\nabla G_i$  的梯度量值使成本极其不稳定,从而不利地影响  $s_i$  的计算。为对此进行补偿,过程400的一些实施例可使成本函数规格化为

$$[0070] \quad \sum_i \left| s_i - \frac{\nabla_x I_i}{\nabla_x G_i} \right| + \left| s_i - \frac{\nabla_y I_i}{\nabla_y G_i} \right|。 \quad (5)$$

[0071] 通过对  $\nabla G_i$  进行除法运算(考虑其两个分量),移除由G引起的非预期按比例缩放效果。为避免  $\nabla_x G_i$  或  $\nabla_y G_i$  接近零的零值情形,且为支持拒绝离群值的能力,  $s$  和  $I$  的数据项可界定为

$$[0072] \quad E_1(s, I) = \sum_i \left( \rho \left( s_i - p_{x,i} \frac{\nabla_x I_i}{\nabla_x G_i} \right) + \rho \left( s_i - p_{y,i} \frac{\nabla_y I_i}{\nabla_y G_i} \right) \right), \quad (6)$$

[0073] 其中  $\rho(x)$  是用于移除估计离群值的稳健函数。其界定为

$$[0074] \quad \rho(x) = |x|^\alpha, 0 < \alpha < 1, \quad (7)$$

[0075] 以及  $p_{k,i}$ , 其中  $k$  在  $\{x, y\}$  中,为截断函数,设定为

$$[0076] \quad p_{k,i} = \frac{1}{\text{sign}(\nabla_k G_i) \cdot \max(|\nabla_k G_i|, m)}, \quad (8)$$

[0077] 其中  $\text{sign}(x)$  是符号运算符,在  $x$  为正或零的情况下输出1且否则输出-1。阈值  $m$  可用于避免除以零,且在一些实施例中凭经验设定为0.004。

[0078]  $I$  的数据项简单设定为

$$[0079] \quad E_2(I) = \sum_i \rho(I_i - I_{0,i}), \quad (9)$$

[0080] 其中  $\rho$  是等式(7)中界定的相同稳健函数。所述数据项可要求尤其对于重要且显著的边缘区域,结果与输入有噪声图像  $I_0$  的偏差不会超过阈值量。稳健函数可有益地用于拒绝来自  $I_0$  的噪声。

[0081] 正规化项可利用各向异性梯度张量特别地界定。其基于梯度比例图  $s$  中的值仅在特定方向中局部类似的事实。举例来说,  $s$  值应平滑地改变或沿着边缘比跨越所述边缘的值更恒定。在所有方向中均匀地使  $s$  平滑可沿着连续边缘产生不连续性或使清晰的边界模糊。

[0082] 因此,各向异性张量方案能够根据G的梯度方向保留清晰边缘。各向异性张量可表达为

$$[0083] \quad D(\nabla G_i) = \frac{1}{(\nabla G_i)^2 + 2\eta^2} \left( (\nabla G_i^\perp) (\nabla G_i^\perp)^T + \eta^2 \mathbf{1} \right), \quad (10)$$

[0084] 其中  $\nabla G_i^\perp$  是垂直于  $\nabla G_i$  的向量。 $\mathbf{1}$  是控制各向同性平滑的单位矩阵和标量。当  $\nabla G_i$  比  $\eta$  小得多时, 各向异性张量还原为各向同性。在其它更一般情况下, 各向异性张量可分解为

$$[0085] \quad D(\nabla G_i) = \begin{pmatrix} \mu_1 & 0 \\ 0 & \mu_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1^T \\ v_2^T \end{pmatrix}, \quad (11)$$

[0086] 其中  $D(\nabla G_i)$  的两个正交本征向量为

$$[0087] \quad v_1 = \frac{\nabla G_i}{|\nabla G_i|}, \quad v_2 = \frac{\nabla G_i^\perp}{|\nabla G_i|}, \quad (12)$$

[0088] 具有对应本征值

$$[0089] \quad \mu_1 = \frac{\eta^2}{((\nabla G_i)^2 + 2\eta^2)}, \quad \mu_2 = \frac{((\nabla G_i)^2 + \eta^2)}{((\nabla G_i)^2 + 2\eta^2)}. \quad (13)$$

[0090] 此形式使得有可能将  $s$  的正规化表达为

$$[0091] \quad E_3(s) = \sum_i \left( \mu_1 (v_1^T \nabla s_i)^2 + \mu_2 (v_2^T \nabla s_i)^2 \right). \quad (14)$$

[0092] 不同平滑损失可分别跨越和沿着边缘由方向  $v_1$  和  $v_2$  中的  $\mu_1$  和  $\mu_2$  控制。沿着边缘自然强加较强平滑。

[0093] 在界定等式 (3) 的每一项之后, 最终目标函数表达为

$$[0094] \quad E(s, I) = \sum_i \left( \rho(s_i - p_{x,i} \nabla_x I_i) + \rho(s_i - p_{y,i} \nabla_y I_i) \right) \\ + \lambda \sum_i \rho(I_i - I_{0,i}), + \beta \sum_i \left( \mu_1 (v_1^T \nabla s_i)^2 + \mu_2 (v_2^T \nabla s_i)^2 \right). \quad (15)$$

[0095] 等式 (15) 中的目标函数归因于稀疏项而非凸的。优化中的  $s$  和  $I$  的联合表示进一步使问题复杂。通过简单梯度下降自然地对其求解不能保证最佳性且可能导致甚至对于局部最小值极其缓慢的收敛。所说明的实施例采用加权最小平方方案, 其使得能够使用几个对应线性系统在不损失原始特性的情况下对等式 (15) 中的原始问题-目标函数-求解。然而, 存在可用于解决此问题的许多标准数值解决方案。

[0096] 初始地, 针对任何标量  $x$  的等式 (4) 中的稳健函数  $\rho(x)$  可近似为

$$[0097] \quad \rho(x) \approx \phi(x) \cdot x^2, \quad (16)$$

[0098] 其中  $\phi(x)$  界定为

$$[0099] \quad \phi(x) = \frac{1}{|x|^{2-\alpha} + \varepsilon}. \quad (17)$$

[0100] 此处,  $\varepsilon$  可为用以避免除以零的小数字。此形式实现将稳健函数分割为两个部分, 其中  $\phi(x)$  可视为对于  $x^2$  的权数。在过程 400 期间, 在再加权最小平方的惯例之后, 在优化期间交替更新  $\phi(x)$  和  $x^2$ , 因为  $\phi(x)$  和  $x^2$  的每一者可与其它项一起利用以形成较简单表示, 从

而有益于优化。通过使用加权最小平方方案,等式(3)可以向量形式重写如下:

$$[0101] \quad E(s, I) = (s - P_x C_x I)^T A_x (s - P_x C_x I)$$

$$[0102] \quad + (s - P_y C_y I)^T A_y (s - P_y C_y I) \quad (18)$$

$$[0103] \quad + \lambda (I - I_0) B (I - I_0) + \beta s L s,$$

[0104] 其中 $s$ 、 $I$ 和 $I_0$ 是 $s$ 、 $I$ 和 $I_0$ 的向量表示。 $C_x$ 和 $C_y$ 是用于计算 $x$ -和 $y$ -方向中的图像梯度的离散后向差矩阵。 $P_x$ 、 $P_y$ 、 $A_x$ 、 $A_y$ 和 $B$ 全部为对角矩阵,其第 $i$ 对角元素界定为

$$[0105] \quad (P_x)_{ii} = p_{x,i}, (A_x)_{ii} = \Phi(s_i - p_{x,i} \nabla_x I_i),$$

$$[0106] \quad (P_y)_{ii} = p_{y,i}, (A_y)_{ii} = \Phi(s_i - p_{y,i} \nabla_y I_i),$$

$$[0107] \quad B_{ii} = \Phi(I_i - (I_0)_i)。$$

[0108] 在其当中, $A_x$ 、 $A_y$ 和 $B$ 解释再加权过程且通常使用来自先前迭代的估计值计算; $P_x$ 和 $P_y$ 是来自所引导输入 $G$ 的规格化项。

[0109] 注意,等式(18)的最后项控制 $s$ 的空间平滑,其中矩阵 $L$ 是平滑拉普拉斯算子,以非零值的方式表达为

$$[0110] \quad L = C_x^T (\Sigma_1 V_x^2 + \Sigma_2 V_y^2) C_x + C_y^T (\Sigma_2 V_x^2 + \Sigma_1 V_y^2) C_y + 2C_y^T (\Sigma_1 - \Sigma_2) V_x V_y C_x, \quad (19)$$

[0111] 其中 $\Sigma_1$ 、 $\Sigma_2$ 、 $V_1$ 和 $V_2$ 全部为对角矩阵。其第 $i$ 对角元素界定为

$$[0112] \quad (\Sigma_1)_{ii} = \mu_1, (V_x)_{ii} = \nabla_x G_i / \max(|\nabla G_i|, m),$$

$$[0113] \quad (\Sigma_2)_{ii} = \mu_2, (V_y)_{ii} = \nabla_y G_i / \max(|\nabla G_i|, m)。$$

[0114] 接下来,过程400移动到框430,其中使用经去噪图像产生额外梯度比例图,使得过程400有利地采用交替最小化过程对等式(18)求解。每一迭代 $t$ 中 $s$ 和 $I$ 的结果表示为 $s^{(t)}$ 和 $I^{(t)}$ 。初始地, $s^{(0)} = 1$ ,其中元素全部为1且 $I^{(0)} = I_0$ 。通过将所有初始 $s_i$ 设定为1,可实现高平滑度。其产生对于 $E_3(s)$ 的零成本,对于优化来说是非常好的开始点。此初始化还使开始 $\nabla I$ 在许多细节方面与 $\nabla G$ 相同。接着在迭代 $t+1$ 处,以下两个子问题可循序求解。

[0115] 对 $s^{(t+1)}$ 求解:给定 $s^{(t)}$ 和 $I^{(t)}$ ,使 $E(s, I)$ 最小化以获得 $s^{(t+1)}$ 。通过取 $E(s, I)$ 对于 $s$ 的导数且将其设定为0,可获得稀疏线性系统

$$[0116] \quad (A_x^{(t,t)} + A_y^{(t,t)} + \beta L) s = A_x^{(t,t)} P_x C_x I^{(t)} + A_y^{(t,t)} P_y C_y I^{(t)}, \quad (20)$$

[0117] 其中使用 $s^{(t)}$ 和 $I^{(t)}$ 计算 $A_x^{(t,t)}$ 和 $A_y^{(t,t)}$ 。此可使用预先调节的共轭梯度(PCG)来求解。解由 $s^{(t+1)}$ 表示。

[0118] 对 $I^{(t+1)}$ 求解:给定 $s^{(t+1)}$ 和 $I^{(t)}$ ,使 $E(s, I)$ 最小化以获得 $I^{(t+1)}$ 。类似地,通过取 $E(s, I)$ 对于 $I$ 的导数且将其设定为0,用于对 $I$ 求解的最终稀疏线性系统为

$$[0119] \quad (C_x^T (P_x)^2 A_x^{(t+1,t)} C_x + C_y^T (P_y)^2 A_y^{(t+1,t)} C_y + \lambda B^{(t+1,t)}) I = (C_x^T P_x A_x^{(t+1,t)} + C_y^T P_y A_y^{(t+1,t)}) s + \lambda B^{(t+1,t)} I_0, \quad (21)$$

[0120] 其中使用 $s^{(t+1)}$ 和 $I^{(t)}$ 计算 $A_x^{(t+1,t)}$ 和 $A_y^{(t+1,t)}$ 。 $B^{(t+1,t)}$ 取决于 $I^{(t)}$ 。也使用PCG对线性系统求解以获得 $I^{(t+1)}$ 。

[0121] 所述两个步骤重复直至在决策框435处过程400确定 $s$ 和 $I$ 的改变不超过阈值为

止。在一些实施例中，三到六个迭代可足以产生视觉上合意的结果。

[0122] 与例如BM3D、联合BF和现有暗闪光灯方法等现有图像去噪方法相比，本文中所揭示的迭代过程400提供若干优点，例如最终经去噪图像中颜色、对比度和图像结构的保留以及避免沿着边缘的假影。具体来说，与现有暗闪光灯去噪方法的结果相比，本文所描述的去噪过程的结果具有较好总体对比度且能够避免沿着有噪声的边缘的阶梯假影。两种方法强制执行与原始RGB图像的颜色类似性和与所引导图像的梯度类似性。然而，现有暗闪光灯方法使用试探性稀疏梯度约束，其本身并不较好地适于解决原始RGB图像与NIR闪光灯图像之间的差异。当使用常规暗闪光灯方法时，RGB图像的梯度的较大改变可导致图像对比度的减小。相比而言，如本文所描述的方法400使用梯度比例图来较好地建模图像对之间的偏差和类似性。因此，去噪方法400能够将有噪声的RGB图像的梯度约束为接近目标图像场景的地面实况图像的梯度（且无噪声）。此外，过程400中使用的各向异性张量方案有助于减少稀疏梯度约束引起的阶梯假影。

#### [0123] 去噪过程图像概述

[0124] 图5说明上文描述的去噪过程400的各种图像和阶段。在此实施例中，原始RGB图像500具有高噪声级，且NIR闪光灯图像505的一些梯度与有噪声RGB图像500的梯度相比反转且较弱。图5还说明梯度比例图510、所估计经去噪图像515的迭代，和最终经去噪图像520。

#### [0125] 术语

[0126] 所属领域的技术人员将进一步了解，结合本文所揭示的实施方案而描述的各种说明性逻辑块、模块、电路和过程步骤可实施为电子硬件、计算机软件或两者的组合。为清楚说明硬件与软件的此互换性，上文已大致关于其功能性而描述了各种说明性组件、块、模块、电路和步骤。此类功能性是实施为硬件还是软件取决于特定应用和强加于整个系统的设计约束。熟练的技术人员可针对每一特定应用以不同方式来实施所描述功能性，但此类实施方案决策不应被解释为会导致脱离本发明的范围。所属领域的技术人员将认识到一个部分或一部分可包括小于或等于整体的内容。举例来说，像素集合的一个部分可能是指那些像素的子集合。

[0127] 可使用经设计以执行本文所描述的功能的通用处理器、数字信号处理器(DSP)、专用集成电路(ASIC)、现场可编程门阵列(FPGA)或其它可编程逻辑装置、离散门或晶体管逻辑、离散硬件组件或其任何组合来实施或执行结合本文中所揭示的实施方案而描述的各种说明性逻辑块、模块和电路。通用处理器可以是微处理器，但在替代方案中，处理器可以是任何常规处理器、控制器、微控制器或状态机。处理器还可实施为计算装置的组合，例如，DSP与微处理器的组合、多个微处理器、结合DSP核心的一或多个微处理器，或任何其它此类配置。

[0128] 结合本文中所揭示的实施方案而描述的方法或过程的步骤可直接体现于硬件、由处理器执行的软件模块或其两者的组合中。软件模块可驻留在RAM存储器、快闪存储器、ROM存储器、EPROM存储器、EEPROM存储器、寄存器、硬盘、可装卸式磁盘、CD-ROM，或此项技术中已知的任一其它形式的非暂时性存储媒体中。示范性计算机可读存储媒体耦合到处理器，使得处理器可从计算机可读存储媒体读取信息且向计算机可读存储媒体写入信息。在替代方案中，存储媒体可与处理器成一体式。处理器和存储媒体可驻留在ASIC中。ASIC可驻留在用户终端、相机或其它装置中。在替代方案中，处理器和存储媒体可作为离散组件驻留于用

户终端、相机或其它装置中。

[0129] 本文中包含数个标题,是为了参考和辅助定位各个部分。这些标题并不希望限制关于其描述的概念的范围。这些概念可能在整个说明书中都适用。

[0130] 提供对所揭示的实施方案的前述描述是为了使得所属领域的技术人员能够制作或使用本发明。所属领域的技术人员将易于了解对这些实施方案的各种修改,且本文中定义的一般原理可应用于其它实施方案而不脱离本发明的精神或范围。因此,本发明并不希望限于本文中所展示的实施方案,而是应被赋予与本文中所揭示的原理和新颖特征相一致的最广范围。

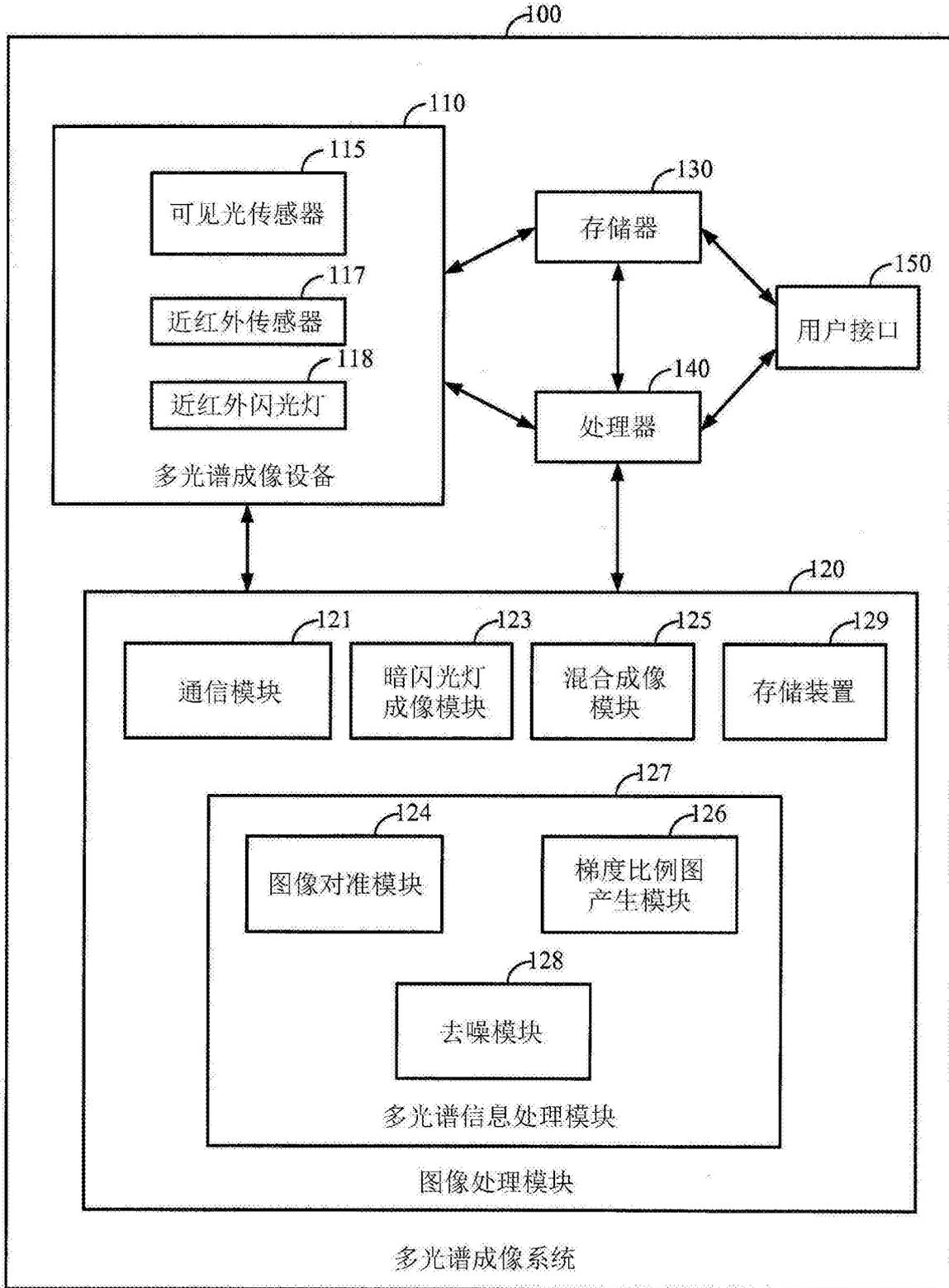


图1

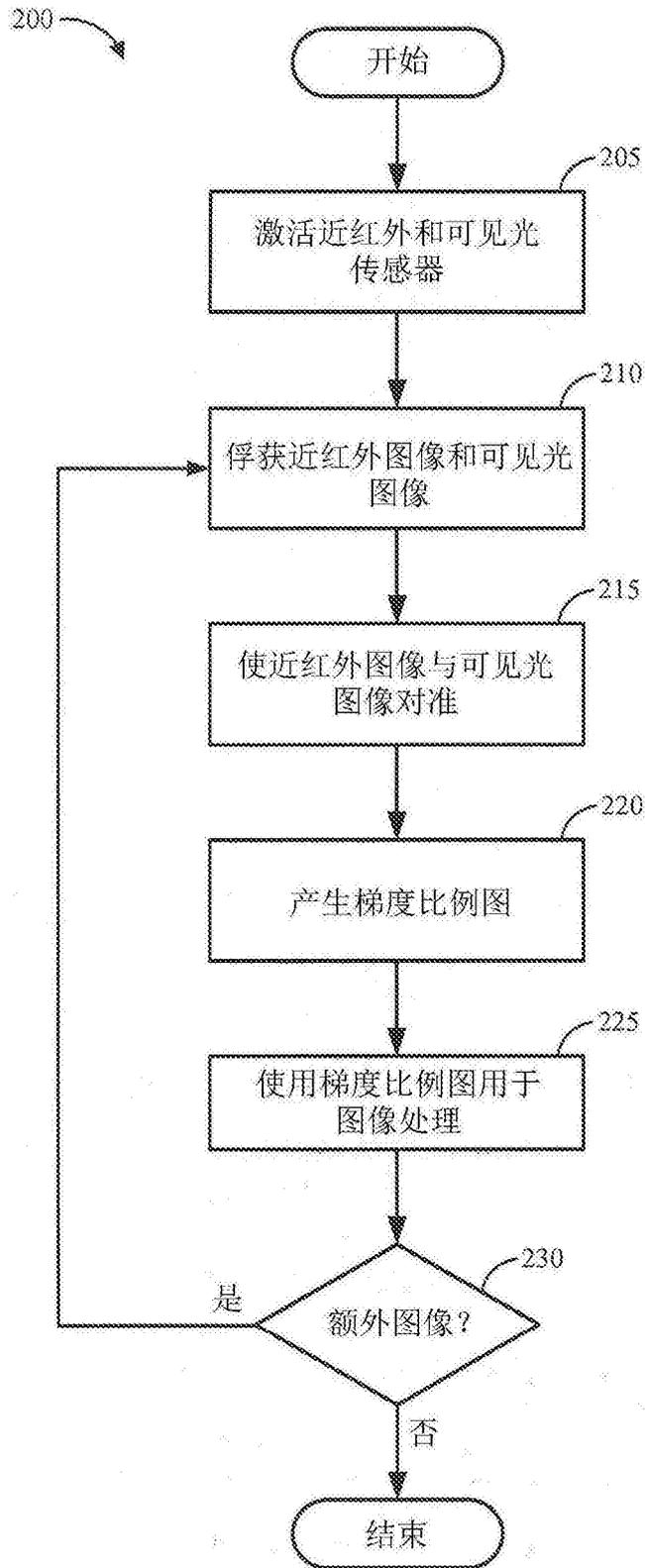


图2

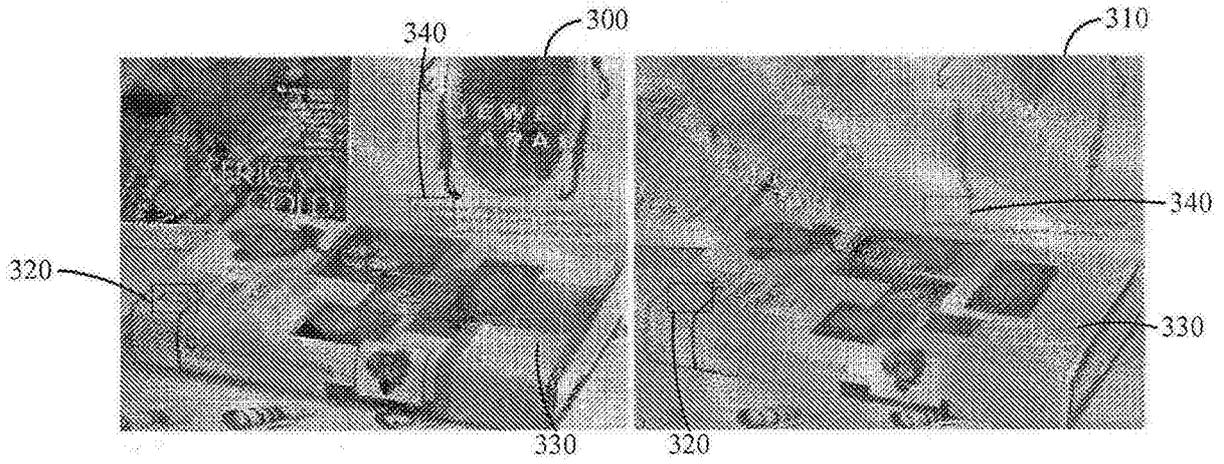


图3A

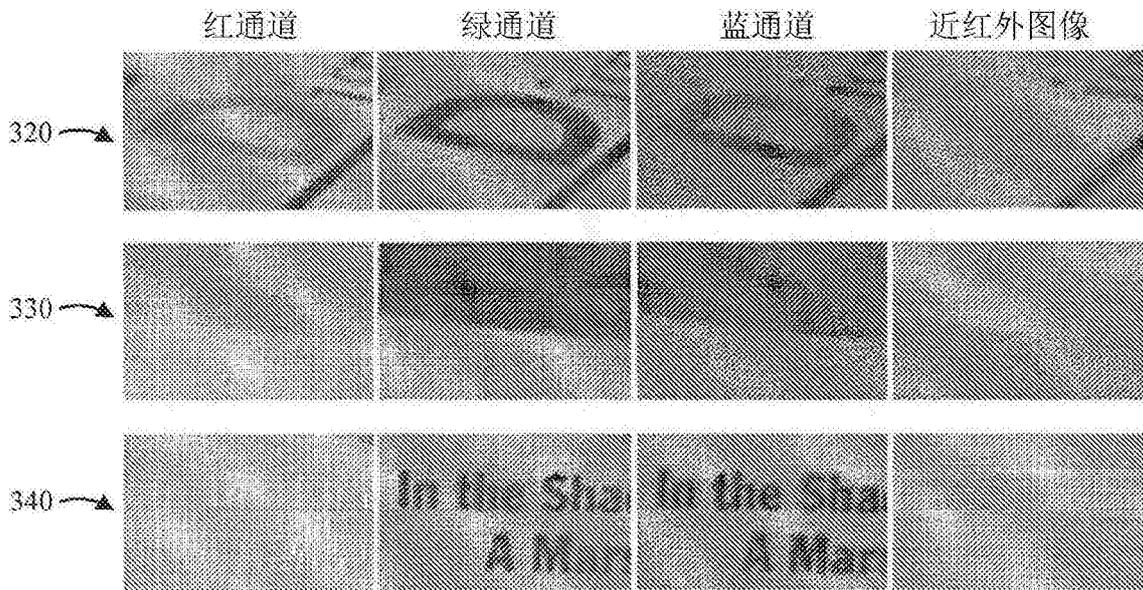


图3B

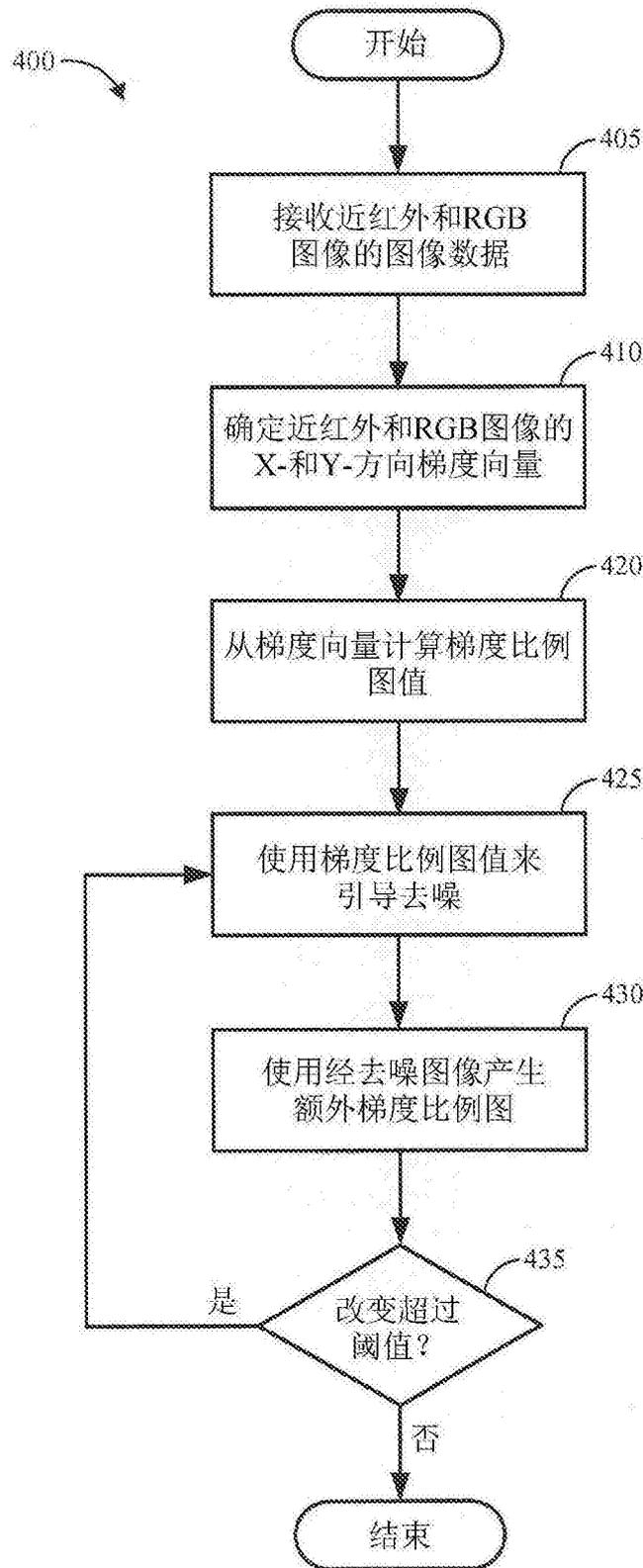


图4

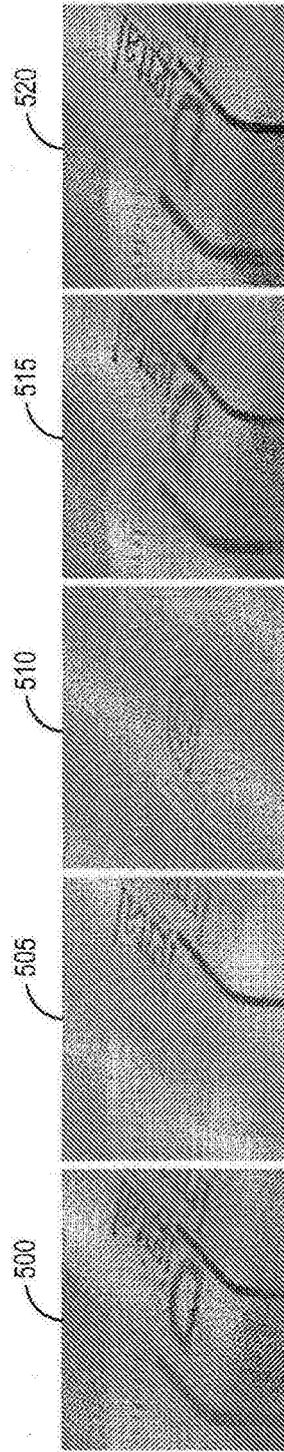


图5