



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102870044 A

(43) 申请公布日 2013.01.09

(21) 申请号 201180015003.7

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

(22) 申请日 2011.03.10

代理人 康建峰 陈炜

## (30) 优先权数据

12/728,486 2010.03.22 US

## (51) Int. Cl.

G03B 15/05(2006.01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

G03B 17/08(2006.01)

2012.09.20

H04N 5/225(2006.01)

(86) PCT申请的申请数据

H04N 5/243(2006.01)

PCT/US2011/027818 2011.03.10

## (87) PCT申请的公布数据

W02011/119336 EN 2011.09.29

(71) 申请人 伊斯曼柯达公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 肯尼斯·艾伦·帕鲁利斯基

托马斯·伊桑·马登

约翰·兰德尔·弗雷德隆德

凯文·爱德华·斯波尔丁

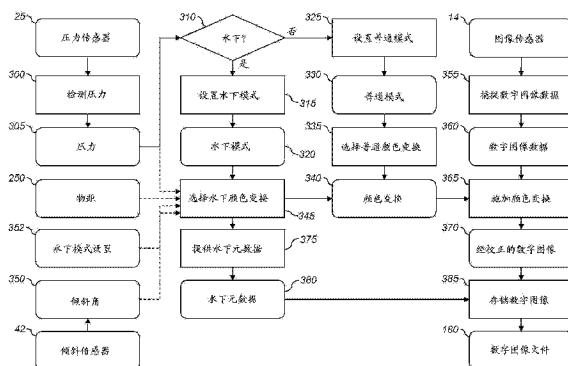
权利要求书 2 页 说明书 21 页 附图 7 页

## (54) 发明名称

具有压力传感器的水下相机

## (57) 摘要

一种供捕捉水下数字图像使用的数字图像捕捉设备，包括：防水壳；用于捕捉数字图像的图像传感器；用于将场景成像到所述图像传感器上的光学系统；用于感测所述防水壳之外的压力的装置；以及处理器。所述处理器执行以下步骤：确定感测到的压力；使用所述图像传感器来捕捉场景的数字图像；使用感测到的压力来确定所述数字图像捕捉设备是否正在水下工作的指示并且相应地选择水下摄影模式或普通摄影模式；根据所选择的摄影模式来处理捕捉到的数字图像；以及将经处理的数字图像存储在处理器可存取存储器中。



1. 一种供捕捉水下数字图像使用的数字图像捕捉设备,包括:

防水壳;

用于捕捉数字图像的图像传感器;

用于将场景成像到所述图像传感器上的光学系统;

用于感测所述防水壳之外的压力的装置;以及

用于执行以下步骤的处理器:

确定感测到的压力;

使用所述图像传感器来捕捉场景的数字图像;

使用感测到的压力来确定所述数字图像捕捉设备是否正在水下工作的指示并且相应地选择水下摄影模式或普通摄影模式;

根据所选择的摄影模式来处理捕捉到的数字图像;以及

将经处理的数字图像存储在处理器可存取存储器中。

2. 根据权利要求 1 所述的数字图像捕捉设备,其中,所述处理器进一步执行将与所选择的摄影模式有关的元数据与所存储的数字图像相关联的步骤。

3. 根据权利要求 1 所述的数字图像捕捉设备,其中,所述处理器进一步执行将与感测到的压力有关的元数据与所存储的数字图像相关联的步骤。

4. 根据权利要求 1 所述的数字图像捕捉设备,其中,根据所选择的摄影模式来调整捕捉到的数字图像的颜色再现。

5. 根据权利要求 4 所述的数字图像捕捉设备,其中,使用所述数字图像捕捉设备中的所述处理器来调整捕捉到的数字图像的颜色再现。

6. 根据权利要求 4 所述的数字图像捕捉设备,其中,所述处理器进一步执行将提供所选择的摄影模式的指示的元数据与所存储的数字图像相关联的步骤,并且其中,使用外部计算设备中的处理器来响应于相关联的元数据而调整所存储的数字图像的颜色再现。

7. 根据权利要求 4 所述的数字图像捕捉设备,其中,当所述数字图像捕捉设备以所述水下摄影模式工作时,通过施加水下颜色变换来调整捕捉到的数字图像的颜色再现。

8. 根据权利要求 7 所述的数字图像捕捉设备,其中,响应于感测到的压力而调整与所述水下颜色变换相关联的颜色再现特性。

9. 根据权利要求 7 所述的数字图像捕捉设备,进一步包括用于确定所述数字图像捕捉设备与所述场景中的主要对象之间的物距的装置,并且其中,当所述数字图像捕捉设备以所述水下摄影模式工作时,响应于所确定的物距而调整与所述水下颜色变换相关联的颜色再现特性。

10. 根据权利要求 1 所述的数字图像捕捉设备,其中,所述根据所选择的摄影模式来处理捕捉到的数字图像的步骤包括:响应于所选择的摄影模式通过数字图像锐化算法来调整施加于捕捉到的数字图像的锐化程度。

11. 根据权利要求 10 所述的数字图像捕捉设备,其中,针对所述水下摄影模式降低施加于捕捉到的数字图像的红颜色通道的锐化程度。

12. 根据权利要求 1 所述的数字图像捕捉设备,其中,所述根据所选择的摄影模式来处理捕捉到的数字图像的步骤包括:响应于所选择的摄影模式通过降噪算法来调整施加于捕捉到的数字图像的降噪程度。

13. 根据权利要求 1 所述的数字图像捕捉设备, 其中, 当感测到的压力超过预定阈值时, 提供警告信号。

14. 根据权利要求 13 所述的数字图像捕捉设备, 其中, 所述警告信号包括激活信号灯、闪烁电子闪光灯或者在显示屏上显示消息或图标。

15. 根据权利要求 1 所述的数字图像捕捉设备, 其中, 所述处理器进一步执行以下步骤: 当所述数字图像捕捉设备以所述水下摄影模式工作时, 使用感测到的压力来确定所述数字图像捕捉设备与水的表面之间的深度, 并且其中, 当所确定的深度超过预定阈值时, 向用户提供警告信号。

16. 根据权利要求 1 所述的数字图像捕捉设备, 其中, 当感测到的压力超过预定阈值时, 使所述数字图像捕捉设备掉电。

17. 根据权利要求 1 所述的数字图像捕捉设备, 其中, 所述处理器进一步执行以下步骤: 当所述数字图像捕捉设备以所述水下摄影模式工作时, 使用感测到的压力来确定所述数字图像捕捉设备与水的表面之间的深度, 并且其中, 当所确定的深度超过预定阈值时, 使所述数字图像捕捉设备掉电。

18. 根据权利要求 1 所述的数字图像捕捉设备, 其中, 所述数字图像捕捉设备是数字静态相机。

19. 根据权利要求 1 所述的数字图像捕捉设备, 其中, 所述数字图像捕捉设备是数字视频相机。

20. 根据权利要求 1 所述的数字图像捕捉设备, 进一步包括水下麦克风, 并且其中, 当所述数字图像捕捉设备以所述水下摄影模式工作时, 所述数字图像捕捉设备使用所述水下麦克风来记录水下声音。

21. 根据权利要求 1 所述的数字图像捕捉设备, 进一步包括用于当所述数字图像捕捉设备在水下工作时记录声音的水下麦克风以及用于当所述数字图像捕捉设备不在水下工作时记录声音的空气麦克风, 并且其中, 所述数字图像捕捉设备根据所述数字图像捕捉设备是以所述水下摄影模式工作还是以所述普通摄影模式工作来自动选择所述水下麦克风或所述空气麦克风。

22. 根据权利要求 1 所述的数字图像捕捉设备, 进一步包括电子闪光照明源, 并且其中, 响应于所述数字图像捕捉设备是否以所述水下摄影模式工作而调整由所述电子闪光照明源产生的闪光照明。

23. 根据权利要求 21 所述的数字图像捕捉设备, 其中, 通过调整所述闪光照明的相关色温或照明水平来调整所述闪光照明。

24. 根据权利要求 21 所述的数字图像捕捉设备, 进一步包括用于确定所述数字图像捕捉设备与所述场景中的主要对象之间的物距的装置, 并且其中, 当所述数字图像捕捉设备以所述水下摄影模式工作时, 响应于所确定的物距而调整所述闪光照明。

## 具有压力传感器的水下相机

### 技术领域

[0001] 本发明涉及使用水下相机捕捉数字图像的领域,更特别地涉及使用压力传感器来自动选择水下摄影模式。

### 背景技术

[0002] 水下摄影对于许多应用非常有用。例如,当潜水者探险珊瑚礁或失事船只时可能期望拍摄照片,当孩子们在游泳池中玩耍时可能喜欢给他们的朋友拍摄水下照片。为了捕捉水下照片,必须将相机封入在防水壳中以防止水损坏相机的内部部件。

[0003] 在水下捕捉到的照片的特性在于水会影响例如颜色再现、闪光、图像锐度和空间噪声(即粒度)的各种图像属性。这些图像属性被影响的程度是包括对象距离、水的深度、水的清澈度以及是否使用电子闪光灯来照明场景的多种因素的函数。这些因素会引起水下照片的图像质量每张与每张显著不同。

[0004] 当使用传统胶卷打印捕捉到的水下照片时,通常使用所谓的场景平衡算法来分析这些照片以在图像捕捉过程中来估计适合于校正在捕捉到的图像中引入的任何色偏的颜色平衡校正的量。通常优化这样的场景平衡算法以校正当在例如日光、钨或荧光的各种光源下的空气中拍摄照片时所引入的色偏。将该算法应用于水下照片,它们通常会去除由水下条件所引入的色偏的一部分,但它们通常不会产生最佳效果。通常必要的是通过“手动平衡”图像来产生最佳再现图像。使用传统的光学打印胶卷,不可能补偿与水下摄影相关的例如闪光、锐度损失和较高水平的图像噪声的其他伪影。

[0005] Fredlund的名称为“Method and apparatus for printing digital images”的美国专利 6,263,792,公开了一种用于打印一卷胶卷的方法,其中至少一幅图像是在水下捕捉到的。通过分析图像或通过读取从客户接收的信息来识别在水下捕捉到的照片。然后以预定的方式来修改水下照片。所公开的修改包括颜色平衡调整、对比度增强和图像噪声抑制。该方法的缺点是使用客户提供的信息来识别水下照片可能是麻烦的,通过分析图像来自动识别水下图像的过程易于产生误识别的错误。

[0006] Keelan等人的名称为“Color reversal photographic elements adapted for underwater photography”的美国专利 5,382,499 公开了一种设计用于水下摄影的摄影胶卷。该专利公开了在水下摄影中出现的颜色平衡问题,该问题源于通过水传输的较长可见波长红光的明显衰减。在水中每 3 米的光传输距离内吸收了大约一半的红光。这导致具有明显青色色偏的水下场景,表示缺乏红光。通过增大相对于绿光记录层单元速度的红光记录层单元的速度,提供了具有改进的水下成像能力的本发明的颜色反转摄影胶卷。该胶卷能够合适地校正由于仅仅针对一种特定场景物距的水下拍照条件减少的色偏。

[0007] Teremy等人的名称为“Pressure sensor control for electrically responsive camera feature”的美国专利 5,710,947,公开了包括压力传感器的摄影胶卷相机。针对包括相机激活开关、定向开关、胶卷传输计算器、水的深度传感器和相机泄漏检测器的压力传感器描述了多种不同的应用。当使用该压力传感器作为水的深度传感器时,提供摄影显示

以表示深度。

[0008] 数字相机已经变得非常普遍并且已在包括水下摄影的摄影的几乎所有领域中很大程度上取代了传统的胶卷相机。使用数字相机的水下摄影经历了传统胶卷相机遇到的大多数相同问题,例如颜色再现的变化。例如 Canon PowerShot SD500Digital ELPH Camera的一些数字相机,包括可以使用用户可选择水下模式来手动表示相机在水下被使用。该数字相机然后可以调整颜色再现特性以产生典型的水下摄影环境。然而,需要注意的是手动选择水下模式可能是麻烦的,此外针对水下摄影条件从图像到图像可以广泛变化的事实没有采取预防措施。

## 发明内容

[0009] 本发明提供了一种供捕捉水下数字图像使用的数字图像捕捉设备,其包括:

[0010] 防水壳;

[0011] 用于捕捉数字图像的图像传感器;

[0012] 用于将场景成像到图像传感器上的光学系统;

[0013] 用于感测防水壳之外的压力的装置;以及

[0014] 用于执行以下步骤的处理器:

[0015] 确定感测到的压力;

[0016] 使用图像传感器来捕捉场景的数字图像;

[0017] 使用感测到的压力来确定数字图像捕捉设备是否正在水下工作的指示并且相应地选择水下摄影模式或普通摄影模式;

[0018] 根据所选择的摄影模式来处理捕捉到的数字图像;以及

[0019] 将经处理的数字图像存储在处理器可存取存储器中。

[0020] 本发明具有以下优点:可以响应于感测到的压力而自动选择水下摄影模式而无需用户干预。

[0021] 本发明具有另一个优点:当数字相机以水下摄影模式工作时,可以相对于普通摄影模式自动调整包括颜色校正、锐度和降噪的各种图像处理操作的性能,以计及水下摄影环境的特性。

[0022] 本发明具有又一个优点:可以在水下摄影模式下自动调整数字图像的颜色再现,以计及作为深度和物距的函数的摄影条件的变化。

## 附图说明

[0023] 图1是示出了数字相机系统的部件的高级别图;

[0024] 图2是描述了用于处理数字相机中的数字图像的典型图像处理操作的流程图;

[0025] 图3示出了根据本发明的水下摄影场景;

[0026] 图4是示出了根据本发明的数字相机的一个实施方式的图;

[0027] 图5是示出了根据本发明的、使用水下摄影模式来处理数字图像的步骤的流程图;

[0028] 图6是示出了用于当数字相机在过深的深度下工作时向用户提供警告的方法的流程图;

- [0029] 图 7 示出了根据本发明的被使用于调整水下颜色再现的增益因子函数的曲线图。
- [0030] 需要理解的是,附图的目的在于说明本发明的构思并且可能不是根据比例绘制的。

## 具体实施方式

[0031] 在以下描述中,将描述通常会以软件程序进行实施的本发明的优选实施方式。本领域的技术人员将容易认识到还可以以硬件来构造这些软件的等同物。因为图像操作算法和系统是公知的,所以本描述将被特别针对形成根据本发明的系统和方法的一部分或更直接地与根据本发明的系统和方法相互配合的算法和系统。这些算法和系统以及用于产生和处理相关图像信号的硬件或软件的在文中没有具体示出或描述的其他方面可以选自现有技术中已知的这样的系统、算法、部件和元件。给定在下面的资料中根据本发明描述的系统,对实施本发明是有用的在此没有具体示出、建议或描述的软件是传统的并且在本领域的技术人员的认识范围之内。

[0032] 此外,如在此使用的,用于执行本发明的方法的计算机程序可以存储在计算机可读存储介质中,其可以包括:例如磁盘(例如硬盘驱动器或软盘)或磁带的磁性存储介质;例如光盘、光带或机器可读条形码的光存储介质;例如随机存取存储器(RAM)或只读存储器(ROM)的固态电存储设备;或被采用来存储具有用于控制一台或更多台计算机实践根据本发明的方法的指令的计算机程序的任何其他物理设备或介质。

[0033] 因为用于实现成像设备的数字相机以及用于信号捕捉、处理和显示的相关电路是公知的,本描述将特别针对形成根据本发明的方法和设备的一部分或更加直接地与根据本发明的方法和设备配合的元件。没有在此具体示出或描述的元件可以选自现有技术中已知的元件。以软件的形式提供将要描述的实施方式的某些方面。给定在下面的资料中根据本发明描述的系统,对实施本发明是有用的在此没有具体示出、建议或描述的软件是传统的并且在本领域的技术人员的认识范围之内。

[0034] 本发明包含在此描述的实施方式的组合。引用“特定实施方式”等指在本发明的至少一个实施方式中存在的特征。单独引用“实施方式”或“特定实施方式”等未必是指相同的实施方式;然而,这样的实施方式不相互排斥,除非有这样的表示或对于本领域的技术人员是非常明显的。引用“方法”或“更多个方法”等的单数或复数使用不意在限制。应当注意的是,除非通过上下文明确指出或要求,词语“或”在本公开中以非排他意义来使用。

[0035] 以下对数字相机的描述对于本领域的技术人员是熟悉的。显然,可以具有该实施方式的多种变型并且可以对该实施方式的多种变型进行选择以降低成本、增大特征或改善相机特性。

[0036] 图 1 示出了包括数字相机 10 的数字摄影系统的框图。优选地,数字相机 10 是便携式电池操作设备,足够小以在捕捉或浏览图像时可以易于用户手持。数字相机 10 生成使用图像存储器 30 存储为数字图像文件的数字图像。在此使用的短语“数字图像”或“数字图像文件”是指任何数字图像文件,比如数字静态图像或数字视频文件。

[0037] 在一些实施方式中,数字相机 10 捕捉运动视频图像和静态图像二者。数字相机 10 还可以包括其他功能,包括但不限于数字音乐播放器(例如 MP3 播放器)、移动电话、GPS 接收器或可编程数字助理(PDA)的功能。

[0038] 数字相机 10 包括具有可调整光圈的镜头 4 和可调整快门 6。在优选的实施方式中，镜头 4 是变焦镜头并通过变焦和聚焦电机驱动器 8 来控制。镜头 4 将来自于场景(未示出)的光聚焦到例如单芯片的彩色 CCD(电荷耦合元件)或 CMOS(互补金属氧化物半导体)图像传感器的图像传感器 14 上。镜头 4 是用于在图像传感器 14 上形成场景的图像的一种类型的光学系统。在其他实施方式中，光学系统可以使用具有可变或固定焦点的固定焦距镜头。

[0039] 通过模拟信号处理器(ASP)和模拟数字(A/D)转换器 16 将图像传感器 14 的输出转换为数字形式并将其暂时存储在缓冲存储器 18 中。随后处理器 20 使用存储在固件存储器 28 中的嵌入式软件程序(例如固件)来操作存储在缓冲存储器 18 中的图像数据。在一些实施方式中，使用只读存储器(ROM)将软件程序永久地存储在固件存储器 28 中。在其他实施方式中，可以通过使用例如快闪 EPROM(可擦除可编程只读存储器)存储器来修改固件存储器 28。在这样的实施方式中，外部设备可以使用有线接口 38 或无线调制解调器 50 来更新存储在固件存储器 28 中的软件程序。在这样的实施方式中，还可以使用固件存储器 28 来存储图像传感器校准数据、用户设置选择和当相机关断时必须保存的其他数据。在一些实施方式中，处理器 20 包括程序存储器(未示出)，存储在固件存储器 28 中的软件程序在被处理器 20 执行之前被拷贝到该程序存储器中。

[0040] 将要理解的是，可以通过使用单个可编程处理器或通过使用多个可编程处理器来提供处理器 20 的功能，该可编程处理器包括一个或更多个数字信号处理器(DSP)设备。可替选地，可以通过定制电路(例如专门设计用于在数字相机中使用的一个或更多个定制集成电路(IC))或通过可编程处理器和定制电路的组合来提供处理器 20。将要理解的是，使用公共数据总线来制造在图 1 中所示的处理器 20 与部分或所有的不同部件之间的连接器。例如，在一些实施方式中，可以使用公共数据总线在处理器 120、缓冲存储器 18、图像存储器 30 和固件存储器 28 之间进行连接。

[0041] 然后使用图像存储器 30 存储经处理的图像。需要理解的是图像存储器 30 可以是为本领域的技术人员已知的任何形式的存储器，其包括但不限于可移动快闪存储器卡、内部快闪存储器芯片、磁性存储器或光学存储器。在一些实施方式中，图像存储器 30 可以包括内部快闪存储器芯片和到例如安全数字(SD)卡的可移动快闪存储器卡的标准接口二者。可替选地，可以使用不同的存储卡格式，例如微 SD 卡、致密闪存(CF)卡、多媒体卡(MMC)、xD 卡或存储条。

[0042] 图像传感器 14 由时序发生器 12 来控制，该时序发生器 12 产生各种时钟信号以选择行和像素以及使 ASP 和 A/D 转换器 16 的操作同步。图像传感器 14 可以具有例如 12.4 兆像素( $4088 \times 3040$  像素)以提供大约  $4000 \times 3000$  像素的静态图像文件。为了提供彩色图像，图像传感器通常覆盖有滤色器阵列，该滤色器阵列提供具有包括不同颜色像素的像素阵列的图像传感器。可以以多种不同的图案来布置不同颜色像素。作为一个示例，可以使用如在 Bayer 的共同受让美国专利 3,971,065 “Color imaging array” 中描述的公知的 Bayer 滤色器阵列来布置不同的颜色像素，该专利的公开内容通过引用合并在本文中。作为第二个示例，可以如在 Compton 和 Hamilton 于 2007 年 2 月 1 日提交的名称为 “Image sensor with improved light sensitivity”的共同受让美国专利申请公开 2007/0024931 中所描述的那样来布置不同的颜色像素，该专利的公开内容通过引用合并在本文中。这些示例并

不是限制性的,可以使用许多其他颜色图案。

[0043] 将要理解的是图像传感器 14、时序发生器 12 以及 ASP 和 A/D 转换器 16 可以是分别制造的集成电路,或者它们可以被制造为与 CMOS 图像传感器共同制造的单个集成电路。在一些实施方式中,单个集成电路可以执行在图 1 中所示的部分其他功能,包括由处理器 20 提供的部分功能。

[0044] 当由时序发生器 12 以第一模式致动时,图像传感器 14 用于提供较低分辨率传感器图像数据的动态序列以构成图像,该预览模式用于当捕捉视频图像以及还用于当预览待捕捉的静态图像时。可以将该预览模式传感器图像数据提供为例如具有  $1280 \times 720$  像素的 HD 分辨率图像数据,或提供为例如具有  $640 \times 480$  像素的 VGA (视频图形阵列) 分辨率图像数据或使用与图像传感器的分辨率相比较具有显著更少列和行数据的其他分辨率。

[0045] 可以通过组合具有相同颜色的相邻像素值,或通过消除某些像素值或通过组合某些颜色像素值并同时消除其他颜色像素值来提供预览模式传感器图像数据。可以如在 Parulski 等人的名称为“*Electronic camera for initiating capture of still images while previewing motion images*”的共同受让的美国专利 6,292,218 中所描述的那样来处理预览模式图像数据,该专利通过引用合并在本文中。

[0046] 当由时序发生器 12 以第二模式致动时,图像传感器 14 还用于提供高分辨率的静态图像数据。可以将最终模式传感器图像数据提供为高分辨率输出图像数据,最终模式传感器图像数据对于具有高照明水平的场景来说包括图像传感器的所有像素,并且可以为例如具有  $4000 \times 3000$  像素的 12 兆像素的最终图像数据。在较低照明水平下,通过对图像传感器上的颜色相同的一些数量的像素进行“面元划分(binning)”来提供最终传感器图像数据,以增强信号水平以及因此提高传感器的“快门速度”(ISO 速度)。

[0047] 通过由处理器 20 提供的控制信号来控制变焦和聚焦电机驱动器 8,以提供合适的焦距设置并将场景聚焦到图像传感器 14 上。通过控制可调整光圈和可调整快门 6 的焦比和曝光时间、经由时序发生器 12 的图像传感器 14 的曝光时间段以及 ASP 和 A/D 转换器 16 的增益(即 ISO 速度)设置来控制图像传感器 14 的曝光水平。处理器 20 还控制可以对场景进行照明的闪光灯 2。在本发明的一些实施方式中,闪光灯 2 具有可调整的相关色温。例如,可以使用在 Miller 等人的名称为“*Lamp with adjustable color*”的美国专利申请公开 2008/0297027 中公开的闪光灯来当数字相机 10 在如后面将要描述的在水下工作时产生具有高比例红光的照明。

[0048] 如在 Parulski 等人的名称为“*Electronic Camera with Rapid Automatic Focus of an Image upon a Progressive Scan Image Sensor*”的共同受让美国专利 5,668,597 中所描述的那样,可以通过使用“通过镜头(through-the-lens)”的自动聚焦以第一模式来聚焦数字相机 10 的镜头 4,该专利通过引用合并在本文中。这通过如下方式来完成:使用变焦和聚焦电机驱动器 8 将镜头 4 的焦点位置调整到从在近焦点位置到无限远焦点位置之间的范围内的多个焦点位置,而处理器 20 确定提供用于由图像传感器 14 捕捉的图像的中心部分的峰值锐度值的最近焦点位置。对应于最近焦点位置的焦点距离可以用于若干个目的,例如自动设置合适的场景模式,并且可以与其他镜头和相机设置一起作为元数据存储在图像文件中。

[0049] 为感测数字相机 10 的方位,可以包括可选的倾斜传感器 42。倾斜传感器在现有技

术中是公知的并已经被结合到例如电子游戏系统和手机的许多普通产品中。通常，倾斜传感器使用加速计来感测设备的方位变化。在本发明的一个实施方式中，倾斜传感器 42 提供表示相对于水平方向的倾斜角的信号。可以使用正的倾斜角来表示相机相对于水平方向向上倾斜，以及可以使用负的倾斜角来表示相机相对于水平方向向下倾斜。

[0050] 处理器 20 产生暂时存储在显示存储器 36 中并在图像显示器 32 上显示的菜单和低分辨率颜色图像。图像显示器 32 为典型的有源矩阵彩色液晶显示器(LCD)，但是可以使用例如有机发光二极管(OLED)显示器的其他类型的显示器。视频接口 44 提供从数字相机 10 到例如平板 HDTV 显示器的视频显示器 46 的视频输出信号。在预览模式或视频模式下，通过处理器 20 来操作来自缓冲存储器 18 的数字图像数据，以在图像显示器 32 上显示通常为彩色图像的动态预览图像序列。在预览模式下，使用来自存储在图像存储器 30 中的图像数据文件的图像数据来产生在图像显示器 32 上显示的图像。

[0051] 响应于由用户控件 34 提供的用户输入而控制在图像显示器 32 上显示的图形用户接口。使用用户控件 34 来选择例如视频捕捉模式、静态捕捉模式和预览模式的各种相机模式，并启动静态图像的捕捉和记录动态图像。在一些实施方式中，当用户部分地按下作为用户控件 34 之一的快门按钮(例如图 4 中所示的图像捕捉按钮 290)时，则启动上面描述的第一模式(即静态预览模式)，而当用户完全地按下快门按钮时，则启动第二模式(即静态图像捕捉模式)。还使用用户控件 34 来打开相机、控制镜头 4 并启动照片拍摄过程。用户控件 34 通常包括按钮、摇臂开关、操纵杆或旋转刻度盘的某种组合。在一些实施方式中，通过使用覆盖在图像显示器 32 上的触摸屏来提供一些用户控件 34。在其他实施方式中，可以使用另外的状态显示器或图像显示器。

[0052] 可以使用用户控件 34 选择的相机模式包括“水下摄影”模式和“定时器”模式，该“水下摄影”模式将在后面参照图 5 进行描述。当选择“定时器”模式时，在用户完全按下快门按钮之后并在处理器 20 启动捕捉静止图像之前会出现短暂延迟(例如 10 秒)。

[0053] 如参照图 5 后面将要描述的，可以使用数字相机 10 上的压力传感器 25 来提供用于实施本发明的深度信息。在本发明的优选实施方式中，压力传感器 25 是感测数字相机 10 外部的压力的压力传感器。在可替选的实施方式中，可以使用湿度传感器来代替压力传感器 25 或除了压力传感器 25 之外可以使用湿度传感器来确定数字相机 10 是否正在水下使用。

[0054] 连接至处理器 20 的音频编解码器 22 从麦克风 24 接收音频信号并向扬声器 26 提供音频信号。这些部件可以将音轨与视频序列或静止图像一起记录并回放。如果数字相机 10 是例如组合式相机移动电话的多功能设备，则麦克风 24 和扬声器 26 可以用于电话谈话。在一些实施方式中，麦克风 24 能够记录空气中的声音并且还能够当根据本发明的方法使用数字相机 10 记录水下图像时记录水下环境中的声音。在其他实施方式中，数字相机 10 包括传统的空气麦克风以及能够记录水下声音的水下麦克风(水听器)。

[0055] 在一些实施方式中，可以使用扬声器 26 例如作为用户接口的一部分，以提供表示已经按下了用户控件或已经选择了特定模式的各种听得见的信号。在一些实施方式中，可以使用麦克风 24、音频编解码器 22 和处理器 20 来提供语音识别，使得用户可以通过语音命令而不是用户控件 34 来向处理器 20 提供用户输入。还可以使用扬声器 26 来通知用户进来的电话呼叫。这可以通过使用存储在固件存储器 28 中的标准铃声或通过使用从无线网

络 58 中下载并存储在图像存储器 30 中的定制铃声来完成。此外,可以使用振动设备(未示出)来提供进来的电话呼叫的安静(例如,非听得见的)通知。

[0056] 处理器 20 还提供对来自图像传感器 14 的图像数据的另外处理,以产生渲染后的 sRGB 图像数据,该 sRGB 图像数据被压缩并存储在图像存储器 30 中例如公知的 Exif-JPEG 图像文件的“完成”图像文件中。

[0057] 数字相机 10 可以通过有线接口 38 连接至与计算机 40 相连的接口 / 再充电器 48, 计算机 40 可以是位于住宅或办公室中的台式计算机或便携式计算机。有线接口 38 可以遵照例如公知的 USB 2.0 接口规范。接口 / 再充电器 48 可以通过有线接口 38 向数字相机 10 中的可再充电电池组(未示出)提供电力。

[0058] 数字相机 10 可以包括无线调制解调器 50, 其与无线网络 58 在射频带 52 上对接。无线调制解调器 50 可以使用例如公知的蓝牙无线接口或公知的 802.11 无线接口的各种无线接口协议。计算机 40 可以通过因特网 70 向例如 Kodak EasyShare Gallery 的照片服务提供商 72 上传图像。其他设备(未示出)可以访问由照片服务提供商 72 存储的图像。

[0059] 在可替选的实施方式中,无线调制解调器 50 与例如 3GSM 网络的移动电话网络(未示出)在射频(例如无线)链路上进行通信,该移动电话网络与因特网 70 相连以上传来自于数字相机 10 的数字图像文件。可以将这些数字图像文件提供给计算机 40 或照片服务提供商 72。

[0060] 根据本发明,数字相机 10 是能够用于捕捉水下数字图像的水下数字相机。例如, 使用数字相机 10 可以被探险珊瑚礁的潜水者或在游泳池中玩耍的孩子使用。为了防止对各种相机部件的损坏,数字相机 10 包括防水壳 280 (图 4)。

[0061] 图 2 是示出了可以由数字相机 10 (图 1)中的处理器 20 执行以处理由 ASP 和 A/D 转换器 16 输出的来自图像传感器 14 的颜色传感器数据 100 的图像处理操作的流程图。在一些实施方式中,通过各种用户设置 175 来确定处理器 20 所使用的用于操作关于特定数字图像的颜色传感器数据 100 的处理参数,可以响应于在图像显示器 32 上显示的菜单通过用户控件 34 来选择用户设置 175。

[0062] 通过白平衡步骤 95 来操作已由 ASP 和 A/D 转换器 16 数字转换后的颜色传感器数据 100。在一些实施方式中,可以使用在 Miki 的名称为“White balance adjustment device and color identification device”的共同受让美国专利 7,542,077 中描述的方法来执行该处理,该专利的公开内容通过引用合并到本文中。可以响应于白平衡设置 90 而调整白平衡,白平衡设置 90 可以通过用户手动设置,或如后面参照图 5 将要描述的当相机处于水下模式时可以自动设置。

[0063] 然后通过降噪步骤 105 来操纵颜色图像数据以降低来自图像传感器 14 的噪声。在一些实施方式中,可以使用在 Gindele 等人的名称为“Noise cleaning and interpolating sparsely populated color digital image using a variable noise cleaning kernel”的共同受让美国专利 6,934,056 中描述的方法来执行该处理,该专利的公开内容通过引用合并到本文中。可以响应于 ISO 设置 110 而调整降噪水平,使得在更高的 ISO 曝光率设置 110 下执行更多的滤光。当相机处于水下模式时也可以调整降噪水平,这将在后面参照图 5 进行描述。

[0064] 然后通过去马赛克(demosaicing)步骤 115 来操纵颜色图像数据以提供每个像

素位置处的红、绿和蓝(RGB)图像数据值。用于执行去马赛克步骤115的算法通常被称为颜色滤波阵列(CFA)插值算法或“去Bayer化”算法。在本发明的一个实施方式中，去马赛克步骤115可以使用在Adams等人的名称为“Adaptive color plane interpolation in single sensor color electronic camera”的共同受让美国专利5,652,621中描述的亮度CFA插值方法，该专利的公开内容通过引用合并到本文中。去马赛克步骤115还可以使用在Cok的名称为“Signal processing method and apparatus for producing interpolated chrominance values in a sampled color image signal”的共同受让美国专利4,642,678中描述的色度CFA插值方法，该专利的公开内容通过引用合并到本文中。

[0065] 在一些实施方式中，用户可以在不同的像素分辨率模式之间进行选择，使得数字相机可以产生较小尺寸的图像文件。如在Parulski等人的名称为“Single sensor color camera with user selectable image record size”的共同受让美国专利5,493,335中所描述的，可以提供多个像素分辨率，该专利的内容通过引用合并到本文中。在一些实施方式中，可以通过用户将分辨率模式设置120选择为全尺寸(例如3,000×2,000像素)、中等尺寸(例如1,500×1000像素)或小尺寸(750×500像素)。

[0066] 在颜色校正步骤125中对颜色图像数据进行颜色校正。在一些实施方式中，如在Parulski等人的名称为“Method and apparatus for improving the color rendition of hardcopy images from electronic cameras”的共同受让美国专利5,189,511中所描述的，可以使用3×3线性空间颜色校正矩阵来提供颜色校正，该专利的公开内容通过引用合并到本文中。在一些实施方式中，可以通过在数字相机10的固件存储器28中存储不同的颜色矩阵系数来提供不同的用户可选择颜色模式。例如，可以提供四种不同的颜色模式，使得使用颜色模式设置130来选择以下颜色校正矩阵之一：

[0067] 设置1(普通颜色再现)

[0068]

$$\begin{bmatrix} R_{out} \\ G_{out} \\ B_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.50 & -0.30 & -0.20 \\ -0.40 & 1.80 & -0.40 \\ -0.20 & -0.20 & 1.40 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{in} \\ G_{in} \\ B_{in} \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0069] 设置2(饱和颜色再现)

[0070]

$$\begin{bmatrix} R_{out} \\ G_{out} \\ B_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.00 & -0.60 & -0.40 \\ -0.80 & 2.60 & -0.80 \\ -0.40 & -0.40 & 1.80 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{in} \\ G_{in} \\ B_{in} \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0071] 设置3(去饱和颜色再现)

[0072]

$$\begin{bmatrix} R_{out} \\ G_{out} \\ B_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.25 & -0.15 & -0.10 \\ -0.20 & 1.40 & -0.20 \\ -0.10 & -0.10 & 1.20 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{in} \\ G_{in} \\ B_{in} \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0073] 设置 4 (单色)

[0074]

$$\begin{bmatrix} R_{out} \\ G_{out} \\ B_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.30 & 0.60 & 0.10 \\ 0.30 & 0.60 & 0.10 \\ 0.30 & 0.60 & 0.10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{in} \\ G_{in} \\ B_{in} \end{bmatrix} \quad (4)$$

[0075] 设置 5 (标称水下颜色再现)

[0076]

$$\begin{bmatrix} R_{out} \\ G_{out} \\ B_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.00 & -0.30 & -0.20 \\ -0.80 & 1.80 & -0.40 \\ -0.40 & -0.20 & 1.40 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{in} \\ G_{in} \\ B_{in} \end{bmatrix} \quad (5)$$

[0077] 如后面参照图 7 将要更加详细讨论的, 水下图像趋向于在红颜色通道中具有降低的信号水平。式(5)中的颜色再现矩阵代表式(1)的普通颜色再现矩阵与施加于红输入颜色信号  $R_{in}$  的增益因子 2 的组合。这为其中捕捉到的图像中的红光的量被降低了因子 50% 的标称水下环境提供了改进的颜色再现。

[0078] 在其他实施方式中, 可以使用三维查询表来执行颜色校正步骤 125。在一些实施方式中, 当相机处于水下模式时, 使用不同的  $3 \times 3$  矩阵系数或不同的三维查询表来提供颜色校正, 这在下面将参照图 5 进行描述。

[0079] 还通过色阶校正步骤 135 来操纵颜色图像数据。在一些实施方式中, 可以通过之前引用的美国专利 No. 5, 189, 511 中所描述的一维查询表来执行色阶校正步骤 135。在一些实施方式中, 在数字相机 10 的固件存储器 28 中存储多个色阶校正查询表。这些查询表包括提供“普通”色阶校正曲线、“高对比度”色阶校正曲线和“低对比度”色阶校正曲线的查询表。通过处理器 20 使用用户选择的对比度设置 140 来确定当执行色阶校正步骤 135 时使用哪个色阶校正查询表。在一些实施方式中, 当相机处于水下模式时, 使用高对比度色阶校正曲线, 这将在后面进行描述。

[0080] 还可以通过图像锐化步骤 145 操纵颜色图像数据。在一些实施方式中, 可以使用在 Hamilton 等人的名称为“Edge enhancing colored digital images”的共同受让美国专利 6, 192, 162 中描述的方法来提供图像锐化步骤 145, 该专利的公开内容通过引用并入本文。在一些实施方式中, 用户可以在包括“普通锐度”设置、“高锐度”设置和“低锐度”设置的各种锐化设置之间进行选择。在该示例中, 响应于由数字相机 10 的用户所选择的锐化设置 150, 处理器 20 使用三个不同的边缘增强乘法器值之一: 例如用于“高锐度”的 2.0、用于“普通锐度”的 1.0 和用于“低锐度”的 0.5。在一些实施方式中, 当相机处于水下模式时, 使用专用图像锐化算法, 这将在后面进行描述。

[0081] 还可以通过图像压缩步骤 155 操纵颜色图像数据。在一些实施方式中,可以使用在Daly等人的名称为“Adaptive block transform image coding method and apparatus”的共同受让美国专利 4,774,574 中描述的方法来提供图像压缩步骤 155,该专利的公开内容通过引用合并到本文中。在一些实施方式中,用户可以在不同压缩设置之间进行选择。通过在数字相机 10 的固件存储器 28 中存储多个量化表(例如三个不同的表)来执行上述过程。这些表针对待存储在数字相机 10 的图像存储器 30 中的压缩数字图像文件 180 提供不同的质量水平和平均文件尺寸。通过处理器 20 使用用户所选择的压缩模式设置 160 来选择针对特定图像的图像压缩步骤 155 而使用的特定量化表。

[0082] 使用文件格式化步骤 165 将压缩后的颜色图像数据存储在数字图像文件 180 中。图像文件可以包括各种元数据 170。元数据 170 是与数字图像相关的任何类型信息,例如捕捉图像的相机的型号、图像尺寸、捕捉图像的日期和时间以及各种相机设置(例如镜头焦距、镜头的曝光时间和焦比以及是否点着了相机闪光灯)。在优选实施方式中,使用标准化标签将所有这些元数据 170 存储在公知的 Exif-JPEG 静态图像文件格式内。在本发明的优选实施方式中,元数据 170 包括关于相机设置 185 的信息,包括关于数字图像是否是使用水下摄影模式捕捉到的信息。

[0083] 现在将参照图 3 来描述本发明。摄影者 210 使用具有防水壳 280 (图 4) 和压力传感器 25 的数字相机 10 来拍摄水下环境中的物体。例如,摄影者 210 可以使用位于相机深度 260 处的数字相机 10 来捕捉位于物距 250 和物深 255 处的另一个人 220 的数字图像。可选地,摄影者 210 可以使用数字相机 10 捕捉其他物体(例如鱼和失事船只)的图像。水下环境可以是摄影者 210 可能想要捕捉照片的任何水下位置,例如游泳池、河流、湖泊或海洋。例如,摄影者 210 可以是在珊瑚礁上拍摄海洋生物的潜水者,或者摄影者 210 可以是在后院游泳池中玩耍并同时为他或她的朋友拍摄水下照片的孩子。

[0084] 数字相机 10 包括压力传感器 25。压力传感器 25 返回表示防水壳 280 之外的压力的信号。压力  $P$  作为流体中的深度的函数被给出为:

$$P = P_0 + \rho g d_c \quad (6)$$

[0086] 其中  $P_0$  是在流体的上表面的大气压力,  $\rho$  是流体密度(约  $1000\text{kg/m}^3$ ),  $g$  是重力加速度(约  $9.8\text{m/s}^2$ ), 且  $d_c$  是相机深度 260。

[0087] 优选地,对压力传感器 25 进行校准以返回“计示压力(gauge pressure)” $P_g$ ,其是相对于大气压力的压力差:

$$P_g = P - P_0 \quad (7)$$

[0089] 当数字相机 10 在空气 235 中工作时,计示压力  $P_g$  将大约等于零。当数字相机 10 在水 230 中工作时,计示压力  $P_g$  将大于零。因此,可以使用由压力传感器 25 提供的检测压力通过执行以下测试来确定数字相机 10 是在水 230 中工作还是在空气 235 中工作:

[0090] 如果  $P_g < \epsilon$  则

[0091] 相机在空气中  $\quad (8)$

[0092] 否则

[0093] 相机在水下

[0094] 其中  $\epsilon$  是被选择用于计及大气压力的正常变化的较小常数。

[0095] 还可以使用检测到的压力使用以下关系式来确定相机深度 260:

[0096]  $d_c = P_g / \rho g$  (9)

[0097] 式(9)可以通过式(5)和式(6)推导得到。

[0098] 在一些实施方式中,数字相机 10 包括能够检测倾斜角  $\theta_t$  的倾斜传感器 42 (未在图 3 中示出),倾斜角  $\theta_t$  是数字相机 10 相对于水平方向而定向的角。在许多水下摄影环境中,将由太阳 270 提供基本照明,太阳 270 以日光角  $\theta_s$  照明场景。日光角  $\theta_s$  将取决于地理位置和白天的时间。光必须行进通过水的路径长度将是倾斜角  $\theta_t$  和日光角  $\theta_s$  二者的函数,因此捕捉到的图像的特性将通常是这些参数的函数。

[0099] 如后面参照图 5 和图 6 将要描述的,可以使用由压力传感器 25 检测的压力来控制施加于由数字相机 10 捕捉到的数字图像的颜色校正以及控制数字相机 10 的工作的其他方面。在一些实施方式中,还可以响应于倾斜角  $\theta_t$  和物距 250 而控制颜色校正。

[0100] 图 4 是示出了数字相机 10 的另外的细节的图。数字相机 10 包括防水壳 280 以使得能够在水下环境中操作数字相机 10。防水壳 280 通常具有在特定的最大深度下的防水等级。在该深度之下,水压可能会比较大使得防水壳 280 将开始泄漏。数字相机 10 还包括镜头 4、压力传感器 25 和图像捕捉按钮 290,图像捕捉按钮 290 是图 1 中的用户控件 34 之一。可选地,数字相机 10 可以包括例如闪光灯 2 的其他元件、其他用户控件(在图 4 中未示出)和图像显示器 32 (在图 4 中未示出)。在本发明的一个实施方式中,数字相机 10 是数字静态相机。在其他实施方式中,数字相机 10 是数字视频相机或结合有之前参照图 1 描述的视频捕捉模式(即“电影模式”)的数字静态相机。

[0101] 现在将参照图 5 描述用于控制根据本发明的优选实施方式的具有水下图像捕捉能力的数字图像捕捉设备的工作的方法。图 4 中的数字相机 10 包括适于感测防水壳 280 的外表面上的压力的压力传感器 25。使用检测压力步骤 300 以检测压力 305。优选地,所检测到的压力 305 是代表防水壳 280 之外的压力与大气压力  $P_0$  之间的差值的计示压力  $P_g$ 。水下测试 310 响应于压力 305 而确定数字相机 10 是否正在水下工作。在本发明的优选实施方式中,水下测试 310 应用由式(8)给出的测试来确定数字相机 10 是否正在水下工作。

[0102] 如果水下测试 310 确定了数字相机在水下工作,则使用设置水下模式步骤 315 来将数字相机 10 设置为以水下模式 320 工作。当数字相机 10 以水下模式 320 工作时,可以相应地调整数字相机 10 的各种部件的工作。例如,可以针对水下模式 320 设置各种用户控件 34 (例如按钮和菜单)的行为表现得不同。此外,当以水下模式 320 工作时,可以将数字相机 10 配置为使用水下麦克风而不是传统的麦克风 24 来记录水下声音。在一些实施方式中,还可以根据数字相机 10 是否以水下模式 320 工作来调整音频编解码器 22 的频率响应。而且,还可以关断当数字相机 10 在水下工作时不有用的部件如无线调制解调器 50 以在水下模式 320 下节省电力。

[0103] 当数字相机 10 以水下模式 320 工作时,使用选择水下颜色变换步骤 345 来选择颜色变换 340。使用当数字相机 10 以水下模式 320 工作时所选择的颜色变换 340 来调整捕捉到的数字图像的颜色再现以计及水下摄影环境的特性。例如,如果施加普通的颜色变换,则在水下捕捉到的数字图像趋向于以青色色偏再现。当数字相机 10 以水下模式 320 工作时所选择的水下颜色变换可以被设计成去除青色色偏。

[0104] 所选择的颜色变换 340 可以包括在颜色校正步骤 125 (图 2)和色阶校正步骤 135 (图 2)二者中使用的变换。可替选地,所选择的颜色变换 340 可以包括在仅仅上述步骤之

一中使用的变换,或其可以提供体现颜色校正和色阶校正功能二者的复合颜色变换。

[0105] 在本发明的一个实施方式中,选择水下颜色变换步骤 345 选择水下颜色变换来代替普通颜色变换使用。在现有技术中存在有可以用于调整数字图像的颜色再现特性的许多不同形式的颜色变换 340。通常,所选择的颜色变换 340 包括例如之前参照图 2 描述的颜色校正矩阵、一维查询表和三维查询表的一个或更多个颜色变换元素序列。在优选实施方式中,可以通过调整由白平衡步骤 95 (在图 2 中)或颜色校正步骤 125 (在图 2 中)或上述两个步骤二者中施加的颜色元素来调整颜色变换元素以控制捕捉图像的颜色平衡和颜色再现。还可以调整颜色变换元素来提供其他颜色再现调整,如闪光校正、对比度调整、饱和度调整或色阶调整。可以通过捕捉代表性图像并且进行手动调整以确定关于提供最佳颜色再现特性的颜色变换元素的参数来在经验上确定以水下模式中提供的调整程度。可替选地,可以在各种水下环境中拍摄测试目标,可以自动确定用于颜色变换元素的参数以补偿水下环境的特性。

[0106] 在可替选的实施方式中,不是代替普通颜色变换,而是将另外的颜色变换元件与普通颜色变换相组合,以在普通颜色变换之前或者之后施加。例如,可以使用一组一维查询表来调整颜色平衡,以去除与水下场景相关联的青色色偏,从而提供平衡的数字图像数据。然后可以施加普通颜色变换来处理平衡数字图像数据。

[0107] 在另一个实施方式中,通过调整与图像传感器相关联的一个或更多个颜色控制器来控制颜色再现。例如,可以针对图像传感器 14 的一个或更多个颜色通道来调整由时序发生器 12 (见图 1)提供的积分时间来提供调整的颜色平衡设置。类似地,可以针对图像传感器 14 的一个或更多个颜色通道来调整由 ASP 和 A/D 转换器 16 提供的模拟或数字放大因子。

[0108] 在一些实施方式中,针对水下模式 320 选择的水下颜色变换可以被设计成仅仅部分校正由水下条件所导致的红光衰减。这向许多摄影者发现的优选地唤起水下条件的视觉印象的记录图像给予标称但审美愉悦的青色色偏。这与许多摄影者喜欢保留针对在钨照明下捕捉到的图像的轻微红黄色色偏是类似的。在一些实施方式中,可以提供用户控件 34 以允许用户根据个人偏爱在完全校正水下模式与部分校正水下模式之间进行选择。

[0109] 如后面将要讨论的,在本发明的优选实施方式中,选择水下颜色变换步骤 345 响应于感测到的压力 305 而选择颜色变换 340。可选地,选择水下变换步骤 345 还可以响应于与被拍摄物体的物距 250 和使用倾斜传感器 42 确定的倾斜角 350 而确定颜色变换 340。还可以使用水下模式设置 352 来控制选择水下颜色变换步骤 345。例如,数字相机 10 可以配置有如下用户控件 34 (图 1):其使得用户能够在对应于不同水分类(例如淡水模式、盐水模式或游泳池模式)的不同水下模式之间进行选择。

[0110] 在本发明的可替选实施方式中,单个水下颜色变换被提供用于独立于压力 305、物距 250、倾斜角 350 和水下模式设置 352 的水下模式 320。可以优化在该实施方式中提供的单个水下颜色变换来补偿典型深度(例如 1 米)和典型距离(例如 2 米)。

[0111] 如果水下测试 310 确定了数字相机 10 不是在水下工作,则使用设置普通模式步骤 325 来将相机设置为以普通模式 330 工作。在这种情况下,使用选择普通颜色变换步骤 335 来选择颜色变换 340。在一些实施方式中,单个普通颜色变换被提供用于当数字相机 10 不在水下工作时。在可替选实施方式中,可以根据所检测到的摄影条件或用户控件 34 提供能

够自动选择的多个颜色变换。例如,可以响应于所检测到的照明色温或根据所选择的摄影模式(例如风景模式、肖像模式或日落模式)而选择不同的普通颜色变换。

[0112] 数字相机 10 具有图像捕捉按钮 290 (图 4)以允许摄影者 210 (图 3)来启动捕捉数字图像。在一些实施方式中,可以提供用于启动图像捕捉的可替选设备,例如时间机构或遥控装置。当摄影者 210 启动图像捕捉时,使用捕捉数字图像数据步骤 355、使用图像传感器 14 来捕捉数字图像数据 360。使用施加颜色变换步骤 365 来向数字图像数据 360 施加颜色变换 340,以形成经校正的数字图像 370。针对当数字图像数据 360 对应于视频序列的情况,所述施加颜色变换步骤 365 向视频序列的每一帧施加颜色变换 340。

[0113] 存储数字图像步骤 385 将经校正的数字图像 370 存储在数字图像文件中,以产生之前参照图 2 描述的数字图像文件 180。在本发明的一个实施方式中,数字相机 10 是数字静态相机,并且使用例如公知的 EXIF 文件格式的标准数字图像文件格式来存储数字图像文件 180。在数字相机 10 提供关于视频序列的数字图像数据 360 的实施方式中,可以使用例如公知的 H. 264 (MPEG-4) 视频文件格式的标准数字视频文件格式来存储数字图像文件 180。

[0114] 标准数字图像文件格式和数字视频文件格式通常支持将各段元数据 170 (图 2)与数字图像文件存储在一起。例如,可以存储表示信息段的元数据 170,该信息段例如是图像捕捉时间、镜头焦距、镜头光圈设置、快门速度和各种用户设置。在本发明的优选实施方式中,当数字相机 10 以水下模式 320 工作时,使用提供水下元数据步骤 375 来提供与所存储的数字图像相关联的水下元数据 380。优选地,将水下元数据 380 作为元数据标签存储在数字图像文件 180 中。可替选地,可以将水下元数据 380 存储在与数字图像文件 180 相关联的单独文件中。

[0115] 在一个实施方式中,水下元数据 380 是表示数字图像是使用水下模式 320 还是普通模式 330 捕捉到的简单布尔值。在其他实施方式中,水下元数据 380 可以包括例如压力 305 或根据压力 305 所确定的相机深度 260 (图 3)的另外的信息。其他相关的元数据段可以包括物距 250、倾斜角 350、水下模式设置 352 和所选择的颜色变换 340。

[0116] 可以使用水下元数据 380 于多种目的。例如,数字图像文件 180 的集合可以包括一些水下捕捉到的数字图像和在空气中捕捉到的其他数字图像。用户可以期望搜索数字图像文件 180 的集合以快速找到水下捕捉到的数字图像。水下元数据 380 提供了用于识别水下捕捉到的数字图像的方便手段。如何使用水下元数据 380 的另一个示例将是控制在后面的时间施加在主机系统上的图像处理算法的行为。本领域的技术人员将认识到水下元数据 380 可以使用于多种其他目的。

[0117] 在本发明的优选实施方式中,使用数字相机 10 中的处理器 20 (图 1)来施加所述施加颜色变换步骤 365。在其他实施方式中,可以使用例如个人计算机的外部计算设备中的处理器来施加所述施加颜色变换步骤 365。例如,数字相机 10 可以为摄影者 210 (图 3)提供选择以在后面的时间以用于处理的原始格式来存储数字图像数据 360。在这种情况下,仅仅一部分参照图 2 来描述的图像处理操作被使用数字相机 10 中的处理器 20 来施加,而剩余部分使用在外部计算设备上提供的软件来施加。在一个实施方式中,外部计算设备上的软件可以响应于与所存储的数字图像 180 相关联的水下元数据 380 而选择合适的颜色变换 340。

[0118] 用于数字相机 10 的防水壳 280 (图 5) 通常仅在特定水压范围内防水。如果数字相机 10 在大的深度工作, 水可能开始泄漏到防水壳中, 造成数字相机 10 的内部部件可能被水损坏的危险。电子元件特别容易受到水损坏。图 6 示出了根据本发明的实施方式的流程图, 其中当数字相机 10 在危险的深度工作时, 使用感测到的压力 305 来警告摄影者 210 (图 3)。

[0119] 如参照图 5 已经讨论的, 水下测试 310 响应于压力 305 而确定数字相机 10 是否在水下工作。当水下测试 310 确定了数字相机 10 在水下工作时, 使用设置水下模式步骤 315 将数字相机 10 设置为以水下模式 320 工作。当数字相机 10 以水下模式 320 工作时, 使用监视深度处理 400 来监视数字相机 10 的深度并相应地控制数字相机 10 的行为。使用警告压力测试 405 来比较所确定的压力 305 与预定警告压力  $P_w$ 。如果压力 305 小于警告压力  $P_w$ , 则调用无用户警告步骤 410 并且监视深度处理 400 继续监视压力 305。在本发明的优选实施方式中, 无用户警告步骤 410 是不执行任何动作的空操作。在可替选实施方式中, 可以向摄影者 210 提供数字相机 10 在安全深度工作的指示。例如, 可以在图像显示器 32 (图 1) 上显示消息或图标, 或可以激活绿色信号灯。

[0120] 如果警告压力测试 405 确定了压力 305 大于或等于警告压力  $P_w$ , 则使用临界压力测试 415 来比较所确定的压力 305 与预定临界压力  $P_c$ 。如果压力 305 小于临界压力  $P_c$ , 使用提供用户警告步骤 425 向摄影者 210 提供他正在接近危险深度的警告。可以使用现有技术中的任何手段来提供警告。在一个实施方式中, 通过在例如图像显示器 32 (图 1) 上显示的消息或图标来向摄影者 210 提供警告。例如可以显示字母数字消息以告诉摄影者向较浅的深度移动。可替选地, 可以激活红颜色信号灯、可以重复闪烁闪光灯 2 (图 1) 或可以提供一些其他警告信号。

[0121] 如果临界压力测试 415 确定了压力 305 大于或等于临界压力  $P_c$ , 则使用掉电 (power down) 相机步骤 420 来使相机掉电以在水泄漏到防水壳 280 (图 4) 中的情况下降低电子相机部件被损坏的机会。

[0122] 在可替选实施方式中, 可以使用警告压力测试 405 和临界压力测试 415 来评估相机深度 260 (图 3) 而不是压力 305。在这种情况下, 可以使用式(9)根据感测到的压力 305 来计算相机深度 260, 可以使用警告压力测试 405 和使用临界压力测试 415 来分别比较相机深度 260 与警告深度  $D_w$  (对应于警告压力  $P_w$ ) 和临界深度  $D_c$  (对应于临界压力  $P_c$ )。

[0123] 适合于产生满意图像的水下颜色校正量通常为光在到达数字相机 10 之前必须行进通过的水的总路径长度的函数。对于在头顶上的光源, 总的水程长度被给出为:

$$[0124] D_T = D_0 + d_0 \quad (9)$$

[0125] 其中  $D_T$  是总的水程长度,  $D_0$  是物距 250 以及  $d_0$  是物深 255。

[0126] 在本发明的优选实施方式中, 数字相机 10 包括如下自动聚焦系统: 其如之前参照图 1 描述的那样可以自动估计物距 250 并相应地设置透镜 4 的焦点。然后可以使用自动聚焦系统确定的物距 250 来确定总的水程长度  $D_T$ 。应当注意的是, 由自动聚焦系统所确定的物距通常假设数字相机 10 在空气中工作。由于物体在水中看起来比它们真实位置更近, 自动聚焦系统将对应于看见的物距而不是实际物距来确定物距。为了确定当数字相机 10 在水下工作时的实际物距, 有必要计及水的折射率:

$$[0127] D_0 = D_A \cdot n_w \quad (10)$$

[0128] 其中  $D_A$  是假设在空气环境下所确定的看见的物距而  $n_w$  是水的折射率(通常  $n_w \approx 1.33$ )

[0129] 在可替选的实施方式中,可以提供用于手动确定物距 250 的装置。例如,可以提供手动聚焦系统来使得摄影者 210 能够选择焦点位置。然后可以根据所选择的焦点位置来确定物距 250。在另一个实施方式中,可以通过摄影者是否选择低倍放大摄影(photomacrography)模式来确定物距 250 的大致估计。在又一个实施方式中,可以向用户提供如下用户接口:其允许用户预览由使用不同物距的颜色而产生的再现特性以及选择产生最满意颜色再现特性的物距 250。

[0130] 通常,物深 255 不是直接已知的。然而,在许多情况下的合理近似是假设物深 255 等于相机深度 260,可以使用压力传感器 25 确定出相机深度 260。该假设当数字相机 10 水平定位时是有效的。在这种情况下,总的水程长度可以被近似为:

$$D_T \approx D_0 + d_c \quad (11)$$

[0132] 其中  $d_c$  是相机深度 260。如果数字相机 10 包括确定倾斜角  $\theta_T$  (图 3) 的倾斜传感器 42 (图 1),则可以确定出总的水程长度  $D_T$  的甚至更好的估计。在这种情况下,总的水程长度  $D_T$  可以被近似为:

$$D_T = D_0(1 - \sin \theta_T) + d_c \quad (12)$$

[0134] 总的水程长度  $D_T$  的上述计算假设光源在头顶正上方使得通过物深 255 给出光在照明物体之前行进通过水的距离。针对由直射太阳光提供照明的情况,通过计及日光角  $\theta_s$  (图 3) 来获得更加准确估计。在本发明的可替选实施方式中,可以根据知道的数字相机 10 的图像捕捉时间和地理位置来确定日光角  $\theta_s$ 。可以使用在大多数数字相机 10 中设置的内部时钟来确定捕捉时间。可以使用全球定位系统(GPS)传感器或使用例如从移动电话塔附近自动感测信号的其他装置来确定地理位置。数字相机 10 还可以包括使得摄影者 210 能够手动指定地理位置的用户控件 34。针对可以确定日光角的情况,总的水程长度  $D_T$  可以被近似为:

$$D_T = D_0(1 - \sin \theta_T / \cos \theta_s) + d_c / \cos \theta_s \quad (13)$$

[0136] 注意针对天空被云覆盖的情况,照明将是扩散的并且将不会以特定的日光角  $\theta_s$  入射到对象上。鉴于该原因,即使装置适于确定日光角的值,可未必总是理想的来包括日光角的因素。在一些实施方式中,可以提供用户控件 34 来表示照明是直射太阳光还是扩散照明。

[0137] 在一些实施方式中,数字相机 10 包括可以用于在图像捕捉期间照明场景的闪光灯 2。在使用闪光灯 2 来照明水下场景的情况下,如果闪光灯 2 是显性光源,可以通过将物距 250 加倍来确定总的水程长度  $D_T$ ,这是因为光将从数字相机 10 行进到物体并且再次返回:

$$D_T = 2D_0 \quad (14)$$

[0139] 在本发明的一些实施方式中,当数字相机 10 以水下模式 320 工作时,所选择的水下颜色变换是总的水程长度  $D_T$  的函数。水对捕捉到的数字图像的主要影响是使得具有较长可见波长的光(即红光)比具有较短可见波长的光(即绿光和蓝光)衰减得更厉害。补偿该衰减影响的一种方式是向数字图像数据 360 的每个颜色通道施加不同的增益因子。

[0140] 在数字相机 10 的成像链中具有若干个不同的位置,其中可以施加结合了这样的

增益因子的水下颜色变换来提供期望的水下颜色再现。例如,可以控制与图像传感器 14 相关联的颜色控制(例如与图像传感器 14 的每个颜色通道相关联的积分时间),以施加合适的增益因子。可替选地,可以将模拟或数字增益因子直接施加于从图像传感器 14 获得的线性信号。在其他实施方式中,可以将增益因子结合到图 2 的图像处理路径中的白平衡步骤 95 或颜色校正步骤 125 之中。例如,可以调整在白平衡步骤 95 中应用的白平衡查询表来结合增益因子,或可以使用增益因子将水下校正与由缺省颜色校正矩阵提供的标称颜色校正组合以依比例确定在颜色校正步骤 125 中应用的关于颜色校正矩阵的矩阵系数。在式(5)中示出了结合红颜色通道增益因子 2 的颜色校正矩阵的示例。

[0141] 图 7 示出了根据本发明的一个实施方式的如何将用于不同颜色通道的增益因子调整为总的水程长度  $D_T$  的函数的图。在该实施方式中,用于红颜色通道的增益因子针对总的水程长度每隔 3 米则加倍。用于绿色通道的增益通道每隔 3 米仅增大 20%,且用于蓝色通道的增益因子保持恒定,这反应映了如下的事实:水使得较短波长的光衰减较小程度。增益因子函数可以方程形式表达如下:

$$[0142] G_R = G_{R3}^{(D_T / 3.0)} = 2.0^{(D_T / 3.0)} \quad (15)$$

$$[0143] G_G = G_{G3}^{(D_T / 3.0)} = 1.2^{(D_T / 3.0)} \quad (16)$$

$$[0144] G_B = G_{B3}^{(D_T / 3.0)} = 1.0^{(D_T / 3.0)} \quad (17)$$

[0145] 其中  $D_T$  是以米度量的总的水程长度,  $G_R$ 、 $G_G$  和  $G_B$  分别是用于红颜色通道、绿色通道和蓝色通道的增益因子,  $G_{R3}=2.0$ 、 $G_{G3}=1.2$  和  $G_{B3}=1.0$  分别是适合于 3 米的总的水程长度的用于红颜色通道、绿色通道和蓝色通道的增益因子。

[0146] 在图 7 中示出的增益因子曲线示表示适合于通常的图像传感器 14 和通常的水 / 照明条件的增益因子。关于增益因子的准确形式通常是图像传感器 14 的谱灵敏度以及水的谱透射率和照明的谱功率分布的函数。在许多情况下,可以通过确定  $G_{R3}$ 、 $G_{G3}$  和  $G_{B3}$  的新数值来形成适合于不同图像传感器和水 / 照明条件的增益因子函数。可以针对不同的配置来实验地确定这些数值。在其他情况下,适合的是可以使用用于增益因子函数的不同函数形式。用于增益因子函数的适合形式可以通过以下方式来确定:通过拍摄在对应于不同的总的水程长度的各个距离处的灰度级测试目标来确定增益值,并且然后使用对本领域的技术人员公知的标准曲线拟合方法来确定函数形式。

[0147] 在一些实施方式中,可以使用用户控件 34 以在对应于不同的水类型(例如淡水模式、盐水模式或用泳池模式)的不同水下模式之间进行选择。在这种情况下,不同的增益因子曲线可以与不同的水下模式中的每种模式相关联。可替选地,可以提供使用与标称水下摄影条件相关联的增益因子曲线的单个水下模式。在这种情况下,水特性的差异将会表现为因而得到的颜色再现的差异。

[0148] 针对数字相机 10 包括例如 GPS 传感器的地理位置感测装置的情况,当相机以水下模式工作时可以确定感测的地理位置,然后可以将感测到的地理位置与地理位置数据库进行比较以确定数字相机 10 工作所处的水体。然后可以相应地选择特定的水下模式。例如,如果感测到的地理位置是对应于远离佛罗里达的海岸的大西洋中的位置,则可以选择盐水模式;或者如果感测到的地理位置对应于安大略湖中的位置则可以选择淡水模式。如果感

测到的地理位置并不对应于在地理位置数据库中的已知的水的类型，通常可以假设相机在游泳池中使用以及可以选择用泳池模式。

[0149] 在其他实施方式中，更复杂的颜色变换修改可以与水下模式 320 相关联。例如，可以针对不同的水条件来确定定制颜色校正矩阵以相应地优化颜色再现。可以通过拍摄具有一系列不同色块的测试目标来确定定制颜色校正矩阵，使用数学回归方法以确定针对将提供与指定目标匹配的颜色再现的定制颜色校正矩阵的矩阵系数。在其他实施方式中，可以使用提供针对定制颜色再现的附加的自由度的三维查询表来实施水下颜色变换。使用三维查询表用于颜色变换的方法对本领域的技术人员是公知的。

[0150] 在一些实施方式中，针对在水下模式 320 下捕捉到的图像还可以调整色阶校正步骤 135。水下摄影趋于经历与通过水或通过悬浮在水中的微粒物质的光的散射相关联的较高的闪光水平。这会导致在水下图像中的明显照亮的阴影区域。为了补偿该问题，可以在色阶校正步骤 135 中应用的色阶函数中加入闪光校正。在一些实施方式中，通过从用于每个颜色通道的线性信号值中减去表示闪光水平的恒定闪光值来实现闪光校正。总之，由于水的散射特性可以作为波长的函数而变化的事实，适合针对每个颜色通道来使用不同的闪光值。还可以提供其他类型的色阶调整用于水下模式 320。例如，可以使用较高的对比度色阶校正曲线以提供具有较高视觉冲击的图像。

[0151] 在一些实施方式中，可以针对在水下模式 320 下捕捉到的图像来调整颜色再现的其他方面。例如，可以以水下模式提供饱和度调整。实施这样的饱和度调整的一种方式是修改如式(2)所示的颜色校正矩阵的系数。可以使用结合有饱和度增强的颜色校正矩阵来期望增强例如通常在水下图像中遇到的热带鱼的物体的色度。

[0152] 在一些实施方式中，数字相机 10 具有包括之前参照图 1 提及的可调整的相关色温的闪光灯 2。在这种情况下，当数字相机 10 以水下模式 320 工作时，可以通过调整闪光照明的相关色温来控制颜色再现。例如，当相机以水下模式 320 工作时，可以使用具有较高比例红光的较低相关色温。这可以至少部分地补偿水吸收了较高比例的红光的事实。在一些实施方式中，可以响应于物距 250 或相机深度 260 而连续调整闪光灯 2 的相关色温，随着物距 250 或相机深度 260 增大而使用逐渐降低的相关色温以提供逐渐增大的比例的红光。这还对响应于数字相机 10 是否以水下模式 320 工作以及水的吸收而调整闪光灯 2 的整体照明水平是有用的。还可以响应于物距 250 以计及关于更长物距 250 则吸收更多光的事实而调整闪光灯 2 的照明水平。

[0153] 除了根据数字相机 10 是否以水下模式 320 工作来调整数字图像数据 360 (图 5) 的颜色再现特性之外，调整应用于数字图像数据 360 的其他图像处理操作的多个方面也是有益的。(在一些实施方式中，无需调整颜色再现特性就可调整其他图像处理操作)。

[0154] 例如，水下照片与在空气中捕捉到的照片相比趋于较低的锐度，这是由于水的光散射特性。因此，响应于数字相机是以水下模式 320 (图 5) 还是以普通模式 330 (图 5) 工作而调整在图像锐化步骤 145 (图 2)期间施加的锐化程度可能是有利的。这可以通过设有响应于所确定的摄影模式而选择的不同锐化设置 150 (图 2) 来完成。水下照片的模糊程度通常是物距 250 (图 3) 的函数。在一个实施方式中，响应于物距而调整当相机处于水下模式时所施加的锐化程度，使得将增大的锐化程度被应用于较大的物距以计及较大的模糊程度，以计及较大的模糊程度。响应于例如水下模式设置 352 的其他因素而调整锐化程度

也可能是有用的。例如，在游泳池中捕捉到的图像的模糊特性通常不同于在盐水环境中捕捉到的图像的模糊特性。

[0155] 通常，调整针对水下模式 320 所选择的水下颜色变换将涉及放大捕捉到的数字图像的红颜色通道以计及已参照图 7 讨论的水趋于滤除红光的事实。结果，水下颜色变换将趋于放大红颜色通道中的图像噪声。锐化有噪声的红颜色通道会导致图像噪声的进一步放大。在本发明的一些实施方式中，当数字相机 10 以水下模式 320 工作时，施加于捕捉到的数字图像的红颜色通道的锐化程度降低。在限制性情况下，不向红颜色通道施加锐化。

[0156] 水下照片中的空间噪声的量通常大于以普通模式捕捉到的照片的空间噪声的量，这是由于水中存在粒子以及红光通道的增大的放大。因此，响应于数字相机是以水下模式 320 (图 5)还是以普通模式 330 (图 5)工作而调整在降噪步骤 105 中施加的降噪程度也是有益的。这可以通过修改在降噪步骤 105 中应用的降噪算法的一个或更多个参数来实现以计及图像的噪声特性的差异。例如，当数字相机 10 以水下模式 320 工作时可以调整所述参数以提供更强烈的降噪。在一些实施方式中，可能期望仅仅向捕捉到的数字图像的红颜色通道施加更强烈的降噪，这是因为红颜色通道通常是观测到最大噪声水平的地方。可替选地，当数字相机 10 处于水下模式 320 时和当数字相机 10 处于普通模式 330 时，可应用不同的降噪算法。如锐化校正那样，响应于物距 250、水下模式设置 352 或其它因素而调整降噪程度可能是有益的。

[0157] 在本发明的可替选的实施方式中，数字相机 10 不包括压力传感器 25 (图 1)。因此，不可能响应于感测到的压力 305 而选择水下模式 320 (图 5)。在这种情况下，可以使用被提供为用于数字相机的用户接口的一部分的用户控件 34 (图 1)来选择水下模式 320 或普通模式 330。例如，可以根据在图像显示器 32 (图 1)上显示的设置菜单中呈现的选项中来选择水下模式 320。可替选地，可以在数字相机 10 上提供按钮或开关以允许摄影者手动选择水下模式 320。

[0158] 在一些实施方式中，摄影者 210 使用本发明的数字相机 10 来捕捉数字静态图像。在其他实施方式中，本发明的数字相机 10 是数字视频相机或者是还结合有视频捕捉模式(即“电影模式”)的数字静态相机。当本发明被使用于捕捉数字视频图像过程时，期望在捕捉到的视频剪辑期间可以修改摄影模式。例如，摄影者可以当他在水面之上时开始摄影，但当他潜入水中时他可以继续摄影。在这种情况下，数字相机 10 当其感测到水下条件时可以自动改变为水下摄影模式。相似地，如果摄影者使相机摇摄或移动到不同深度以捕捉处于不同物距处的物体的图像，可以参照图 5 所描述的那样相应地调整水下颜色变换。

[0159] 部件列表

[0160] 2 闪光灯

[0161] 4 镜头

[0162] 6 可调整光圈和可调整快门

[0163] 8 变焦和聚焦电机驱动器

[0164] 10 数字相机

[0165] 12 时序发生器

[0166] 14 图像传感器

[0167] 16ASP 和 A/D 转换器

- [0168] 18 缓冲存储器
- [0169] 20 处理器
- [0170] 22 音频编解码器
- [0171] 24 麦克风
- [0172] 25 压力传感器
- [0173] 26 扬声器
- [0174] 28 固件存储器
- [0175] 30 图像存储器
- [0176] 32 图像显示器
- [0177] 34 用户控件
- [0178] 36 显示存储器
- [0179] 38 有线接口
- [0180] 40 计算机
- [0181] 42 倾斜传感器
- [0182] 44 视频接口
- [0183] 46 视频显示器
- [0184] 48 接口 / 再充电器
- [0185] 50 无线调制解调器
- [0186] 52 射频带
- [0187] 58 无线网络
- [0188] 70 因特网
- [0189] 72 照片服务提供商
- [0190] 90 白平衡设置
- [0191] 95 白平衡步骤
- [0192] 100 颜色传感器数据
- [0193] 105 降噪步骤
- [0194] 110 ISO 设置
- [0195] 115 去马赛克步骤
- [0196] 120 分辨率模式设置
- [0197] 125 颜色校正步骤
- [0198] 130 颜色模式设置
- [0199] 135 色阶校正步骤
- [0200] 140 对比度设置
- [0201] 145 图像锐化步骤
- [0202] 150 锐化设置
- [0203] 155 图像压缩步骤
- [0204] 160 压缩模式设置
- [0205] 165 文件格式化步骤
- [0206] 170 元数据

- [0207] 175 用户设置
- [0208] 180 数字图像文件
- [0209] 185 相机设置
- [0210] 210 摄影者
- [0211] 220 另外的人
- [0212] 230 水
- [0213] 235 空气
- [0214] 250 物距
- [0215] 255 物深
- [0216] 260 相机深度
- [0217] 270 太阳
- [0218] 280 防水壳
- [0219] 290 图像捕捉按钮
- [0220] 300 检测压力步骤
- [0221] 305 压力
- [0222] 310 水下测试
- [0223] 315 设置水下模式步骤
- [0224] 320 水下模式
- [0225] 325 设置普通模式步骤
- [0226] 330 普通模式
- [0227] 335 选择普通颜色变换步骤
- [0228] 340 颜色变换
- [0229] 345 选择水下颜色变换步骤
- [0230] 350 倾斜角
- [0231] 352 水下模式设置
- [0232] 355 捕捉数字图像数据
- [0233] 360 数字图像数据
- [0234] 365 施加颜色变换步骤
- [0235] 370 经校正的图像数据
- [0236] 375 提供水下元数据步骤
- [0237] 380 水下元数据
- [0238] 385 存储数字图像步骤
- [0239] 400 监视深度处理
- [0240] 405 警告压力测试
- [0241] 410 无用户警告步骤
- [0242] 415 临界压力测试
- [0243] 420 掉电相机步骤
- [0244] 425 提供用户警告步骤
- [0245] 500 红增益函数

[0246] 510 绿增益函数

[0247] 520 蓝增益函数

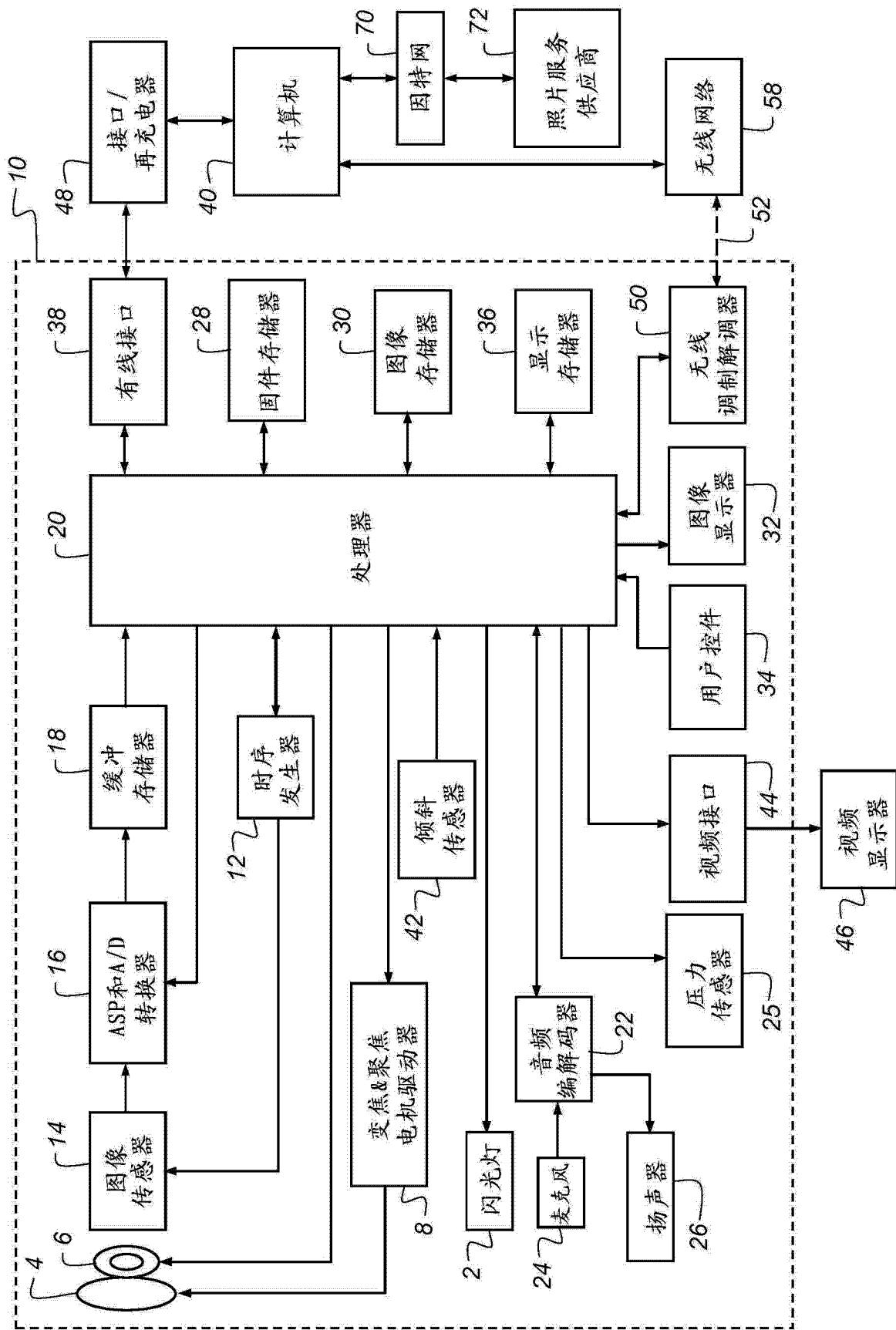


图 1

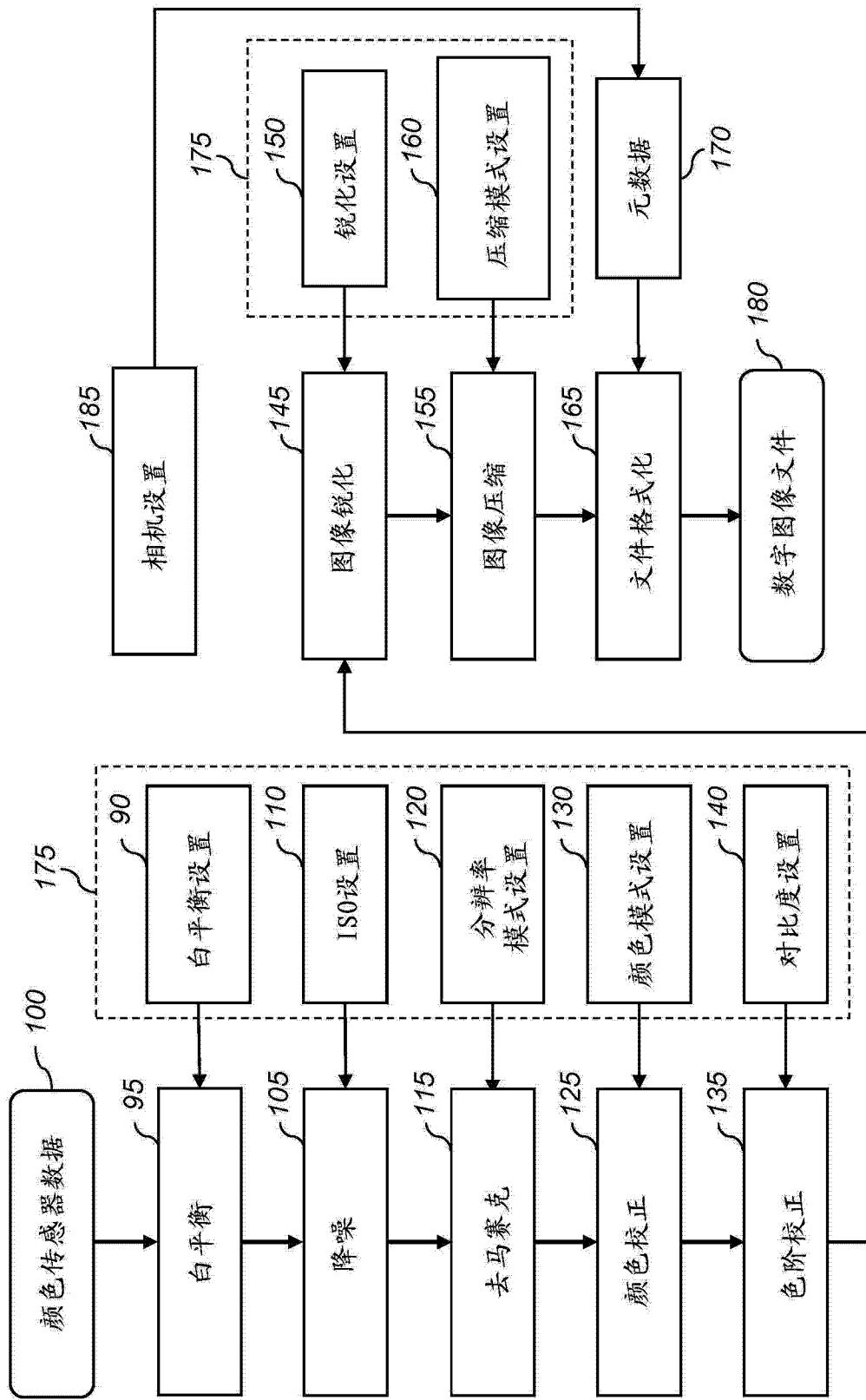


图 2

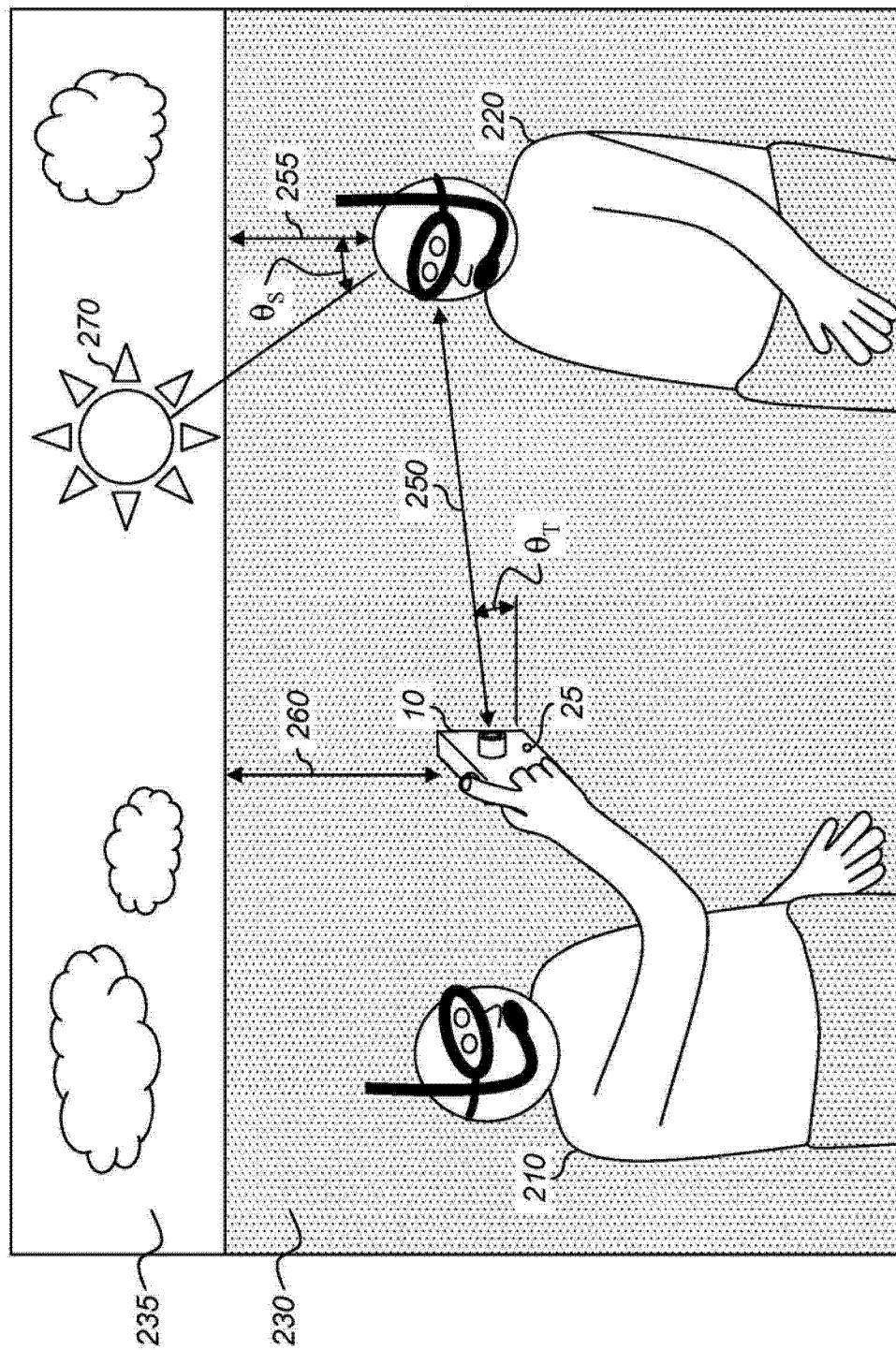


图 3

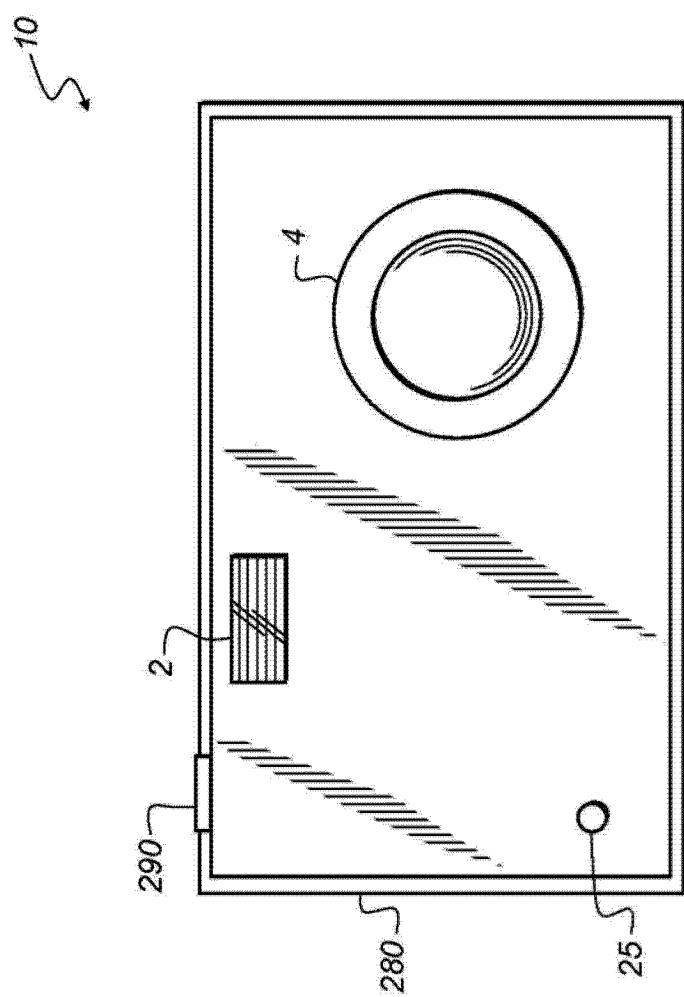


图 4

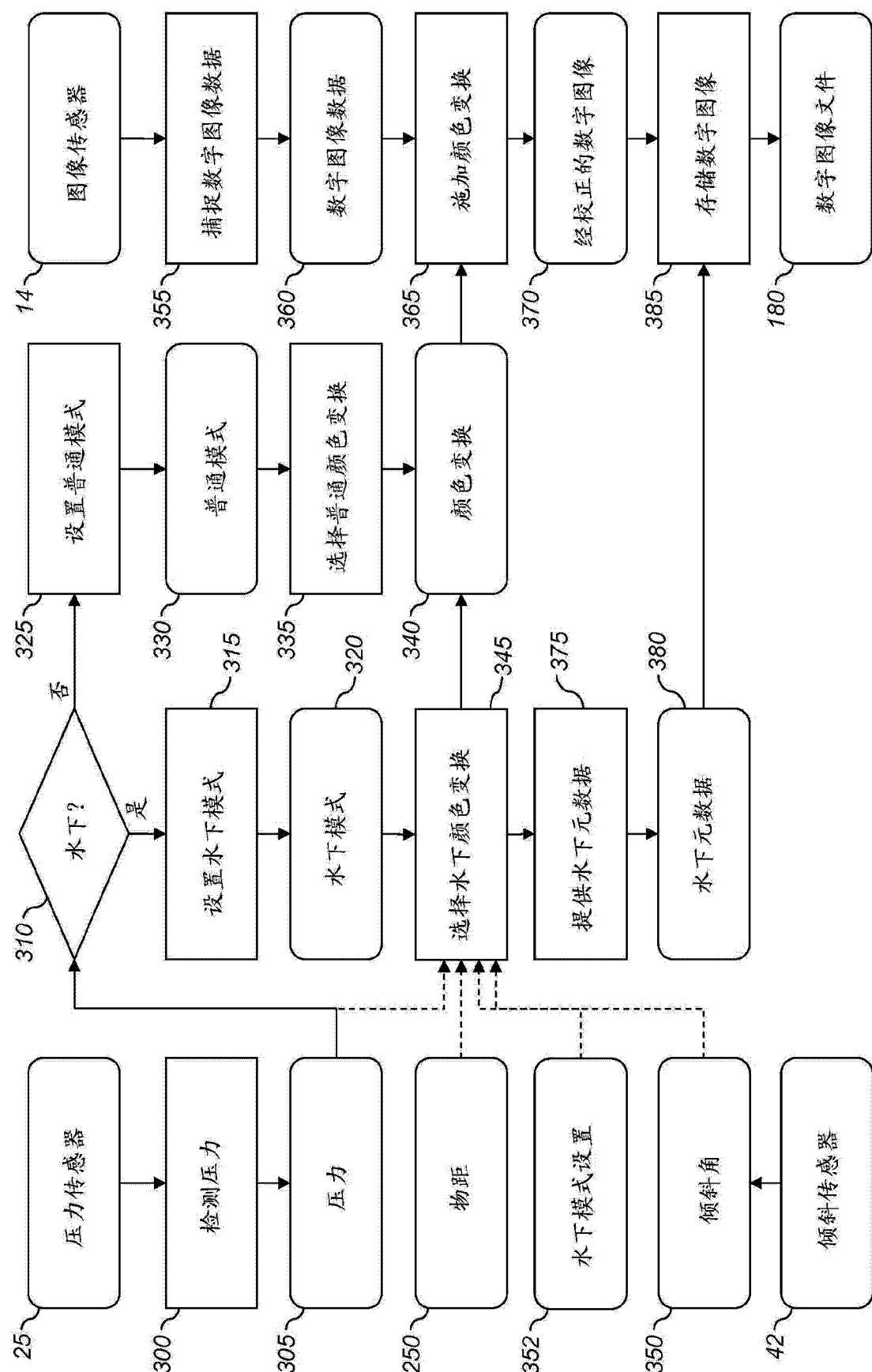


图 5

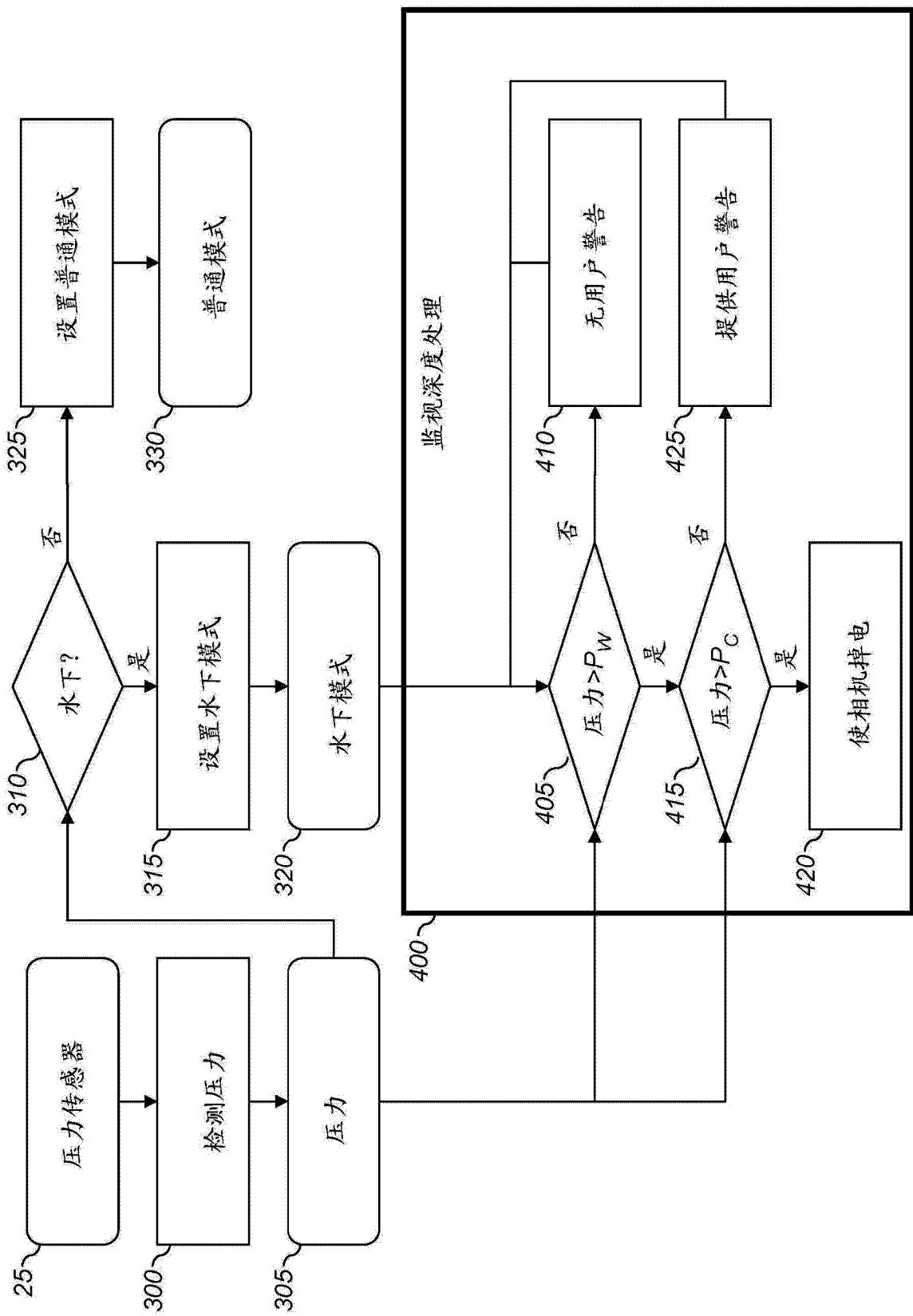


图 6

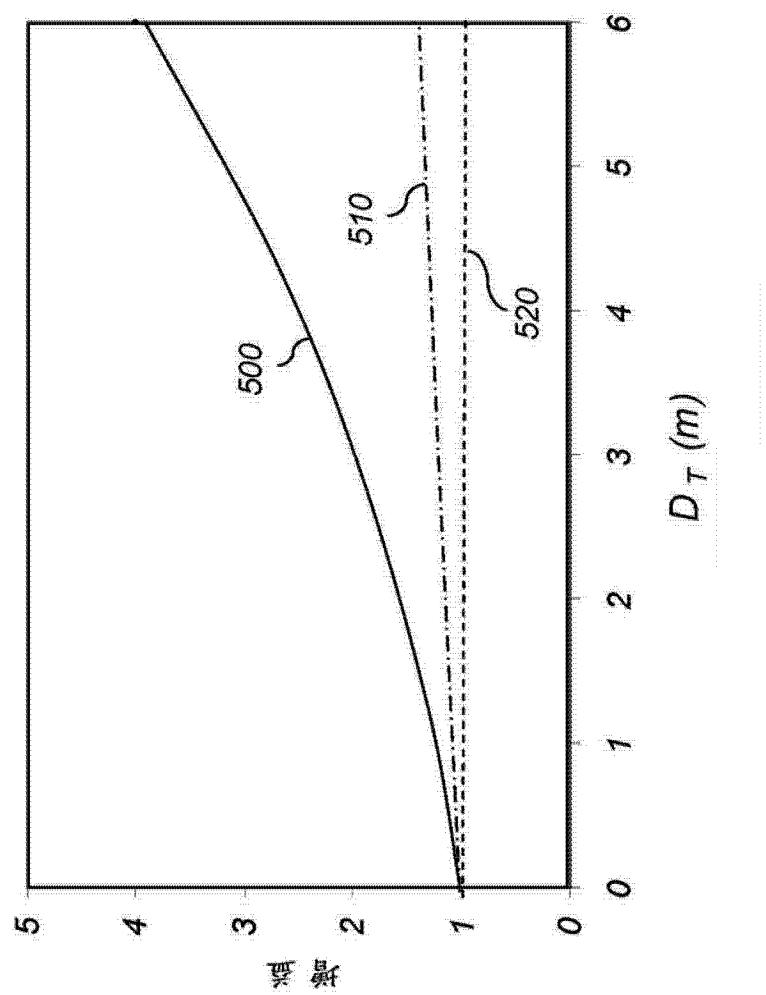


图 7