



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104272323 A

(43) 申请公布日 2015.01.07

(21) 申请号 201380003939.7

(22) 申请日 2013.08.28

(30) 优先权数据

2013106513 2013.02.14 RU

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014.05.20

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2013/057048 2013.08.28

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2014/126613 EN 2014.08.21

(71) 申请人 LSI 公司

地址 美国加利福尼亚

(72) 发明人 D·V·帕芬诺韦 D·V·帕克荷门科

I·L·马祖仁克 D·V·扎塞夫

D·N·巴宾

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 郭思宇

(51) Int. Cl.

G06K 9/40(2006.01)

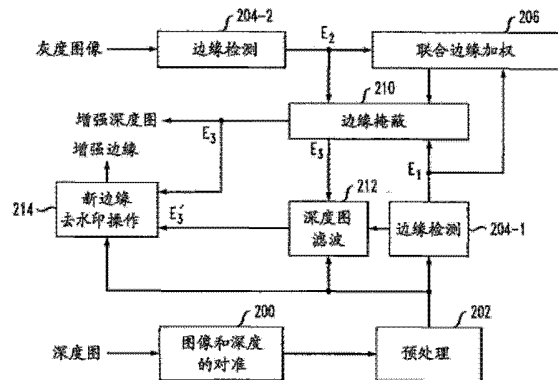
权利要求书2页 说明书10页 附图3页

(54) 发明名称

使用至少一个附加图像的图像增强和边缘验证方法和设备

(57) 摘要

本发明涉及使用至少一个附加图像的图像增强和边缘验证方法和设备。一种图像处理系统,包括图像处理器,其被配置成对第一和第二图像分别执行第一和第二边缘检测操作以获得各第一和第二边缘图像,以使用来自第一和第二边缘图像的边缘应用联合边缘加权操作,基于边缘加权操作的结果生成边缘掩蔽,利用该边缘掩蔽来获得第三边缘图像,并基于第三边缘图像生成第三图像。仅以示例的方式,在给定实施例中,第一图像可包括由深度成像器生成的第一深度图像,第二图像可包括与第一图像基本上相同场景的二维图像,并且第三图像可包括相对于第一深度图像具有增强边缘质量的增强深度图像。



1. 一种方法,包括:

对第一图像和第二图像分别执行第一边缘检测操作和第二边缘检测操作以获得相应的第一边缘图像和第二边缘图像;

使用来自第一边缘图像和第二边缘图像的边缘来应用联合边缘加权操作;

基于边缘加权操作的结果生成边缘掩蔽;

利用边缘掩蔽来获得第三边缘图像;以及

基于第三边缘图像来生成第三图像;

其中,所述执行第一边缘检测操作和第二边缘检测操作、应用联合边缘加权操作、生成边缘掩蔽、利用边缘掩蔽和生成第三图像在包括被耦合到存储器的处理器的至少一个处理设备中实施。

2. 如权利要求 1 的方法,其中,第一图像包括由深度成像器生成的第一深度图像。

3. 如权利要求 2 的方法,其中,所述第二图像包括与第一图像基本上相同场景的二维图像。

4. 如权利要求 3 的方法,其中,所述第三图像包括相对于第一深度图像具有增强边缘质量的增强深度图像。

5. 如权利要求 1 的方法,其中,所述第三边缘图像包括:

一个或多个边缘,其中每个边缘在第一边缘图像和第二边缘图像二者中足够紧密接近地出现,但是仅从那些边缘图像中的一个特定边缘图像中获取;以及

一个或多个边缘,其中每个边缘在第一边缘图像中出现而未在第二边缘图像中出现;

其中,所述第三边缘图像不包括其中每个边缘在第二边缘图像中出现而未在第一边缘图像中出现的一个或多个边缘。

6. 如权利要求 1 的方法,其中,所述联合边缘加权操作确定第一边缘图像中的边缘与第二边缘图像中的边缘之间的紧密度的度量。

7. 如权利要求 1 的方法,其中,所述联合边缘加权操作包括:

限定像素近邻;以及

针对第一边缘图像和第二边缘图像之一中的多个边缘像素中的每一个边缘像素,确定在该边缘像素的限定近邻内的第一边缘图像和第二边缘图像中的另一个中的边缘像素的计数;

其中,所述边缘掩蔽至少部分地基于针对所述多个边缘像素中的相应的一些边缘像素确定的边缘像素的计数而生成。

8. 如权利要求 7 的方法,其中,用于第一边缘图像和第二边缘图像之一中的所述多个边缘像素中的当前一个边缘像素的限定近邻包括在当前边缘像素的指定径向距离内的所有像素。

9. 如权利要求 7 的方法,其中,确定边缘像素的计数包括针对第二边缘图像的多个边缘像素中的每一个边缘像素,确定在第二边缘图像的边缘像素的限定近邻内的第一边缘图像的边缘像素的计数。

10. 如权利要求 1 的方法,其中,利用边缘掩蔽来获得第三边缘图像包括根据以下等式对第二边缘图像逐个像素地应用边缘掩蔽:

$$E_3(i, j) = (E_2(i, j) \text{ and } \text{mask}(i, j)),$$

其中, $E_3(i, j)$ 表示第三边缘图像的像素, $E_2(i, j)$ 表示第二边缘图像的像素, and 表示逻辑算子, 并且 $mask(i, j)$ 表示边缘掩蔽的像素。

11. 如权利要求 10 的方法, 其中, $mask(i, j)$ 是基于表示为 $vote(i, j)$ 的计数是否大于指定阈值而确定的二进制值, 其中, 计数 $vote(i, j)$ 表示在第二边缘图像的像素 $E_2(i, j)$ 的限定近邻内的第一边缘图像的边缘像素的计数。

12. 如权利要求 1 的方法, 还包括对第三边缘图像执行边缘合并操作。

13. 如权利要求 1 的方法, 其中, 生成第三图像还包括对以第三边缘图像中的边缘为边界的第一图像的各部分执行边缘去水印操作。

14. 一种具有体现在其中的计算机程序代码的计算机可读存储介质, 其中, 该计算机程序代码当在处理设备中执行时促使处理设备执行如权利要求 1 的方法。

15. 一种装置, 包括:

至少一个处理设备, 包括被耦合到存储器的处理器;

其中, 所述至少一个处理设备被配置成对第一图像和第二图像分别执行第一边缘检测操作和第二边缘检测操作以获得相应的第一边缘图像和第二边缘图像, 使用来自第一边缘图像和第二边缘图像的边缘来应用联合边缘加权操作, 基于边缘加权操作的结果来生成边缘掩蔽, 利用该边缘掩蔽来获得第三边缘图像, 并基于第三边缘图像来生成第三图像。

16. 如权利要求 15 的装置, 其中, 所述处理设备包括图像处理器, 该图像处理器包括:

边缘检测模块, 被配置成执行第一边缘检测操作和第二边缘检测操作;

联合边缘加权模块, 被配置成执行联合边缘加权操作; 以及

边缘掩蔽模块, 被配置成基于边缘加权操作的结果来生成边缘掩蔽;

其中, 使用包括图像处理器的至少一个图形处理器的图像处理电路来实现所述模块。

17. 如权利要求 15 的装置, 其中, 所述图像处理器还包括被配置成结合第三图像的生成而对第三边缘图像的边缘执行边缘去水印操作的边缘去水印模块。

18. 一种包括如权利要求 15 的装置的集成电路。

19. 一种图像处理系统, 包括:

提供第一图像和第二图像的一个或多个图像源;

一个或多个图像目的地; 以及

耦合在所述一个或多个图像源和所述一个或多个图像目的地之间的图像处理器;

其中, 所述图像处理器被配置为对第一图像和第二图像分别执行第一边缘检测操作和第二边缘检测操作以获得相应的第一边缘图像和第二边缘图像, 使用来自第一边缘图像和第二边缘图像的边缘来应用联合边缘加权操作, 基于边缘加权操作的结果来生成边缘掩蔽, 利用该边缘掩蔽来获得第三边缘图像, 并基于第三边缘图像来生成第三图像。

20. 如权利要求 19 的系统, 其中, 所述一个或多个图像源中的至少一个包括深度成像器。

使用至少一个附加图像的图像增强和边缘验证方法和设备

技术领域

[0001] 本发明一般地涉及图像处理,并且更具体地涉及诸如深度图及其他类型的深度图之类的图像的处理。

背景技术

[0002] 已知有用于检测图像中的边缘的多种不同技术。此类技术一般地在应用于高分辨率图像时产生可接受的结果,诸如由数字式照相机产生的照片或其他二维(2D)图像。然而,许多重要机器视觉应用利用由诸如结构光(SL)照相机或飞行时间(T_F)照相机之类的深度成像器产生的三维(3D)图像。这些深度图像常常是低分辨率图像且通常包括高噪声且模糊的边缘。

[0003] 常规边缘检测技术一般地在被应用于深度图像时表现并不很好。例如,这些常规技术可遗漏给定深度图像中的重要边缘或将多个伪边缘连同重要边缘一起定位。结果产生的检测边缘质量差,并且因此破坏后续图像处理操作的有效性,诸如特征提取、图案识别、姿势识别、对象识别和跟踪。

发明内容

[0004] 在一个实施例中,一种图像处理系统包括图像处理器,其被配置成对各第一和第二图像执行第一和第二边缘检测操作以获得相应的第一和第二边缘图像,以使用来自第一和第二边缘图像的边缘应用联合边缘加权操作,基于边缘加权操作的结果生成边缘掩蔽,利用该边缘掩蔽来获得第三边缘图像,并基于第三边缘图像生成第三图像。

[0005] 仅以示例的方式,给定实施例中的第一图像可包括由深度成像器生成的第一深度图像,第二图像可包括与第一图像基本上相同场景的二维图像,并且第三图像可包括相对于第一深度图像具有增强边缘质量的增强深度图像。

[0006] 本发明的其他实施例包括但不限于方法、设备、系统、处理设备、集成电路以及具有体现在其中的计算机程序代码的计算机可读存储介质。

附图说明

[0007] 图1是一个实施例中的包括被配置成用于图像增强和边缘验证的图像处理器的图像处理系统的框图。

[0008] 图2是用于使用图1系统的图像处理器的灰度图像来产生增强深度图像的示例性过程的流程图。

[0009] 图3图示出可在图2过程的联合边缘加权操作中使用的不同像素近邻。

具体实施方式

[0010] 在本文中结合示例性图像处理系统来举例说明本发明的实施例,该示例性图像处理系统包括用于生成具有可靠边缘的增强深度图像的图像处理器或其他类型的处理设

备。然而,应理解的是本发明实施例更一般地可应用于涉及到通过利用一个或多个附加图像来增强一个图像中的边缘质量的任何图像处理系统或关联设备或技术。

[0011] 图 1 示出了本发明的实施例中的图像处理系统 100。图像处理系统 100 包括从一个或多个图像源 105 接收图像并将已处理图像提供给一个或多个图像目的地 107 的图像处理器 102。图像处理器 102 还通过网络 104 与多个处理设备 106 通信。

[0012] 虽然图像源 105 和图像目的地 107 在图 1 中被示为与处理设备分离,但可至少部分地利用处理设备 106 中的一个或多个来实现此类源和目的地的至少子集。相应地,可通过网络 104 将图像提供给图像处理器 102 以用于来自处理设备 106 中的一个或多个的处理。同样地,已处理图像可被图像处理器 102 通过网络 104 传送至处理设备 106 中的一个或多个。因此可将此类处理设备视为图像源或图像目的地的示例。

[0013] 给定图像源可包括例如诸如被配置成生成深度图像的 SL 照相机或 ToF 照相机之类的 3D 成像器或者被配置成生成灰度图像、彩色图像、红外图像或其他类型的 2D 图像的 2D 成像器。还可能的是单个成像器或其他图像源能够提供深度图像和诸如灰度图像、彩色图像或红外图像之类的相应 2D 图像两者。例如,某些类型的现有 3D 照相机能够产生给定场景的深度图以及相同场景的 2D 图像。替换地,提供给定场景的深度图的 3D 成像器能够接近于提供基本上相同场景的 2D 图像的单独立分辨率摄像机或其他 2D 成像器地被布置。

[0014] 图像源的另一示例是向图像处理器 102 提供图像以用于处理的存储设备或服务

器。

[0015] 给定图像目的地可包括例如计算机或移动电话的人机接口的一个或多个显示屏,或者从图像处理器 102 接收已处理图像的至少一个存储设备或服务。

[0016] 并且,虽然图像源 105 和图像目的地 107 在图 1 中被示为与图像处理器 102 分离,但可至少部分地将图像处理器 102 与公共处理设备的一个或多个图像源和所述一个或多个图像目的地的至少子集组合。因此,例如,给定图像源和图像处理器 102 可在同一处理设备上共同地实现。同样地,给定图像目的地和图像处理器 102 可在同一处理设备上共同地实现。

[0017] 在本实施例中,图像处理器 102 被配置成对各第一和第二图像执行第一和第二边缘检测操作以获得相应的第一和第二边缘图像,使用来自第一和第二边缘图像的边缘来应用联合边缘加权操作,基于边缘加权操作的结果来生成边缘掩蔽,利用该边缘掩蔽来获得第三边缘图像,并基于第三边缘图像来生成第三图像。

[0018] 如图 1 中所示的图像处理器 102 包括预处理模块 110、边缘检测模块 112、联合边缘加权模块 114、边缘掩蔽模块 115、边缘去水印模块 116 和后处理模块 118。

[0019] 作为上述第一、第二和第三图形的一个可能示例,给定实施例中的第一图像可包括由诸如 SL 照相机或 ToF 照相机之类的深度成像器产生的深度图像,第二图像可包括与第一图像基本上相同场景的 2D 图像,并且第三图像可包括相对于第一深度图像具有增强边缘质量的增强深度图像。上文已指出单个成像器或其他图像源能够提供深度图像和诸如灰度图像、彩色图像或红外图像之类的相应 2D 图像两者。替换地,能够分别由单独 3D 和 2D 成像器来提供第一和第二图像。并且,可使用多个附加图像来增强第一图像,与在某些实施例中仅使用第二图像相反。在其他实施例中可接收、处理和生成其他类型和布置的图像。

[0020] 在其他实施例中,能够改变图 1 实施例中的图像处理器 102 中所示的模块的特定

数目和布置。例如,在其他实施例中,可将这些模块中的两个或更多个组合成较少数目的模块。可使用其他常规图像处理集成电路或被适当地修改成执行如本文公开的处理操作的其他类型的图像处理电路来实现图像处理器 102 的模块 110、112、115、116 和 118 中的一个或多个的至少一部分。可在本发明的一个或多个实施例中使用的图像处理电路的一个可能示例是被适当地重配置成执行与模块 110、112、114、115、116 和 118 中的一个或多个相关联的功能的另外常规图形处理器。

[0021] 下面将结合图 2 的流程图来更详细地描述图像处理器 102 的操作。此流程图图示出用于使用至少一个附加图像的图像增强和边缘验证的示例性过程,在这种情况下,上述第二图像包括与输入深度图像基本上相同场景的 2D 图像。

[0022] 由图像处理器 102 生成的第三图形包括相对于输入深度图像具有增强边缘质量的增强深度图像。由图像处理器 102 生成的此增强深度图像可在图像处理器 102 中经受附加处理操作,诸如,例如特征提取、图案识别、姿势识别、对象识别和跟踪。

[0023] 替换地,可通过网络 104 将如由图像处理器 102 生成的增强深度图像提供给处理设备 106 中的一个或多个。一个或多个此类处理设备可包括被配置成执行上述后续操作的各图像处理器,诸如特征提取、图案识别、姿势识别、对象识别和跟踪。

[0024] 处理设备 106 可以任何组合包括例如计算机、移动电话、服务器或存储设备。一个或多个此类设备还可包括例如被用来呈现由图像处理器 102 生成的图像的显示屏或其他用户接口。处理设备 106 因此可包括多种不同的目的地设备,其通过网络 104 从图像处理器 102 接收已处理图像流,举例来说,包括从图像处理器 102 接收一个或多个已处理图像流的至少一个服务器或存储设备。

[0025] 虽然在本实施例中所示为与处理设备 106 分离,但可至少部分地将图像处理器 102 与处理设备 106 中的一个或多个组合。因此,例如,可至少部分地使用处理设备 106 中的给定的一个来实现图像处理器 102。举例来说,可将计算机或移动电话配置成结合图像处理器 102 和可能的给定图像源。图像源 105 因此可包括与计算机、移动电话或其他处理设备相关联的照相机或其他成像器。如先前所指示的,可至少部分地将图像处理器 102 与公共处理设备上的一个或多个图像源或图像目的地组合。

[0026] 本实施例中的图像处理器 102 假设是使用至少一个处理设备实现的,并包括被耦合到存储器 122 的处理器 120。处理器 120 执行存储在存储器 120 中的软件代码以便控制图像处理操作的性能。图像处理器 102 还包括支持通过网络 104 的通信的网络接口 124。

[0027] 处理器 120 可以任何组合方式包括例如微处理器、专用集成电路 (ASIC)、现场可编程门阵列 (FPGA)、中央处理单元 (CPU)、算术逻辑单元 (ALU)、数字信号处理器 (DSP) 或其他类似处理设备部件以及其他类型和布置的图像处理电路。

[0028] 存储器 122 存储用于由处理器 1 在实现图像处理器 120 的功能的各部分、诸如模块 110、112、114、115、116 和 118 的各部分时执行的代码。存储软件代码以供相应的处理器执行的给定此类存储器是在本文中更一般地称为计算机可读介质或具有体现在其中的计算机程序代码的其他类型的计算机程序产品的东西的示例,并且可以任何组合方式包括例如电子存储器,诸如随机存取存储器 (RAM) 或只读存储器 (ROM)、磁存储器、光学存储器或其他类型的存储设备。如上文所指示的,处理器可包括微处理器、ASIC、FPGA、CPU、ALU、DSP 或其他图像处理电路的各部分或组合。

[0029] 还应认识到的是可以集成电路的形式来实现本发明的实施例。在给定的此类集成电路实施方式中,通常在半导体晶片的表面上以重复图案来形成相同的管芯。每个管芯包括如本文所述的图像处理器或其他图像处理电路,并且可包括其他结构或电路。单独管芯被从晶片切割或分割,然后封装为集成电路。本领域的技术人员将知晓如何分割晶片并封装管芯以产生集成电路。这样制造的集成电路被视为本发明的实施例。

[0030] 如图 1 中所示的图像处理系统 100 的特定配置仅仅是示例性的,并且其他实施例中的系统 100 可除具体地示出的那些之外或作为其替代而包括其他元件,包括在此类系统的常规实施方式中通常发现的类型的一个或多个元件。

[0031] 例如,在某些实施例中,图像处理系统 100 被实现为视频游戏系统或其他类型的基于姿势的系统,其处理图像流以便识别用户姿势。公开技术能够同样地适合于在要求基于姿势的人机接口的多种其他系统中使用,并且还能够应用于除姿势识别之外的应用,诸如机器人及其他工业应用中的机器视觉系统。

[0032] 现在参考图 2,示出了用于图 1 的图像处理系统中的图像增强和边缘验证的示例性过程。图 2 过程假设由图像处理器 102 使用其预处理模块 110、边缘检测模块 112、联合边缘加权模块 114、边缘掩蔽模块 115、边缘去水印模块 116 和后处理模块 118 来实现。该过程在本实施例中包括步骤 200 至 214。

[0033] 在本实施例中假设在图像处理器 102 中从一个或多个图像源 105 接收到的第一和第二图像分别地包括输入深度图和灰度图像,并且使用第一和第二图像生成的第三图形包括增强深度图。

[0034] 要描述的过程通过从灰度图像而不是输入深度图获取输入深度图和灰度图像两者中的相互足够接近的边缘来增强深度图质量,因为灰度图像边缘一般地比输入深度图边缘被更好地限定。并且,存在于灰度图像中而不是输入深度图中的边缘被从增强深度图消除,并且存在于输入深度图中而不是灰度图像中的足够强的边缘被包括在增强深度图中。

[0035] 在步骤 200 中,对准第一和第二图像,假设那些图像并非源自于公共图像传感器。并且,在其他实施例中,可完全消除此对准步骤 200。

[0036] 作为包括此类步骤的实施例中的步骤 200 的一个可能实施方式的示例,如果使用单独深度和 2D 成像器来生成各第一和第二图像,则可应用各种类型的对准操作,诸如仿射变换或其他类型的变换。

[0037] 更特别地,如果深度和 2D 成像器被放置在基本上相同的位置上,则可使用具有一个比例因数以匹配分辨率的简单线性变换。如果将深度和 2D 成像器放置在不同位置上且两者都不具有光栅畸变,则可使用具有 6 个系数的 2D 仿射变换。如果将深度和 2D 成像器放置在不同位置上且 3D 成像器根据沿着 z 轴的值而具有线性光栅畸变,则可使用具有 8 个系数的 3D 至 2D 线性变换。最后,如果将深度和 2D 成像器放置在不同位置上且至少一个具有非线性光栅畸变,则可使用非线性修正器,可能与线性变换组合。可使用许多其他类型和组合的变换或其他对准技术。

[0038] 举例来说,假设输入深度图的分辨率是 (d_x, d_y) 且输入灰度图像的分辨率是 (g_x, g_y) , 并且进一步假设深度图和灰度图像具有相同的纵横比,使得 $d_x/g_x = d_y/g_y = k$, 其中, k 是常数。如果深度图和灰度图像并不具有相同的纵横比,则可切割这些图像中的一个或者使另一个沿着一个维度延伸。

[0039] 在本实施例中,通常 $k \leq 1$ 因为诸如 SL 或 ToF 照相机之类的深度成像器通常具有与诸如照片或视频照相机之类的 2D 成像器相比明显较低的分辨率。步骤 200 的输出处的对准第一和第二图像应具有相同的坐标系和基本上相同的分辨率 (f_x, f_y) , 其中 $f_x/f_y = k$ 且 $d_x \leq f_x \leq g_x$ 。相应地,步骤 200 中的对准可涉及到例如重新调节 2D 图像: $(g_x, g_y) \rightarrow (f_x, f_y)$ 。如前所述,可消除对准,例如在其中由相同图像传感器来提供深度图和灰度图像的实施例中,或者另外当从一个或多个图像源 105 供应给图像处理器 102 时已基本对准。

[0040] 在步骤 202 中,对已对准深度图应用预处理。该预处理可涉及到诸如去噪、均衡化等操作。在其他实施例中,可在对准步骤 200 之前应用预处理。并且,可另外或替换地对输入灰度图像应用预处理器,或者可将其一起消除。

[0041] 在步骤 204-1 中,对深度图执行边缘检测操作以便获得第一边缘图像 E1。

[0042] 在步骤 204-2 中,在灰度图像中执行边缘检测操作以便获得第二边缘图像 E2。

[0043] 可在步骤 204-1 和 204-2 中应用多种已知边缘检测技术中的任何一个以生成边缘图像 E1 和 E2。例如在 J. Canny 在 IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-8, 第 6 期, pp. 679-698, 1986 年 11 月 中的“*A computational approach to edge detection*”中; R. Kimmel 和 A. M. Bruckstein 在 International Journal of Computer Vision, 53(3):225-243, 2003 中的“*On regularized Laplacian zero crossings and other optimal edge integrators*”中; 以及 W. K. Pratt 的 Digital Image Processing, 3rd Edition, John Wiley & Sons, 2001 中公开了此类边缘检测技术的示例,其被通过引用结合到本文中。在步骤 204-1 或步骤 204-2 中应用给定边缘检测操作时,应将任何关联边缘检测阈值设置为足够低,从而确保重要边缘的保持,因为将描述的后续处理将确保拒绝不可靠边缘。并且,可在步骤 104-1 和 104-2 中使用不同类型的边缘检测操作,潜在地使用不同的边缘检测阈值及其他参数。

[0044] 应注意的是如本文所使用的术语“图像”意图被宽泛地理解,并且在边缘图像 E1 和 E2 的语境下可包括例如边缘图或表征所检测边缘的其他像素信息组。术语“边缘”也意图被宽泛地理解,从而涵盖例如在与被成像对象的周界的一部分与该图像的其他部分之间的过渡相关联的给定图像中的一组像素。

[0045] 在边缘图像 E1 或 E2 中的给定的一个中,可用特定二进制像素值来指示边缘像素。因此,作为边缘的一部分的边缘图像像素在边缘图像中具有“1”的二进制值,而不是边缘的一部分的另一边缘图像像素在边缘图像中具有“0”的二进制值。术语“白”和“黑”在本文中还可用来表示边缘图像的各边缘和非边缘像素。

[0046] 在步骤 204-1 和 204-2 中应用的边缘检测技术可涉及到诸如尺寸过小边缘的拒绝之类的技术以及各种类型的边缘分段。例如,可使用边缘分段来识别多个不同的边缘段 ES_n , $n = 1 \dots N$, 其中,给定边缘段的每个像素对应于边缘图像 E1 或 E2 中的一个的特定像素,并且所有边缘被假设为一个像素厚。每个此类边缘段具有起始像素 s_n 和结尾像素 e_n , 并且可包括已填充或未填充拐角位置或其组合。在步骤 204-1 和 204-2 中可生成许多其他类型的边缘段。例如,其他实施例中的边缘段可在厚度方面超过一个像素。

[0047] 在步骤 206 中,使用来自第一和第二边缘图像 E1 和 E2 的边缘来应用联合边缘加权操作。本实施例中的联合边缘加权操作一般地涉及到确定第一边缘图像 E1 中的边缘与第二边缘图像 E2 中的边缘之间的接近度的度量。

[0048] 例如,本实施例中的联合边缘加权操作可更特别地包括限定像素近邻,并且针对第一和第二边缘图像 E1 和 E2 中的一个中的多个边缘像素中的每一个确定在该边缘像素的限定近邻内的第一和第二边缘像素 E1 和 E2 中的另一个的边缘像素的计数。用于第一和第二边缘图像中的一个中的所述多个边缘图像中的当前的一个的限定近邻可包括在当前边缘像素的指定径向距离内的所有像素,如下面将更详细地描述的。可出于联合边缘加权的目的是使用其他类型的距离度量来限定给定近邻。

[0049] 通常,从输入灰度图像导出的第二边缘图像 E2 将比从输入深度图导出的第一边缘图像 E1 具有更加可靠且很好地限定的边缘。相应地,在本实施例中,边缘像素的计数的上述确定可包括针对第二边缘图像 E2 的每个边缘像素确定在第二边缘图像 E2 的边缘像素的限定近邻内的第一边缘图像 E1 的边缘像素的计数。然而,在其他实施例中,可使本示例性联合边缘加权操作中的第一和第二边缘图像 E1 和 E2 的作用相反。

[0050] 在本实施例中,使用曼哈顿距离度量来限定近邻,在图 3 中示出了其示例。在这里,针对近邻半径 r 的不同值示出了给定像素周围的示例性近邻,其中, r 表示从给定像素到近邻的周界的最大曼哈顿距离。在图中,针对近邻半径 r 的三个不同值示出了近邻,包括其中近邻仅由给定像素组成的 $r = 0$ 的值、其中近邻由围绕给定像素的 8 个像素组成的 $r = 1$ 的值以及其中近邻由给定像素周围的 24 个像素组成的 $r = 2$ 的值。本示例中的近邻的尺寸随近邻半径 r 呈指数增加。近邻半径 r 的其他值能够用来在联合边缘加权操作的环境下限定近邻。并且,如上文所指示的,能够使用其他距离度量,包括欧几里德距离、棋盘距离等。

[0051] 第一边缘图像 E1 中的边缘像素是对于其而言 $E_1(i, j) = 1$ 的像素,E1 的所有其他像素等于 0。同样地,第二边缘图像 E2 中的边缘像素是对于其而言 $E_2(i, j) = 1$ 的像素,E2 的所有其他像素等于 0。

[0052] 在第一示例中,步骤 210 中的联合边缘加权操作涉及到对 E2 中的每个边缘像素执行以下伪代码:

[0053]

```
for (vote(i,j) = 0, r = 0; r <= r_max; r = r + 1)
{
  consider vicinity of radius r around E2(i,j)
  (which due to image alignment corresponds to E1(i,j));

  if E2(i,j) is closer to image border than r,
  vicinity size can be smaller than (1+2*r)2;

  N = number of all E1(k,l) = 1 that fall within this vicinity;

  vote(i,j)=vote(i,j) + N * gammar; where gamma>1 is a predefined
  constant (for example gamma = 2 can be very efficiently implemented
  with operand arithmetical shifting in fixed-point number
  representation);
}
```

[0054] 在第二示例中,步骤 210 中的联合边缘加权操作涉及到执行以下伪代码:

[0055]

```

for (i = 1, i ≤ fx; i = i + 1)
  for (j = 1, j ≤ fy; j = j + 1)
    dt(i, j) = gamma{-distance_transform(E1(i, j)) * distance_transform(E2(i, j))} ;

for (i = 1, i ≤ fx; i = i + 1)
  for (j = 1, j ≤ fy; j = j + 1)
  {
    consider vicinity of radius r around E2(i, j);
    if E2(i, j) is closer to image border than r,
    vicinity size can be smaller than (1+2*r)2;

    vote(i, j) = sum of all dt(l, k) over vicinity
  }

```

[0056] 上述第二示例涉及到利用距离变换来针对E2中的每个像素确定到E1中的最近边缘像素的距离且反之亦然。

[0057] 在第三示例中,步骤210中的联合边缘加权操作涉及到执行以下伪代码:

[0058]

```

for (i = 1, i ≤ fx; i = i + 1)
  for (j = 1, j ≤ fy; j = j + 1)
    dt(i, j) =
    distance_transform(E1(i, j)) * distance_transform(E2(i, j));

for (i = 1, i ≤ fx; i = i + 1)
  for (j = 1, j ≤ fy; j = j + 1)
  {
    consider vicinity of radius r around E2(i, j);
    if E2(i, j) is closer to image border than r,
    vicinity size can be smaller than (1+2*r)2;

    vote(i, j) = number of pixels within the vicinity such that
    dt(i, j) < thresholdd
  }

```

[0059] 值 threshold_d 是作为联合边缘加权操作的参数而设定的整数常数。

[0060] 以上伪代码中的值 vote(i, j) 是在本文中更一般地称为落在另一边缘图像的特定像素的近邻内的一个边缘图像中的某些类型像素的“计数”的示例。如前所述,在这些示例中相对于第二边缘图像E2中的像素来限定近邻,但是在其他实施例中,可使E2和E1的作用相反,使得相对于第一边缘图像E1中的像素限定近邻。

[0061] 在步骤210中,基于在步骤206中执行的边缘加权操作的结果来生成边缘掩蔽。该边缘掩蔽是至少部分地使用在各像素近邻范围内确定的上述计数而生成的,并被应用于获得第三边缘图像E3。例如,可在步骤210中根据以下等式通过边缘掩蔽的逐个像素施加到第二边缘图像E2来获得第三边缘图像:

[0062] $E_3(i, j) = (E_2(i, j) \text{ and } \text{mask}(i, j))$,

[0063] 其中,E3(i, j)表示第三边缘图像的像素,E2(i, j)表示第二边缘图像的像素,and表示逻辑与运算算子,并且mask(i, j)表示边缘掩蔽的像素。

[0064] 在本示例中, $mask(i, j)$ 是基于表示为 $vote(i, j)$ 的相应计数是否大于指定阈值而确定的二进制值, 其中, 根据前述联合边缘加权示例中的给定的一个, 计数 $vote(i, j)$ 表示在第二边缘图像的像素 $E_2(i, j)$ 的限定近邻内的第一边缘图像 E_1 的边缘像素的计数。

[0065] 这些计数指示 E_2 中的边缘到 E_1 中的边缘的接近度。在 E_1 中不具有足够接近的配对物的 E_2 中的边缘被视为不可能与实际对象边界相关联的不可靠边缘, 并且因此通过边缘掩蔽的施加被消除。可如下更特别地表征边缘掩蔽过程:

[0066] $E_3(i, j) = (E_2(i, j) \text{ and } \text{vrai}(vote(i, j) > \text{threshold}_v))$,

[0067] 其中, threshold_v 是正常数, 并且 vrai 是提供二进制输出值 $\text{vrai}(\text{true}) = 1$ 和 $\text{vrai}(\text{false}) = 0$ 的真值函数。阈值的较小值 threshold_v 将趋向于保留可能在 E_1 中不具有紧密相邻边缘的来自 E_2 的更多边缘, 而阈值的较高值将导致使用 E_1 中的边缘进行的 E_2 中的边缘的更严格验证。在其他实施例中可使用基于来自步骤 206 中的联合边缘加权操作的计数的其他类型的边缘掩蔽。

[0068] 边缘掩蔽步骤 210 的输出第三边缘图像 E_3 表示一组增强边缘, 如在图中所指示的。这些边缘中的每一个可具有能够在由图像处理器 102 执行的后续处理操作中使用的关联置信度估计。此类置信度估计的生成被视为一种“边缘验证”, 如在本文中广泛使用的。并且, 包括在基本上仅具有指定可靠性水平的那些边缘的给定边缘图像中是边缘验证的另一示例, 如在本文中使用的。

[0069] 在步骤 212 中, 使用深度图滤波来执行边缘合并操作。深度图滤波在图中被示为被说明性地应用于第三边缘图像 E_3 以便生成已修改第三边缘图像 E_3' 。可使用步骤 212 中的涉及到深度图滤波的此操作来确保结果得到的已修改第三边缘图像 E_3' 包括来自在 E_2 中不具有配对物的来自 E_1 的强边缘, 其可能在其中输入灰度图像包括位于与成像器的不同距离处的相等灰度亮度对象的情况下发生。作为一个示例, 可如下对第三边缘图像 E_3 应用边缘合并操作:

[0070] $E_3'(i, j) = (E_3(i, j) \text{ or } (\text{vrai}(vote(i, j) < \text{threshold}_c) \text{ and } \text{edge_importance}(D(i, j)) > \text{threshold}_i))$,

[0071] 其中, $D(i, j)$ 表示已对准和预处理输入深度图的像素, or 表示逻辑或算子, threshold_c 是确保将不会发生双边缘的相对小的阈值, 并且 threshold_i 是确保在 E_3' 中将包括来自 E_1 的强边缘的相对大的阈值。

[0072] 能够以多种不同方式来定义将上述函数 edge_importance 。例如, 可将此函数说明性地定义为用 2D 高斯低通滤波器 $LPF(\cdot)$ 平滑化的梯度量值。

[0073]

$$\text{edge_importance}(D) = \text{thinning} \left(LPF \left(\sqrt{(\partial D / \partial x)^2 + (\partial D / \partial y)^2} \right) \right),$$

[0074] 其中, 函数 $\text{thinning}(\cdot)$ 使得边缘为一个像素厚。能够使用许多其他函数来定义输入深度图 D 中的特定边缘的重要性以供在步骤 212 中的通过深度图滤波的边缘合并中使用。在深度图滤波步骤 212 中可利用步骤 204-1 中的边缘检测操作的边缘图像输出, 如在图 2 中所指示的。

[0075] 在步骤 214 中, 使用来自第三边缘图像 E_3 的边缘或已修改第三边缘图像 E_3' 来执行边缘去水印操作, 以便生成相对于输入深度图具有增强边缘质量的增强深度图。边缘图

像 E3 和边缘图像 E3' 两者都被视为在本文中更一般地称为“第三边缘图像”的项目的示例。在下面的示例中,使用来自 E3 的边缘来应用边缘去水印,但是其可以替代地使用来自 E3' 的边缘来应用。

[0076] 假设在以 E3 的可靠边缘为边界的区域内部,深度不作为 (x, y) 位置的函数而突然改变。相应地,步骤 214 可涉及到例如向位于由 E3 的边缘限定的边界内部的已对准和预处理输入深度图的各部分应用 2D 平滑滤波器。在步骤 214 中应用的这些及其他类型的边缘去水印能够用来抑制诸如深度图中的被成像对象的内部中的斑点噪声之类的噪声以及去除其他奇异点并均匀地填充边缘附近的不确定区域。

[0077] 在计算上廉价的示例性边缘去水印操作包括以下步骤:

[0078] 1. 排除在 E3 中的边缘附近具有不可靠深度值的深度图像素。这可涉及到例如消除所有深度图像素,对于其而言

[0079] $\text{distance_transform}(E_3(i, j)) < \text{reliability_threshold}$,

[0080] 其中, $\text{reliability_threshold}$ 是确定深度图像素必须有多接近于 E3 中的边缘以便被认为可靠的常数。此参数是相对场景独立的,并且能够针对给定类型的深度成像器被优化。

[0081] 2. 对由步骤 1 使用来自在给定边缘的同一侧的相邻可靠像素的深度值创建的空白进行去水印。例如,可使用中值滤波方案,其中,为每个被从步骤 1 排除的像素分配由在相应边缘的同一侧的多个相邻可靠像素的中值深度值给定的深度值。

[0082] 3. 对已去水印区域应用平滑滤波。例如,可使用每次覆盖 M^2 个像素的滑动 2D 正方形紧支 (short-support) 中值滤波器。如果 M^2 个像素的已滤波区域的一部分与边缘重叠,则在滤波中不利用相应的深度值。

[0083] 可根据需要重复上述边缘去水印过程以解决不具有所分配深度值的任何其余边缘像素。例如,可出于此目的使用局部化 3×3 2D 中值滤波器。在诸如其中空白边缘像素不成问题的姿势识别之类的某些应用中,可消除边缘去水印过程的此附加重复。并且,在其他实施例中可使用其他类型的边缘去水印操作,或者可将边缘去水印一起消除。

[0084] 能够以简单方式来使图 2 过程成流水线。例如,能够并行地执行该步骤的至少一部分,从而减少用于给定输入深度图和灰度图像的过程的总等待时间,并促进所述技术在实时图像处理应用中的实现。

[0085] 可在图像处理器 102 中进一步处理在步骤 214 的输出处生成的增强深度图,或者供应给另一处理设备 106 或图像目的地 107,如前所述。

[0086] 将认识到的是在图 2 的实施例中使用的特定过程步骤仅仅是示例性的,并且其他实施例能够利用不同类型和布置的图像处理操作。例如,在其他实施例中能够改变用以增强给定图像的边缘并生成包括增强边缘的已修改图像的特定方式。并且,如上所述,在其他实施例中,能够至少部分地与一个或多个其他步骤并行地执行在图中被指示为串行地执行的步骤。因此在一个实施例中应将如图 2 中所示的特定步骤及其互连视为过程步骤的一个可能布置,并且其他实施例可包括按照不同的处理顺序布置的附加或替换过程步骤。

[0087] 本发明的实施例提供了用于使用一个或多个附加图像的图像增强和边缘验证的特别高效的技术。例如,公开技术相对于针对诸如来自 SL 或 ToF 照相机或其他类型的深度成像器的深度图像之类的某些类型的图像一般地产生质量差的检测图像的常规边缘检测

技术而言能够提供明显改善的边缘图像。此外,在没有常规边缘检测操作常常要求的过度参数调谐的成本和复杂性的情况下使用在本文中公开的技术来提供具有可靠边缘的图像。

[0088] 相应地,在本发明的实施例中产生的具有可靠边缘的增强深度图及其他类型的图像能够显著地增强利用此类边缘图像的后续图像处理操作的有效性,包括例如特征提取、图案识别、姿势识别、对象识别和跟踪。

[0089] 再次地应强调的是如本文所述的本发明的实施例意图仅仅是说明性的。例如,能够利用多种与在本文所述的特定实施例中利用的那些不同类型和布置的图像处理电路、模块和处理操作来实现本发明的其他实施例。另外,在其他实施例中不需要应用在本文中在描述某些实施例的背景下进行的特定假设。在以下权利要求范围内的这些和许多其他替换实施例对于本领域的技术人员而言将是显而易见的。

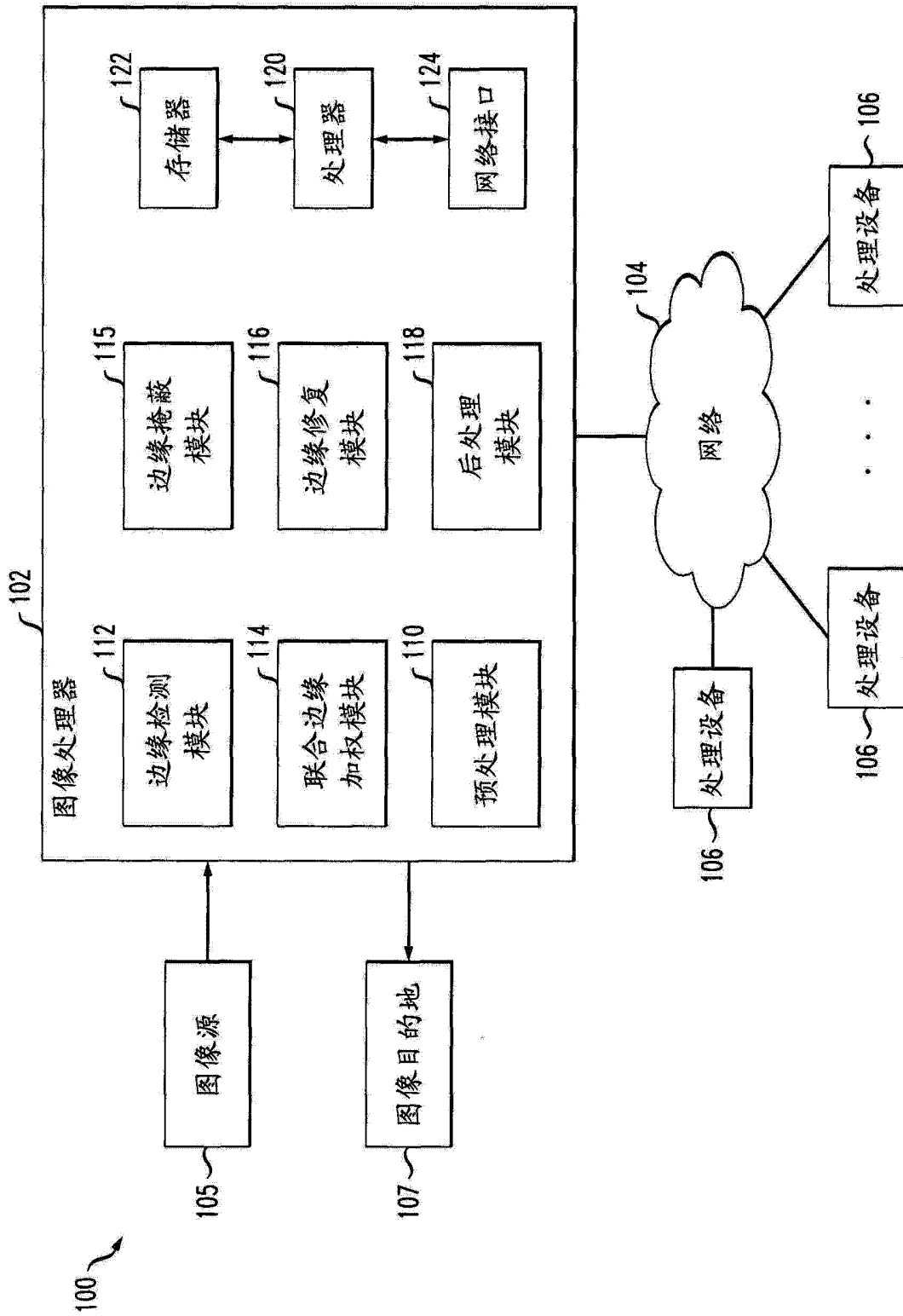


图 1

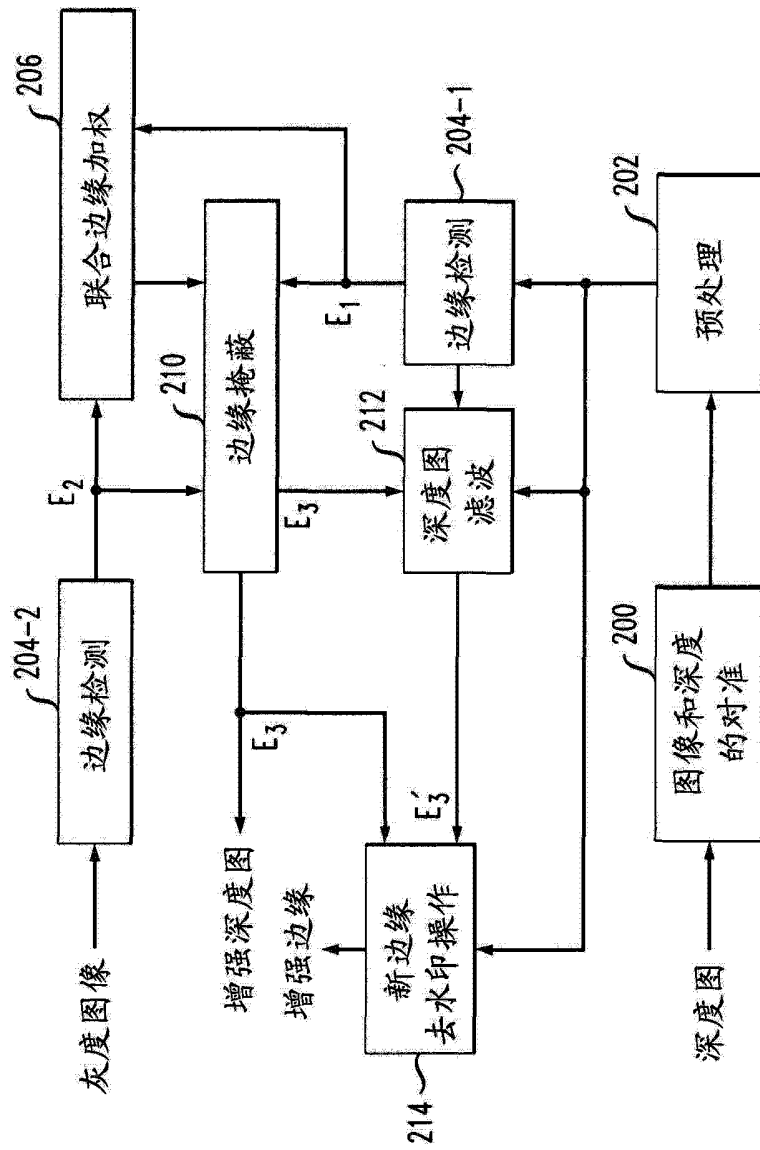


图 2

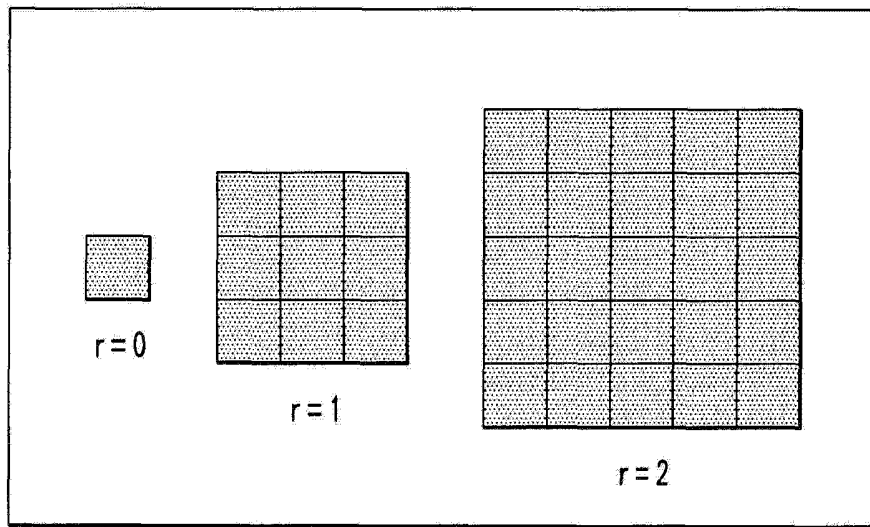


图 3