

高动态范围成像技术中的鬼影检测与去除方法综述

胡胜男 张 伟 刘 侃 顾建军

(山东大学控制科学与工程学院 济南 250061)

摘 要 由于广泛的实用价值与理论价值,高动态范围成像(HDRI)技术成为图像处理领域的一个研究热点,如何检测及去除成像过程中产生的干扰影像(即“鬼影”)也引起了研究者的广泛关注。将鬼影检测与去除方法按照运动物体是否属于拍摄目标及算法操作域进行系统分类,将鬼影检测算法分为无参考图像、有参考图像两大类并将每一大类分为辐射域检测、图像域检测两类,将鬼影去除算法分为辐射域去除、图像域去除两大类,对其中每一类算法分别全面综述了其特点及最新研究成果,并对不同方法的优缺点进行了比较分析。最后总结了不同方法的适用条件并给出了关于这一课题未来发展的思考。

关键词 高动态范围成像,鬼影,参考图像,辐射域,图像域

中图分类号 TP751 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.8.003

Survey of Ghost Detection and Removal Methods in HDR Imaging Technology

HU Sheng-nan ZHANG Wei LIU Kan GU Jian-jun

(School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract Because of its extensive practical and theoretical values, the high dynamic range imaging (HDRI) technique has become a hot topic in the areas of image processing. How to deal with the ghost produced in the process has attracted many researchers' attentions. This paper respectively categorized ghost detection and removal methods according to whether the moving objects belong to the shooting target and operation domain into two categories. The ghost detection was classified into radiation field detection and image domain detection. The removal methods was classified into radiation field removal and image domain removal. For each category, the state-of-the-art research achievements were reviewed comprehensively. We also analyzed the characteristics of different algorithms. Thoughts and foresights of this field were given at the end of this paper.

Keywords High dynamic range imaging, Ghost, Reference image, Radiance domain, Image domain

动态范围一般为场景中 brightest 部分与最暗部分的亮度值之比。用相机或者手机等普通摄影设备拍摄图片时,获得的图片的动态范围要远远低于真实场景中所包含的动态范围。前者属于低动态范围(Low Dynamic Range, LDR)图像,大小一般为 256 个单位;后者为高动态范围(High Dynamic Range, HDR)图像,可达到 10^{14} 个单位。因此,当拍摄一幅图像时,真实场景中较亮或较暗的区域在拍摄的图像中将呈现出饱和和现象,即全黑或全白,进而造成图像信息的丢失。为了解决真实场景与拍摄图像动态范围之间的差距问题,更好地抓取真实场景中的细节,提出了高动态范围成像技术(High Dynamic Range Imaging, HDRI)。HDR 成像技术主要可以分为硬件和软件两种。其中,硬件方法一般通过采用具有特殊传感器的成像设备^[1-5]或同时采用多个成像设备来实现^[6,7],虽然较普通相机所得动态范围有显著提高,但还是无法与自然场景的动态范围相比。这些方法受硬件、曝光速度、分辨率等限制,对硬件要求较高,而且对于大多数人来说太过昂贵。

多曝光图像融合技术是获得 HDR 图像的最主要的方法。在不改变硬件的前提下,通过调节相机光圈和曝光时间,对同一场景进行多次不同曝光,然后将多幅曝光进行适当地融合,得到一幅再现目标场景动态范围的 HDR 图像。根据曝光融合算法的操作域的不同,可以将多曝光融合算法分为两类:辐射域融合算法和图像域融合算法,两种算法的执行过程如图 1 所示。比较经典的是辐射域的融合算法^[8-10],其首先需要通过光圈、曝光时间等信息推算相机响应函数(Camera Response Function, CRF)^[11],得到成像场景所有像素点的真实辐射值,即生成与摄像机所获 LDR 图像对应的 HDR 图像;然后应用色调映射(Tone Mapping)^[12,13]对得到的 HDR 图像进行非线性映射,使其可以在普通的 LDR 设备上得以显示^[14-16]。而在图像域的曝光融合^[17-20]直接针对图像的像素值进行融合操作,不需要恢复相机响应函数及还原辐射值,得到的即为可以直接在 LDR 设备上显示的普通图像。辐射域融合算法能比较真实地还原场景的动态范围,已经在

到稿日期:2016-02-25 返修日期:2016-06-15 本文受国家自然科学基金项目(61573222, 61233014),山东省科技重大专项(2015ZDXX0801A02),江苏省重点实验室开放项目(3DL201502),山东大学基本科研业务费专项资金(2016JC014)资助。

胡胜男(1992-),女,硕士生,主要研究方向为图像处理、机器视觉, E-mail: hushengnan@mail.sdu.edu.cn; 张伟(1981-),男,博士,副研究员,主要研究方向为图像处理、机器视觉、机器学习、人工智能, E-mail: davidzhangsdu@gmail.com(通信作者); 刘侃(1990-),男,硕士生,主要研究方向为机器视觉、机器学习、人工智能; 顾建军(1973-),男,博士,教授,主要研究方向为图像处理、机器人、生物医学。

Photoshop、Photomax、HDRFusion 等图像处理软件中得到了很好的应用。但由于相机响应函数推算对图像噪声和图像序列配准误差较为敏感,不易操作,而在图像域融合算法绕开了相机 CRF 估计,直接融合像素值,因此其性能更加稳定,而且融合过程也更加简单,运算成本相对较低。

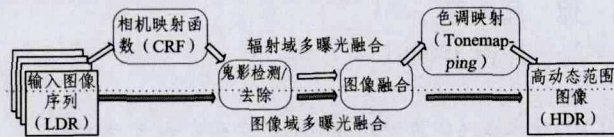


图 1

1 鬼影的产生与运动物体分类

1.1 鬼影的产生

无论在辐射域融合还是图像域融合,都需要拍摄的目标场景保持静止。一旦场景在拍摄过程中发生任何改变或有运动物体闯入,最后在得到的融合图像的场景发生改变的区域都会出现模糊或半透明的影像,我们一般称之为“鬼影”,如图 2(b)所示。由于室外拍摄的场景大多为动态场景,运动物体很难避免,因此如何消除合成图像中的鬼影在图像融合领域至关重要。



(a)同一场景的4幅不同曝光图像



(b)动态场景下图像融合结果中出现的“鬼影”问题

图 2

1.2 运动物体分类

通过总结,将导致鬼影产生的运动物体主要分为两类:一类为拍摄期间闯入所摄场景中的行人或其他物体,属于干扰运动物体;另一类则为所摄场景中一直包含的运动物体,如抖动的树叶,它是拍摄者感兴趣的部分,属于非干扰运动物体。

2 鬼影检测方法

由于干扰运动物体大多为闯入目标场景中的行人或其他短暂出现的运动物体,因此只要拍摄的图像数量足够多,且造成鬼影的干扰运动物体只在少数图像中出现,就可以将图像序列中的图片进行两两比较,找出运动区域。这类方法称为无参考图像的鬼影检测方法。

非干扰运动物体一般出现在大部分图像中,所以针对干扰运动物体的上述假设不成立。需选定一幅曝光良好的图像作为参考图像,然后将序列中其他图像与参考图像进行比较,

保留与参考图像一致的区域,同时去除与参考图像不一致的区域,达到既去除鬼影又保留运动物体的结果。这类方法为选取参考图像的鬼影检测方法。

2.1 无参考图像的鬼影检测方法

将无参考图像的鬼影检测方法根据检测区域分为在辐射域检测和在图像域检测。

2.1.1 在辐射域检测

Reinhard 等人^[6]提出了基于方差的鬼影检测方法,即对图像序列中相同位置的像素辐射值求取方差,若某幅图像中有干扰运动物体出现,则该位置的辐射值与其他图像中的辐射值将出现较大差别,该像素点的方差随之增大。因此,根据方差大小就可判断运动物体所在区域。但是,这种方法存在很大局限性,当运动物体与静态背景颜色相近,即图像区域对比度较低时,就不能准确检测出运动物体。Jacobs 等人^[21]提出计算信息熵的方法来改善方差检测的局限性,该方法可以较好地检测出与背景颜色相近的干扰运动物体。

Sidibe 等人^[22]根据像素值与曝光时间之间的联系来检测鬼影区域。对像素值与辐射值、曝光时间来说,存在如下关系:

$$Z_{i(x,y)} = f(E_{i(x,y)} \Delta t_i) \quad (1)$$

其中, $Z_{i(x,y)}$ 为第 i 幅图像 (x,y) 位置上的像素值, $E_{i(x,y)}$ 为第 i 幅图像 (x,y) 位置上的辐射值, Δt_i 为第 i 幅图像的曝光时间, f 为相机响应函数。图像的辐射值具有不随曝光时间长短发生改变的特性,因此由式(1)可得,该点像素值与曝光时间之间存在着单调递增关系。因此,当图像序列中某一位置的像素值不满足这种顺序关系时,则该像素所在区域判断为被鬼影影响的区域。Grosch^[23]根据像素值与曝光时间这种单调特性提出了另外一种鬼影检测方法,即利用一幅曝光中已知的像素值来对其他曝光中的像素值进行估计,然后将估计值与实际的像素值进行比较,当二者差值超过所设定的阈值时,则该像素所在区域判断为鬼影区域。

2.1.2 在图像域检测

Pece 等人^[24]提出利用中值位图来检测鬼影。首先找到图像的中间像素值,然后利用此中间值来对整幅图像进行二值化处理,像素值小于或等于中间值的计为 0,高于中间值的计为 1,这样就得到一幅图像的二进制位图 M ,将所有图像的二进制位图进行求和运算:

$$S_{(x,y)} = \sum_{i=1}^N M_{i(x,y)} \quad (2)$$

$M_{i(x,y)}$ 为第 i 幅二进制位图 (x,y) 处的值, $S_{(x,y)}$ 为输入图像在 (x,y) 位置上的位图总和, N 为输入图像数量。当 $S_{(x,y)}$ 等于 0 或 N 时,说明所有输入图像在该位置的像素值与中间像素值的大小关系一致,该点为静态区域;否则,判断该点被鬼影影响。

Zhang 和 Cham^[25,26]提出了基于图像梯度的鬼影检测方法。由于梯度具有在静态区域维持方向不变的特性,因此通过观察像素点的梯度方向改变量,就可检测到运动物体。第 i 幅图像在 (x,y) 位置的梯度方向可用 $\theta_{i(x,y)}$ 表示,第 i 幅与第 j 幅图像在 (x,y) 上的梯度方向改变量以 $(2r+1) \times (2r+1)$ 的窗口为单位由式(3)求得:

$$d_{(x,y)}^{ij} = \frac{\sum_{k=-r}^r |\theta_{i(x+k)(y+k)} - \theta_{j(x+k)(y+k)}|}{(2r+1)^2} \quad (3)$$

最后,根据梯度方向改变对图像序列进行一致性评估:

$$C_{(x,y)} = \sum_{j=1}^N \exp\left(-\frac{(d_{(x,y)}^j)^2}{2\sigma_s^2}\right) \quad (4)$$

其中, σ_s 为标准偏差 0.2, $C_{(x,y)}$ 代表了第 i 幅图像 (x,y) 位置的像素点与其他图像的像素点一致性大小, $C_{(x,y)}$ 越大, 表示该点为静态区域的可能性越大; 反之, 则为鬼影区域的可能性较大。

2.2 选取参考图像的鬼影检测方法

同样地, 根据检测领域将选取参考图像的鬼影检测方法分为两类: 在辐射域检测与在图像域检测。

2.2.1 在辐射域检测

Gallo 等人^[27] 提出了基于随机抽样一致性算法 (RANSAC) 的检测技术。输入序列中任意第 i 幅与第 j 幅图像存在如下关系:

$$\frac{Z_{(x,y)}^i}{\Delta t_i} = \frac{Z_{(x,y)}^j}{\Delta t_j} \quad (5)$$

除了饱和的像素, 只有被鬼影影响的像素点才会偏离式 (5) 所表述的关系, 因此挑选输入序列中饱和像素最少的图像作为参考图像, 由式 (5) 可得:

$$\ln Z_{(x,y)}^i = \ln Z_{(x,y)}^j + \ln(\Delta t_i) - \ln(\Delta t_{ref}) \quad (6)$$

将所有点的信息绘在以 $\ln Z_{(x,y)}^i$ 和 $\ln Z_{(x,y)}^j$ 为坐标的二位坐标系中, 利用 RANSAC 算法可得到一条拟合直线, 若某点偏离这条直线越远, 则该点属于鬼影区域的可能性越大。

Min 等人^[28] 通过构建多层次阈值地图来检测鬼影区域。将每幅输入图像的所有像素点根据像素值大小平均分成 M 组, $L_{(x,y)}^i$ 表示第 i 幅图像 (x,y) 位置的像素点等级, 显然该值为介于 1 和 M 之间的整数。将其余每幅图像的多层次阈值地图与参考图像的阈值地图相减, 差值非零的像素点即属于鬼影区域。

Sung 等人^[29] 提出基于零均值归一化互相关 (Zero-mean Normalized Cross Correlation, ZNCC) 的鬼影检测方法。利用输入图像与参考图像每个像素点之间的辐射值匹配程度来获取 ZNCC 值, 该值用来表征两幅图像的相关程度大小, 范围为 $-1 \sim 1$ 。当其他图像与参考图像在辐射值上越匹配时, ZNCC 就越接近 1 或 -1 , 此处为静态区域的可能性相应地就越大; 否则判断为鬼影区域。

近年来又出现了一类基于图像之间密集匹配的鬼影检测方法^[30-32]。其中, Hu 等人^[30] 提出的方法通过寻找源图像与参考图像之间的密集匹配特征点来估算两幅图像之间的色彩转换函数, 然后利用色彩转换函数来检测两幅图像间那些不能较好匹配的点, 即被鬼影影响的像素点。Sen 等人^[31] 则采用基于双向相似性检测的方法来计算输入图像与参考图像的像素点间的匹配程度, 进而检测出运动区域。

2.2.2 在图像域检测

Zhang 和 Cham^[33] 在文献^[25, 26] 的基础上提出改进的鬼影算法, 首先挑选一幅曝光良好的图像作为参考图像, 然后计算其他输入图像与参考图像之间梯度方向的变化量, 根据变化量就可检测出图像中的鬼影区域。这种算法与文献^[25, 26] 中的相比, 降低了对输入图像的数量要求, 同时解决了文献^[24] 在处理某些动态场景时的局限性, 如抖动的树叶。

3 鬼影去除方法

鬼影检测的最终目标是将鬼影去除, 之前的学者提出了多种鬼影去除算法, 主要分为在辐射域去除与在图像域去除。

3.1 在辐射域去除

在辐射域去除鬼影最常用的方法是利用权值地图来实现的^[28, 34-36]。根据鬼影检测的结果对所有输入图像中的像素点分配相对应的权值, 然后将同一位置上的所有像素点进行加权平均。文献^[28] 首先选取参考图像, 通过计算其他图像与参考图像每个像素点的差异来得到权值地图; 文献^[35] 提出利用核密度估计的方法来直接计算像素点属于静态区域的可能性; 文献^[36] 则通过预先估计带宽矩阵来计算像素点属于背景静态区域的可能性。后两种方法直接使用可能性大小作为权值进行图像融合运算, 因此跳过了鬼影检测阶段。

另外一类方法是基于输入图像之间的密集匹配来对运动区域进行校正或拼接来实现的^[37-41]。Kang 等人^[37] 通过改进的光流算法来对图像序列进行全局校准, 得到密集的局部运动区域, 然后使用运动参数来对鬼影区域的像素点进行校正。Zimmer 等人^[38] 提出基于能量的光流算法来准确检测出图像之间的密集运动位移并对其进行校正。HaCohen 等人^[39] 通过提取参考图像与其他图像之间的密集匹配并采用补丁块拼接^[42] 的方式来对匹配较差的区域进行修复, 达到了去除鬼影的效果。Hu 等人^[40] 则提出了利用参考图像与其他图像之间的匹配关系构建一组中间图像, 该图像继承了参考图像中的大部分重要细节, 同时选取序列中其他图像的内容来对参考图像中的饱和区域进行修补, 以应对参考图像中的大片饱和区域以及严重的相机抖动。

3.2 在图像域去除

文献^[17, 24, 25] 中的方法都是在图像域对每个像素点进行权重分配, 以直接融合得到无鬼影 HDR 图像。其中, Pece 等人^[24] 利用中值位图检测出被鬼影影响的像素点, 并结合饱和度和曝光质量对每幅曝光中的像素点进行权重分配和加权融合。Zhang 和 Cham^[25, 26] 通过对图像分别进行可见性与一致性测量来对像素点进行评价, 最后将可见性与一致性结合通过计算得到权重地图。Mertens 等人^[17] 则提取图像的对比度、曝光质量以及图像饱和度作为衡量图像质量的参数, 利用这 3 个参数对像素点进行定量分析并分配权重, 最后对多幅图像进行加权融合。

4 鬼影检测与去除算法的归纳与实验分析

4.1 鬼影检测与去除算法的归纳

本文第 2、3 节对近年来学者们提出的鬼影检测及去除方法进行了详细介绍和分类, 具体信息如表 1 所列。将产生鬼影的运动物体按照是否为拍摄者感兴趣的部分分为干扰与非干扰运动物体。其中, 针对干扰运动物体的鬼影检测方法大多对整个输入图像序列进行操作, 并且建立在场景主体部分为静态的假设基础上, 对输入图像的数量也有一定的要求; 当运动物体成为场景主体时, 上述假设将不能成立, 则需要在图像序列中选取一幅图像作为参考, 才能准确地检测出鬼影区域。选取参考图像的鬼影检测算法可以在保留特定的运动物体的同时去除鬼影, 并且在输入图像数量较少的情况下也能够实现。因此, 相比较而言, 选取参考图像的鬼影去除算法对于复杂的动态场景有更好的适应性及鲁棒性。

从操作域方面的比较来看, 在图像域操作不需要估算相机响应函数, 合成的图像也不需要调色映射就可直接在普通显示设备上查看, 因此与在辐射域的鬼影去除算法相比, 其运算难度与复杂程度大大降低, 日常应用性相对较高。但是, 在辐射域融合得到的图像更接近真实场景的动态范围, 因

此更加有利于后续的其他图像处理过程,如提取或检测场景中的特定物体等。

表 1 鬼影检测与去除算法分类

方法	鬼影检测				鬼影去除	
	参考图像		检测域		去除域	
	无参考	有参考	辐射域	图像域	辐射域	图像域
Reinhard ^[6]	✓		✓			
Jacobs ^[21]	✓		✓			
Sidibe ^[22]	✓		✓		✓	
Pece ^[24]	✓			✓		✓
Zhang ^[25]	✓			✓		✓
Gallo ^[27]		✓	✓		✓	
Min ^[28]		✓	✓		✓	
Sung ^[29]		✓	✓		✓	
Hu ^[30]		✓	✓		✓	
Sen ^[31]		✓	✓		✓	
Zhang ^[33]		✓		✓		✓
Khan ^[35]					✓	
Pedone ^[36]					✓	
Kang ^[37]					✓	
Zimmer ^[38]					✓	
Hu ^[40]					✓	

4.2 实验结果比较与分析

本节将通过对不同场景下的多曝光序列进行融合实验,来对几种最新的 HDR 融合算法^[17,27,33,40]进行比较与分析。其中,Mertens 等人^[17]与 Gallo 等人^[27]提出的算法均不需要选取参考图像,Mertens 等人^[17]的算法为图像域算法,而 Gallo 等人^[27]提出的算法为辐射域算法。Zhang 和 Cham^[33]和 Hu 等人^[40]提出的算法均建立在选取参考图像的基础上,其中 Zhang 和 Cham^[33]的算法为图像域算法,而 Hu 等人^[40]的算法为辐射域算法,为了比较的客观性,在以下实验中均选取同一幅图像作为参考图像。

如图 3 所示,输入为包含运动物体的一组动态图像序列,



(a)同一场景的 5 幅不同曝光图像

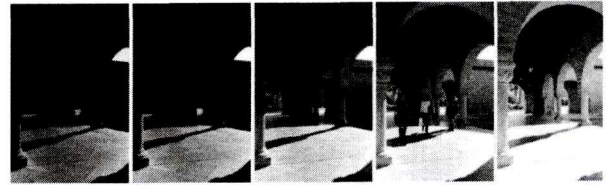


(b)Mertens 等人^[17]的融合结果 (c)Zhang 和 Cham^[33]的融合结果 (d)Gallo 等人^[27]的融合结果 (e)Hu 等人^[40]的融合结果

注:实验输入图像序列来自 Orazio Gallo。

图 3

分别用文献[17]、文献[27]、文献[33]及文献[40]中提出的算法对其进行融合。可以看出,Mertens 等人^[17]的结果中存在明显的鬼影,Gallo 等人^[27]的结果中鬼影被去除,但是存在少量的过曝光与虚化区域,Zhang 和 Cham^[33]和 Hu 等人^[40]的结果均比较理想。



(a)同一场景的 3 幅不同曝光图像



(b)Mertens 等人^[17]的融合结果 (c)Zhang 和 Cham^[33]的融合结果 (d)Hu 等人^[40]的融合结果

注:实验输入图像序列来自 Sing Bing Kang。

图 4

接下来,针对更加复杂的动态场景进行进一步实验比较,结果如图 4 和图 5 所示。由于目标场景中存在大面积过曝光与欠曝光区域,因此极大地增加了鬼影检测和去除的难度。从实验结果来看,Mertens 等人^[17]的结果中仍存在鬼影,Zhang 和 Cham^[33]的结果中也出现了鬼影,而 Gallo 等人^[27]和 Hu 等人^[40]的结果中则成功将鬼影去除,其中 Gallo 等人^[27]的结果中仍存在少量过曝光的区域,而 Hu 等人^[40]的结果则更加自然和平滑,图像序列中更多的细节也被保留下来。

从上述实验可以得出, Mertens 等人^[17]的 HDR 融合算法只对静态场景有效,一旦场景中存在着运动物体,其融合结果中都会产生相对应的鬼影。Gallo 等人^[27]的算法针对不同场景的融合结果都不存在鬼影,但是结果中会存在少量过曝光区域,因此细节保留方面表现欠佳。Zhang 和 Cham^[33]的算法针对简单场景(如图 3 中的场景)的运动检测和去除表现较好,场景中尽可能多的细节也得以保留,但是一旦场景中包含了大量饱和区域(如图 4、图 5 中的场景),其融合结果中就会出现鬼影。这是由于 Zhang 和 Cham^[33]所提出的梯度提取方法在饱和区域出现失真所致,因此这种算法对复杂场景的鲁棒性较差。Hu 等人^[40]的方法针对简单和复杂场景都能生成无鬼影的 HDR 图像,而且结果中没有过曝光现象出现,因此他们所提出的基于图像块匹配的算法对于不同场景下的运动检测和去除均具有较好的鲁棒性。但是,这种算法与前面几种算法相比运算量较大,而且在极少数情况下,仍有可能出现错误匹配的情况,会产生局部的融合漏洞。

总的来说,在辐射域操作的方法比图像域方法更加稳定,但是运算过程复杂,运算量相对较大。而选取参考图像的算法生成的 HDR 图像比无参考图像算法所生成的结果更加平滑和自然,对于运动去除有更好的鲁棒性。

结束语 本文介绍了多曝光融合技术中常见的鬼影问题,并对近年来学者们提出的鬼影检测及去除方法进行了详细介绍和分类。将产生鬼影的运动物体按照是否为拍摄者感兴趣的部分分为干扰与非干扰运动物体。其中,针对干扰运动物体的鬼影检测方法大多对整个输入图像序列进行操作,并且建立在场景主体部分为静态的假设基础上,对输入图像的数量也有一定的要求;当运动物体成为场景主体时,上述假设将不能成立,则需要从图像序列中选取一幅图像作为参考,才能准确地检测出鬼影区域。选取参考图像的鬼影检测算法可以在保留特定的运动物体的同时去除鬼影,并且在输入图像数量较少的情况下也能够实现。此外,还根据操作对象的不同将去鬼影分为辐射域和图像域两种。其中,在图像域操作的算法不需要估算相机响应函数,合成的图像不需要进行色调映射就可直接在普通显示设备上查看。而在辐射域融合得到的图像更接近真实场景的动态范围,更加有利于后续的其他图像处理过程。

此外,本文还针对最新的 HDR 算法在不同场景下的实验结果,从对场景的适应性和运动检测的鲁棒性等方面进行了比较和分析。可以看出,并没有一种现存的 HDR 融合算法能够解决所有的问题,每一类方法都有其各自的优点和缺点。因此,如何能够简洁地合成尽可能接近真实场景的无鬼影高动态范围图像仍然是图像处理领域中未来的一个重要课题。

参考文献

- [1] Mitsunaga T, Nayar S K. High dynamic range imaging: spatially varying pixel exposures[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE Press, 2000; 472-479
- [2] Wen D D. High dynamic range charge-coupled device[P]. US, 4873561, 1989
- [3] Street R. A. High dynamic range segmented pixel sensor array [P]. US, 5789737, 1998
- [4] Tumblin J, Agrawal A, Raskar R. Why I want a gradient camera [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE Press, 2005; 103-110
- [5] Aggarwal M, Ahuja N. Split aperture imaging for high-dynamic-range[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 58: 7-17
- [6] Reinhard E, Ward G, Pattanaik S, et al. High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display and Image-Based Lighting[M]. San Francisco, US; Morgan Kaufmann Publishers, 2005
- [7] Srikantha A, Sidibé D. Ghost detection and removal for high dynamic range images: Recent advances[J]. Signal Processing, Image Communication, 2012, 27(6): 650-662
- [8] Debevec P, Malik J. Recovering high dynamic range radiance maps from photographs[C]//Proceedings of the SIGGRAPH 97 Conference. 1997; 369-378
- [9] Mann S, Picard R. Being 'undigital' with digital cameras; extending dynamic range by combining differently exposed pictures [C]//Proceedings of the IS&T 46th Annual Conference. 1995; 422-428
- [10] Mitsunaga T, Nayar S K. Radiometric self-calibration[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE Press, 1999; 374-380
- [11] Grossberg M D, Nayar S K. Determining the camera response from images: what is knowable? [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25: 1455-1467
- [12] Krawczyk G, Myszkowski K, Seidel H P. Lightness perception in tone reproduction for high dynamic range images[J]. Computer Graphics Forum, Wiley Online Library, 2005, 24(3): 635-645
- [13] Reinhard E, Stark M, Shirley P, et al. Photographic tone reproduction for digital images[J]. ACM Transactions on Graphics, 2002, 21(3): 267-276
- [14] Durand F, Dorsey J. Fast bilateral filtering for the display of high dynamic range images[J]. ACM Transactions on Graphics, 2002, 21(3): 257-266
- [15] Fattal R, Lischinski D, Werman M. Gradient domain high dynamic range compression[J]. ACM Transactions on Graphics, 2012, 21(3): 249-256
- [16] Li Y, Sharan L, Adelson E H. Compressing and companding high dynamic range images with subband architectures[J]. ACM Transactions on Graphics, 2010, 24(3): 836-844
- [17] Mertens T, Kautz J, Van Reeth F. Exposure fusion: A simple and practical alternative to high dynamic range photography[J]. Computer Graphics Forum, Wiley Online Library, 2009, 28(1): 161-171
- [18] Bogoni L, Hansen M. Pattern-selective Color image fusion[J]. Pattern Recognition, 2001, 34(8): 1515-1526
- [19] Goshtasby A A. Fusion of multi-exposure images[J]. Image and Vision Computing, 2005, 23: 611-618
- [20] Raman S, Chaudhuri S. Bilateral filter based compositing for variable exposure photographs[C]//Proceedings of the Eurographics Conference. 2009; 1-4
- [21] Jacobs K, Loscos C, Ward G. Automatic high dynamic range image generation of dynamic environments[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2008, 28(2): 84-93
- [22] Sidibe D, Puech W, Strauss O. Ghost detection and removal in

- high dynamic range images[C]//Proceedings of the 17th European Signal Processing Conference, 2009;2240-2244
- [23] Grosch T. Fast and robust high dynamic range image generation with camera and object movement[C]//Proceedings of Vision, Modeling and Visualization Conference, 2006;277-284
- [24] Pece F, Kautz J. Bitmap movement detection; HDR for dynamic scenes[C]//Proceedings of Visual Media Production, 2010;1-8
- [25] Zhang W, Cham W K. Gradient-directed composition of multi-exposure images[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE Press, 2010;530-536
- [26] Zhang W, Cham W K. Gradient-directed multi-exposure composition[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21(4): 2318-2323
- [27] Gallo O, Gelfand N, Chen W C, et al. Artifact-free high dynamic range imaging[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computational Photography. IEEE Press, 2009;1-7
- [28] Min T H, Park R H, Chang S K. Histogram based ghost removal in high dynamic range images[C]//Proceedings of the International Conference on Multimedia and Expo, 2009;530-533
- [29] Sung H S, Park R H, Lee D K, et al. Feature based ghost removal in high dynamic range imaging[J]. International Journal of Computer Graphics and Animation, 2013, 3(4): 23-39
- [30] Hu J, Gallo O, Pulli K, et al. Hdr deghosting; How to deal with saturation? [C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE Press, 2013;1163-1170
- [31] Sen P, Kalantari N K, Yaesoubi M, et al. Robust patch-based hdr reconstruction of dynamic scenes [J]. ACM Transactions on Graphics, 2012, 31(6): 439-445
- [32] Zheng J, Li Z, Zhu Z, et al. Hybrid patching for a sequence of differently exposed images with moving objects [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(12): 5190-5201
- [33] Zhang W, Cham W K. Reference-guided exposure fusion in dynamic scenes[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2012, 23: 467-475
- [34] Heo Y S, Lee K M, Lee S U, et al. Ghost-free high dynamic range imaging[C]//Proceedings of the 10th Asian Conference on Computer Vision, 2010;486-500
- [35] Khan E A, Akyuz A O, Reinhard E. Ghost removal in high dynamic range images[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing. IEEE Press, 2006;2005-2008
- [36] Pedone M, Heikkila J. Constrain propagation for ghost removal in high dynamic range images[C]//Proceedings of the International Conference on Computer Vision Theory and Applications, 2008;36-41
- [37] Kang S B, Uyttendaele M, Winder S, et al. High dynamic range video[J]. ACM Transactions on Graphics, 2003, 22(3): 319-325
- [38] Zimmer H, Bruhn A, Weickert J. Freehand hdr imaging of moving scenes with simultaneous resolution enhancement[J]. Computer Graphics Forum, 2011, 30(2): 405-414
- [39] HaCohen Y, Shechtman E, Goldman D, et al. Non-rigid dense correspondence with applications for image enhancement [J]. ACM Transactions on Graphics, 2011, 30(4): 76-79
- [40] Hu J, Gallo O, Pulli K. Exposure stacks of live scenes with handheld cameras[C]//European Conference on Computer Vision. Springer, 2012;499-512
- [41] Lee C, Li Y, Monga V. Ghost-free high dynamic range imaging via rank minimization[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2014, 21(9): 1045-1049
- [42] Boykov Y, Veksler O, Zabih R. Fast approximate energy minimization via graph cuts[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23: 1222-1239

(上接第 6 页)

- [16] IBM Corporation. IBM Tivoli Monitoring [M]. IBM Corporation, 2009
- [17] Zitello T, Williams D, Weber P. HP OpenView System Administration Handbook; Network Node Manager, Customer Views, Service Information Portal, OpenView Operations[M]. Prentice Hall PTR, 2003
- [18] Wallin S, Landen L. Telecom alarm prioritization using neural networks[C]//22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications-Workshops, 2008(AIN-AW 2008). IEEE, 2008;1468-1473
- [19] Rao U H. Challenges of Implementing Network Management Solution[J]. International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPS), 2011, 2: 67-76
- [20] Mei Y, Liu L, Pu X, et al. Performance analysis of network I/O workloads in virtualized data centers[J]. IEEE Transactions on Services Computing, 2013, 6(1): 48-63
- [21] Petrucci V, Carrera E V, Loques O, et al. Optimized management of power and performance for virtualized heterogeneous server clusters[C]//2011 11th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid). IEEE, 2011; 23-32
- [22] Chen W, Shang Z, Tian X, et al. Dynamic Server Cluster Load Balancing in Virtualization Environment with OpenFlow[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2015, 2015: 1-8
- [23] Aderholdt F, Han F, Scott S L, et al. Efficient Checkpointing of Virtual Machines Using Virtual Machine Introspection[C]//IEEE International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing. IEEE, 2014; 414-423
- [24] Tan Cheng-xin, Wang Lei, Guan Yu-xin. Research on Micro-reboot Technology with Supporting Self-healing[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2013, 34(1): 77-82(in Chinese)
- 谭成鑫, 王雷, 关育新. 支持自恢复的微重启技术研究[J]. 小型微型计算机系统, 2013, 34(1): 77-82
- [25] Bharadwaj S, Neema J, Salini S, et al. Dual server hot standby architecture for disaster recovery[R]. Technical Report, III TB-TR-2012-04, 2012
- [26] Anand M. Cloud monitor; monitoring applications in cloud[C]//2012 IEEE International Conference on Cloud Computing in Emerging Markets (CEEM). IEEE, 2012; 1-4