

基于局部信息熵最大的多曝光控制方法

侯幸林^{1,2,3}, 罗海波^{1,3,4}, 周培培^{1,2,3}

- (1. 中国科学院沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 中国科学院光电信息处理重点实验室, 辽宁 沈阳 110016;
4. 辽宁省图像理解与视觉计算重点实验室, 辽宁 沈阳 110016)

摘要: 基于融合多幅低动态图像来获取高动态图像的过程中, 传统方法中低动态图像获取时对曝光时间选取的策略简单, 使拍摄的多幅图像信息冗余较多, 严重影响融合效率。提出了一种基于局部信息熵最大准则的多曝光控制方法。讨论了低动态场景图像信息熵与曝光时间的关系, 得出了低动态范围场景的图像信息熵随曝光时间的增加呈现先增加后减小的规律, 并在某个曝光时间处信息熵最大。对于高动态场景, 首先, 利用图像平均灰度响应与曝光时间的近似线性关系确定场景的曝光时间范围; 然后, 根据图像直方图将高动态场景分成若干个低动态范围场景区域; 最后, 以信息熵最大为优化目标, 设计一维搜索算法, 搜索各个低动态范围区域的最优曝光时间, 直到所有区域都搜索到最优曝光时间。此方法将场景的局部信息熵与曝光时间联系起来, 能针对不同的区域进行曝光时间优化, 目的性强, 有效地避免了传统曝光控制中的缺点, 实验证明: 用该方法获取的图像进行融合获得了良好的效果。

关键词: 自动曝光控制; 高动态成像; 信息熵; 一维搜索

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA201746.0726001

Multi-exposure control method based on maximum local information entropy

Hou Xinglin^{1,2,3}, Luo Haibo^{1,3,4}, Zhou Peipei^{1,2,3}

- (1. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. Key Laboratory of Opt-Electronic Information Processing, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;
4. Key Laboratory of Image Understanding and Computer Vision, Shenyang 110016, China)

Abstract: In the process of obtaining high dynamic range (HDR) image using the fusion of multiple shot images, the selection of exposure time in traditional method is blind, which makes the image information redundant and thus affects the fusion efficiency. In this paper, a method of multi-exposure control based on maximum local information entropy was proposed. The relationship between information entropy and exposure time of low dynamic scene was discussed. It was concluded that the image information entropy of a low dynamic range scene increased first and then decreased with the increase of exposure time. And information entropy achieved the maximum at a certain exposure time. For a high dynamic range scene,

收稿日期: 2016-11-11; 修订日期: 2016-12-03

作者简介: 侯幸林(1987-), 男, 博士生, 主要从事图像融合、高动态成像、运动模糊恢复方面的研究。Email:houxinglin@sia.cn

导师简介: 罗海波(1967-), 男, 研究员, 博士生导师, 博士, 主要从事图像处理、目标识别等方面的研究。Email:luohb@sia.cn

firstly, the range of exposure time was determined by using the approximate linear relationship between the gray level of the image and the exposure time. Secondly, the high dynamic range scene was divided into several low dynamic range (LDR) regions by using the histogram of the image. At last, the optimal exposure time of each region was searched. The method combined the local information entropy with the exposure time, which made different exposure to different regions and avoided the shortcomings of the traditional exposure control effectively. Experimental results show that the image obtained with the proposed method has a good effect.

Key words: auto-exposure control; HDR imaging; information entropy; one-dimensional search

0 引言

自然场景中景物亮度的动态范围很大,可达 160 dB^[1]。而现有的 CCD 和 CMOS 图像传感器动态响应范围较小,远小于人眼的 100~120 dB。因此,在拍摄一些动态范围很大的场景时,场景的亮度差异远远超过感光元件的可探测宽度,针对此问题,研究人员^[2-3]设计了能自动调节动态范围的成像系统,然而硬件成本较高,在某种程度上限制了其发展与应用。除了通过硬件获取高动态图像外,也可通过融合不同曝光条件下拍摄的多幅低动态图像,来获取高动态图像。多曝光控制是指以人的主观视觉感受为依据,通过控制曝光量来获取一组不同曝光条件下的图像,为高动态融合提供必要的基础。这种曝光控制方法中的每次曝光都是针对场景中的某一区域进行最优曝光,得到几幅曝光量不同的图像。

很多学者利用多幅图像融合来获取高动态图像^[4-5],但在多幅图像的拍摄过程中,如果盲目地选取曝光量,会使获取的多幅图像存在信息冗余,降低高动态成像系统的效率。学者 Piao 等^[6]通过调整曝光量使图像灰度均值处于输出系统的中间值范围时获取一张图像,再次调整曝光量,当亮区的最大值和暗区的最小值也都处于这一范围之内时再获取两张图像,最后将这三张图像融合得到高动态图像。学者 Vuong 等^[7]通过比较图像灰度均值和中间值的大小关系来判断图像的曝光情况,然后根据曝光情况进行多次曝光,最后将多次曝光获取的图像进行融合来得到高动态图像。Pourreza 等^[8]提出了先由相机自动曝光获取一幅最优图像,其曝光量为 m ;再通过像素聚类及局部信息熵等信息来决定曝光增量,获取曝光量为 $m+n$ 和 $m-n$ 的两幅图像,最后将三幅图像

融合来得到高动态图像。Huang 等^[9]也采用了类似的方法得到了不错的结果,实验还表明,仅用三幅低动态图像即可得到高质量的高动态图像。Hirakawa 等^[10]从概率论的角度,描述了如何利用光子到达靶面的统计结果进行曝光控制以使图像信息量最大来获取高动态图像,取得了较好效果。Vallikumari 等^[11]通过改变曝光时间,检测图像灰度值的改变量和曝光时间的改变量之间的关系,从而判断图像中灰度值靠近 255 的区域是曝光过度还是均匀反射面,然后根据判断结果选择曝光量,最后进行图像融合。Steffen^[12]通过分析图像的直方图,计算使图像中亮点和暗点数量小于一定阈值时的曝光时间,最后将多幅图像融合得到高动态图像,但该方法中对亮点和暗点的定义不明确,阈值的选取也有一定的盲目性,并且不考虑亮区与暗区以外区域的直方图分布,可能会导致整体图像偏暗或偏亮。以上方法从不同的角度实现了自动曝光,最终获取高动态图像;但如果场景的动态范围很大时,此类方法将失去其有效性。

文中通过分析低动态场景图像信息熵与曝光时间的关系,得出了图像信息熵随着曝光时间的增加会呈现先增加后减小的结论。提出了一种基于局部信息熵最大准则的多曝光控制方法。首先根据图像的直方图将图像分为若干个亮度不同的区域;然后针对不同的区域,利用一维搜索的方法寻找图像信息熵最大时对应的曝光时间,即可认为是最优曝光时间。

1 低动态场景图像信息熵与曝光时间关系分析

在实际的曝光过程中,传统的自动曝光控制方法很难确定一个最优的曝光值,同时也没有相关的理论支撑。然而对一个低动态场景做一系列的曝光

后,可以发现,图像的信息熵与曝光时间存在一定的数学关系,也就是说,当曝光时间的选取最佳时,得到的图像信息熵最大。首先,从定量的角度观察图像信息熵与曝光时间的关系,随意选取一个场景,并以不同的曝光时间进行曝光,会得到一系列图像,进而计算图像的信息熵,得到的图像信息熵与曝光时间的关系曲线如图 1 所示。从图中可以看出,随着曝光时间的增加图像信息熵呈现先增加后减小的规律,信息熵在最优曝光时间取得最大值。

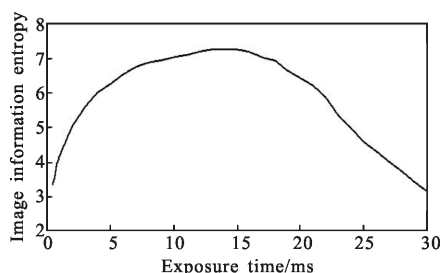


图 1 图像信息熵与曝光时间的关系

Fig.1 Relationship between image information entropy and exposure time

为了更加严谨地说明信息熵与曝光时间的关系,取一幅 $m \times n$ 大小的图像,若图像中所有像素均匀分布时信息熵最大。在此情况下,每个灰度级 k 出现的概率 p_k 是相同的,即

$$p_1=p_2=K=p_k=\frac{mn/k}{mn}=\frac{1}{k} \quad (1)$$

图像的最大信息熵可由下式求得:

$$E_{\max}=-\sum p_i \log(p_i) \quad (2)$$

对于用 8 Bits 数据表示的图像,图像的最大信息熵为 $E_{\max}=\log(256)=8$ 。由此式计算得到的最大信息熵是在一个理想情况下得到的,显然在一个真实场景中所有的灰度级不可能均匀分布。

图像直方图表示对各灰度级出现频次的统计结果,曝光时间的改变也会带来图像直方图的变化,而图像的信息熵与各灰度级出现的频次直接相关,因此,曝光时间的改变会带来图像信息熵的改变。对于一个低动态场景区域,若曝光时间较短,图像中某些像素截止,其直方图主要集中在左侧,如图 2(a)所示,此时图像信息熵会随着曝光时间的增加而增加;当曝光时间增加时,灰度范围随之扩大,直到整个场景区域都在灰度范围之内,如图 2(b)所示;继续增加曝光时间,直方图中灰度范围继续扩大,此时场景中最亮的点所对应的灰度已接近饱和值,如图 2(c)所示,但

此过程中,信息熵保持不变;若再增加曝光时间,图像中会出现像素饱和的情况,此时信息熵会随着曝光时间增加而减小,如图 2(d)所示。下面将作详细说明。

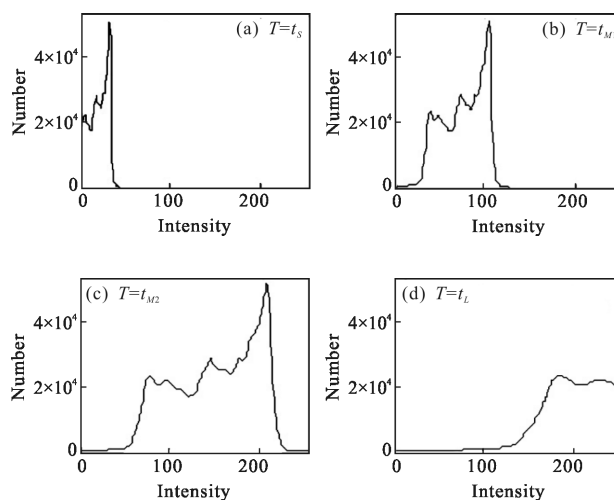


图 2 同一场景在不同曝光时间下的直方图分布

Fig.2 Histogram of a scene in different exposure time

定义 $P_i=N_i/N$, 其中 i 为灰度级, N_i 和 N 为图像中灰度值为 i 的像素数以及图像的总像素数。假设在 $T=t_s$ 时刻,图像 f_1 的信息熵为 $EN_1=-\sum P_i \log P_i$, 当增加曝光时间时,图像 f_2 的信息熵变为 EN_2 , 由于 f_2 中出现了 f_1 中没有的灰度值, 则 $EN_2=-\sum_j P_j \log P_j=-(\sum_j P_j \log P_j + \sum_i P_i \log P_i)$, 其中 EN_2 的 P_j 所对应的灰度值为 EN_1 中的 P_i 所对应的灰度值经过增加曝光时间得到的,灰度值虽然改变,但其在总像素中所占的比例不变,因此 $-\sum P_i \log P_i=-\sum_i P_i \log P_i$; 而 EN_2 中的 P_j 所对应的灰度值是 f_1 中原来某些曝光截止的像素通过增加曝光时间得到的。则可以知道 $EN_2 > EN_1$, 即在 $T=t_s$ 时刻增加曝光时间,信息熵增加。同理也可知道在 $T=t_L$ 时刻增加曝光时间,信息熵减小。而曝光时间在区间 $[t_{M1}, t_{M2}]$ 时,增加曝光时间只会带来灰度级的改变,新灰度值与原始灰度值在总像素中所占的比例相同,则信息熵不变。

通过上述推理可以得出低动态范围场景图像的最大信息熵是存在的,并且图像信息熵随着曝光时间的增加呈现先增加后减少的趋势。然而,由于不同场景的图像信息熵与曝光时间的关系曲线不尽相同,很难从表达式的角度进行最优化求解。因此,文中用一维搜索的方法找出图像最大信息熵对应的最优曝光时间。

2 基于局部信息熵最大的曝光控制

由于高动态场景中不同位置的亮度差异较大,一个确定的曝光时间可能只使得场景中的某一区域曝光良好。例如在曝光时间较短时,场景中亮区在图像中得到较好表达,而暗区曝光不足,甚至曝光截止,图像整体偏暗;而当曝光时间较长时,场景中暗区在图像中得到较好表达,而亮区则会曝光饱和,图像整体偏亮。因此,需要针对场景中的不同亮度区域,选择适合该区域的最佳曝光时间。文中首先确定一个高动态场景的曝光时间范围;然后利用图像直方图对图像不同亮度区域进行分割;最后针对不同亮度区域利用信息熵最大准则在曝光时间范围中搜索最优曝光时间。

2.1 曝光时间范围确定

对于一个真实场景,若曝光时间较短,则图像整体偏暗;若曝光时间较长,则图像整体偏亮,因此,可以通过度量整幅图像的平均灰度来确定曝光时间区域。对于 CCD 和 CMOS 图像传感器,图像的灰度响应值与曝光时间在一定范围内呈近似线性关系,因此,可以通过当前图像平均灰度 I_{cur} 、当前曝光时间 T_{cur} 和目标平均灰度 I_{tar} 来确定目标曝光时间 T_{tar} ,如公式(3)所示:

$$T_{tar} = \frac{T_{cur} \cdot I_{tar}}{I_{cur}} \quad (3)$$

首先,经验选取曝光时间 T 获取一幅图像,求其平均灰度 I 。其次,确定图像的两个目标平均灰度 I_{min} 和 I_{max} ,令其对应的曝光时间 I_{min} 和 I_{max} 所构成的区间为曝光时间范围。其中, I_{min} 和 I_{max} 可由公式(3)求出。若 I_{min} 和 I_{max} 所获取图像的实际平均灰度与目标平均灰度的差异较大,可以将所求的 I_{min} 和 I_{max} 代入公式(3)迭代更新 I_{min} 和 I_{max} 。

2.2 基于直方图的区域分割

用低动态范围相机拍摄高动态场景时所得到的图像的直方图具有一定的规律。场景中不同亮度区域在直方图中以“峰”的形式体现出来,如图 3 所示,天空区域对应直方图右侧的峰,而城堡区域则对应直方图左侧的峰;因此可以根据直方图中峰的分布将原图大致分为几个不同的区域,以对应于原始场景中的暗区和亮区。

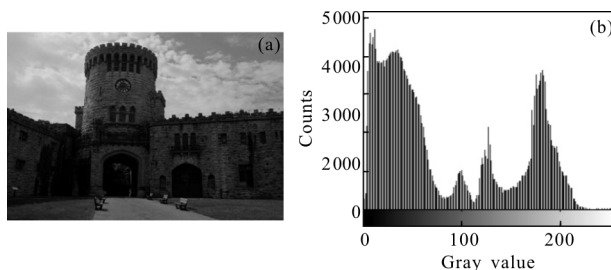


图 3 原始图像和对应的直方图

Fig.3 Original image and corresponding histogram

图 3 所示的直方图中有 4 个峰,分别代表亮度不同的 4 个区域。若将各峰所对应的区域提取出来可以得到如图 4 所示的结果,其中各峰所对应的图像内容如图 5 所示。可以看出,灰度值接近的像素被分在同一区域,也就是说,该操作将高动态场景分成了多个低动态范围场景。

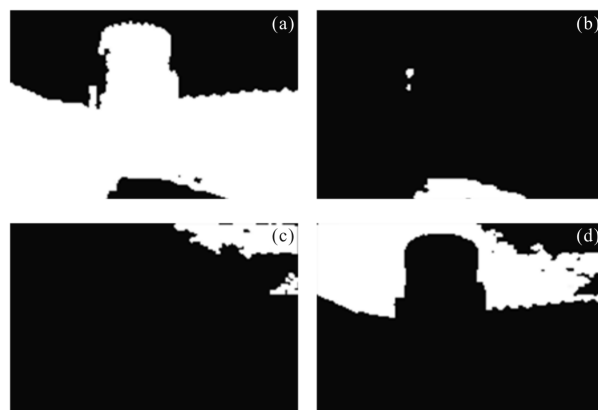


图 4 图像直方图中不同峰对应的图像中不同区域

Fig.4 Different regions corresponding to different peaks in histogram

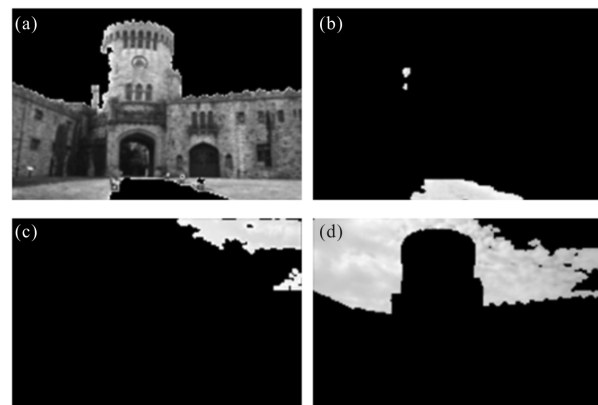


图 5 图像直方图中不同峰对应的图像区域

Fig.5 Image regions corresponding to different peaks in histogram

2.3 最优曝光时间搜索

黄金分割法是用于区间 $[a, b]$ 上任意函数求极

值的问题,对函数除了要求“单峰”外不作其他要求。针对低动态范围图像信息熵随曝光时间的增加呈先增加后减少的情况,利用黄金分割法寻找曝光时间最优值是一个很好的选择。黄金分割法是建立在区间消去法原理基础上的试探方法,即在搜索区间 $[a, b]$ 内适当插入两点 a_1, a_2 ,并计算其函数值, a_1 和 a_2 将区间分成三段,应用函数的单峰性质,通过函数值大小的比较,删去其中一段,使搜索区域得以缩小。然后再在保留下来的区间上做同样的处理,如此迭代下去,使搜索区间无限缩小,通过不断逼近以得到极值的数值近似解。

记图像信息熵为 $f(x)$,其在曝光时间的区域 $[t_1, t_2]$ 上存在极大值,令其极大值为 f^* ,在对图像进行曝光估计之前,首先对场景连续两次曝光,即在区间上选取两个插入点 x_1 和 x_2 ,且 $t_1 < x_1 < x_2 < t_2$,然后计算插入点处图像的信息熵 $f(x_1)$ 和 $f(x_2)$ 。若 $f(x_1) < f(x_2)$,则 $f^* \in [x_1, t_2]$,因此保留 $[x_1, t_2]$,去掉 $[t_1, x_1]$;若 $f(x_1) > f(x_2)$,则 $f^* \in [t_1, x_2]$,因此保留 $[t_1, x_2]$,去掉 $[x_2, t_2]$;若 $f(x_1) = f(x_2)$,则 $f^* \in [x_1, x_2]$,因此去掉 $[t_1, x_1]$ 及 $[x_2, t_2]$ 。如此循环操作,当时间节点 t_1 和 t_2 的差异小于一定的阈值 ε 时,可以认为区间内任意曝光时间对应的熵值为最大信息熵,曝光时间为最优曝光时间。在每一次判断中, x_1, x_2 的选取也会对算法的效率产生一定的影响,为了使 x_1, x_2 在 $[t_1, t_2]$ 上对称,文中选取 $x_1 = t_1 + \omega(t_2 - t_1)$, $x_2 = t_1 + (1 - \omega)(t_2 - t_1)$ 。具体的算法流程如图 6 所示。

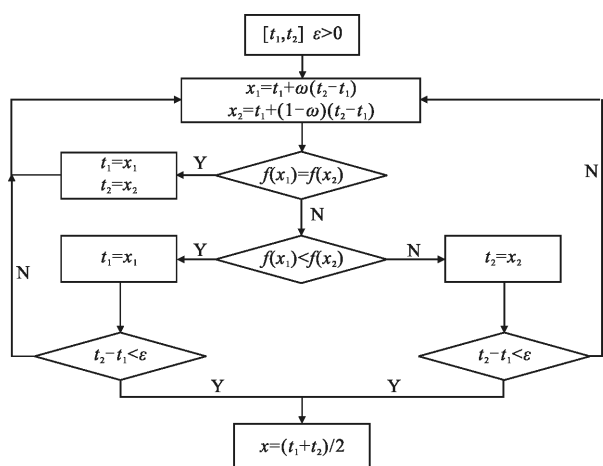


图 6 一维搜索算法流程图

Fig.6 Flow chart of the one dimensional search algorithm

2.4 算法流程

该算法中需对分区得到的每个区域进行最优曝

光计算,因此,首先需要确定 t_1, t_2 ,确保每个区域的最优曝光时间都在 $[t_1, t_2]$ 之间。然后用 $(t_1 + t_2) / 3$ 作为曝光时间对场景曝光来进行分区,最后利用上述搜索算法分别对每个区域进行最优曝光时间计算。具体算法步骤为:

(1) 依据公式(3)确定场景的曝光时间范围 $[t_1, t_2]$,一般情况下,可选择短曝光时间 t_1 使图像的灰度均值在 50 左右,长曝光时间 t_2 使图像的灰度均值在 200 左右。

(2) 以 $(t_1 + t_2) / 3$ 为曝光时间对场景进行再次曝光,然后利用其直方图对图像进行分区,将分得的区域按亮度从大到小排序为 R_1, R_2, R_3 (假设图像可分为 3 个区域)。

(3) 以图像信息熵为度量标准,按照上述的一维搜索方法在 $[t_1, t_2]$ 之间寻找 R_1 的最优曝光时间 t_{R1} ;再在 $[t_{R1}, t_2]$ 之间寻找 R_2 的最优曝光时间 t_{R2} ;最后在 $[t_{R2}, t_2]$ 之间寻找 R_3 的最优曝光时间。

3 实验结果与参数分析

3.1 实验结果

实验采用了 CY-DB752 系列相机对一个高动态场景进行自动曝光,设自由参数 $\omega = 0.4, \varepsilon = 1.5$ 。根据 2.3 节中的实验步骤,首先确定曝光时间区域为 $[0.5 \text{ ms}, 50 \text{ ms}]$;其次,将曝光时间设为 17 ms,获取一幅图像后利用直方图进行分区,可将原始场景分为 4 个低动态范围场景;最后,利用一维搜索方法获取各区域的最优曝光时间,得到四幅图像,如图 7 所

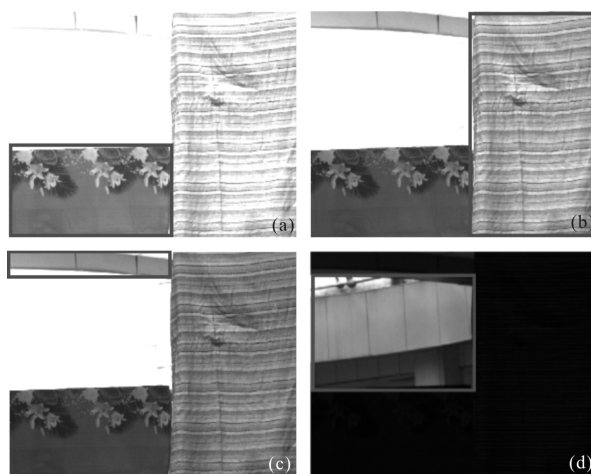


图 7 不同区域在最优曝光时的图像

Fig.7 Images of different regions in their optimal exposure time

示。其中框内的区域为相应最优曝光时间所获取的场景图像效果,可以看出:各个区域都在相应的最优曝光时间下得到了很好的表达。在此实验过程中,总曝光次数为 76,总曝光时间为 2.3 s。

该实验采用了参考文献[4]中的高动态图像融合算法将上述获取的低动态范围图像进行融合,可以得到高动态范围图像,如图 8 所示。可以看出,该图像很好地表达了场景的全部信息。

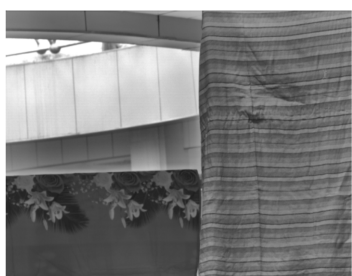


图 8 融合后的高动态图像

Fig.8 Fused high dynamic range image

为了说明文中算法的优越性,文中将提出的控制方法与参考文献[6]和[8]中的曝光控制方法进行比较,同样利用参考文献[4]中的融合方法将对比较算法获取的多幅图像进行融合,通过观察获取的多幅低动态范围图像和融合后的高动态范围图像来比较算法的性能。图 9(a)和图 10(a)分别为参考文献[6]和[8]中相机控制方法对同一场景获取的多幅低动态

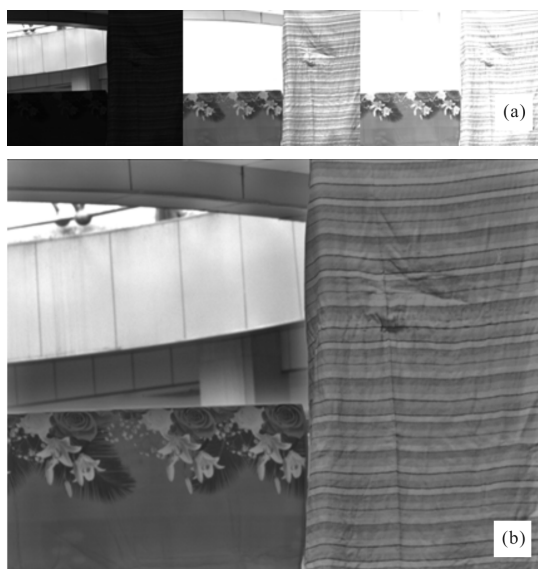


图 9 参考文献[6]方法获取的低动态图像(a)和融合后的高动态图像(b)

Fig.9 LDR images obtained with method of Ref.[6] (a) and the fused HDR image(b)

范围图像。可以看出,在不同的图像中,不同的场景区域得到了较好的表达,但在图 9(b)中可以看出:融合后的图像偏暗,这是由于参考文献[6]中算法是从像素角度进行曝光控制,而不是从场景区域的角度,从像素的角度进行曝光控制必然会使算法受场景特殊性以及噪声的影响较大,因此造成融合后的高动态图像整体偏暗。参考文献[8]中使用了 K-means 算法将场景强制分为 3 个区域,从图 10(a)中可以看出,场景左上角和右部区域被分在了同一个区域,而真实场景中这两个区域亮度相差较大,这样会造成该区域对比度压缩,如图 10(b)所示。文中算法将场景根据不同亮度分成了 4 个区域,如图 7 所示,对不同区域进行曝光可以保留各场景区域内的全部信息,使融合后的图像效果最佳,如图 8 所示。通过对比可以看出,文中曝光控制方法优于其他两种方法。

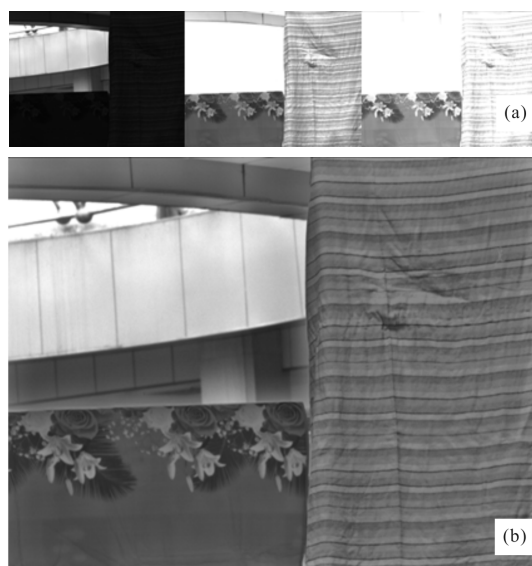


图 10 参考文献[8]方法获取的低动态图像(a)和融合后的高动态图像(b)

Fig.10 LDR images obtained with method of Ref.[8] (a) and the fused HDR image(b)

3.2 参数分析

文中涉及到的自由参数有 ω 和 ε , 分别控制插入曝光时间的位置和时间节点差阈值。算法在执行的过程中, ε 和 ω 的选取会对实验结果产生一定的影响, 该实验分析了 ε 和 ω 的选取和获取最优曝光图像时所用的总曝光时间及总次数以及融合后图像信息熵的关系, 关系结果如图 11 所示。从图 11(a)~(d)中可以看出:在一定范围内,随着 ε 和 ω 的增大,总曝光时间和总曝光次数都呈现减小的趋势, 这说

明增大 ε 和 ω 可以提高算法的运算效率;图 11(e)表明: ω 的增大对融合后图像的信息熵影响不大,说明该算法最终会获取曝光时间的最优值;从图 11(f)可以看出:当 ε 的取值小于 1.5 时,融合后图像的信息熵随 ε 的增大基本保持不变,而当 ε 大于 1.5 时,融合后图像的质量明显降低,这是由于时间节点差阈值较大时,获取的原始图像质量较低造成的。综上所述,同时考虑曝光质量和算法收敛效率,选择 $\omega=0.4, \varepsilon=1.5$ 。

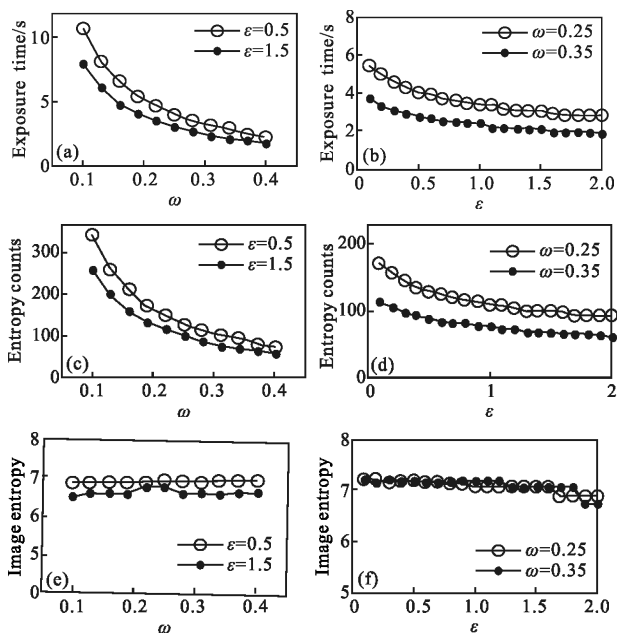


图 11 最优曝光时的总曝光时间、总曝光次数以及融合后图像信息熵与 ω 和 ε 的关系曲线

Fig.11 Relation curves among exposure time, count and entropy with ω, ε

4 结论

文中提出了一种基于区域信息熵最大准则的多曝光控制方法,首先分析了低动态范围场景图像信息熵与曝光时间的关系,利用直方图特性将图像分为不同的区域,再针对不同区域,设计了一维搜索的算法,以寻找各区域的图像信息熵最大时对应的曝光时间,即为最优曝光时间。该算法在低帧频成像系统(25 fps)中会有较高的时间成本,但在高帧频成像系统(>1 000 fps)中,其高动态成像优势将得到体现。在未来的工作中,将把此算法移植到基于 NOIL2SM1300A-D 传感器的高帧频成像系统中,实现多曝光控制的全自主化,这对未来的高动态成像系统设计有极其重要的意义。

参考文献:

- [1] Chaurasiya R K, Ramakrishnan K. High dynamic range imaging [C]//Proceedings of Communication Systems and Network Technologies(CSNT), 2013 International Conference on, IEEE, 2013: 83-89.
- [2] Lv Weizheng, Liu Weiqi, Wei Zhonglun, et al. Design of high dynamic range imaging optical system based on DMD [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43 (4): 1167-1171. (in Chinese)
- [3] An Ran, Chen Yan, Xie Jing. Exposure algorithm for CMOS image sensor with adaptive dynamic range [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, 42(S1): 89-92. (in Chinese)
- [4] Hou Xinglin, Luo Haibo, Zhou Peipei, et al. HDR imaging based on region segmentation[C]//Proceedings of Control and Decision Conference(CCDC), 2015: 1111-1116.
- [5] Shen R, Cheng I, Shi J, et al. Generalized random walks for fusion of multi-exposure images[J]. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 2011, 20(12): 3634-3646.
- [6] Piao Y, Xu W. Method of auto multi-exposure for high dynamic range imaging [C]//Proceedings of Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE), 2010 International Conference on, IEEE, 2010: 93-97.
- [7] Vuong Q K, Yun S H, Kim S. A new auto exposure system to detect high dynamic range conditions using CMOS technology [C]//Proceedings of Convergence and Hybrid Information Technology, 2008. ICCIT'08. Third International Conference on, IEEE, 2008: 577-580.
- [8] Pourreza-Shahri R, Kehtarnavaz N. Automatic exposure selection for high dynamic range photography [C]//Proceedings of Consumer Electronics (ICCE), 2015 IEEE International Conference on, IEEE, 2015: 471-472.
- [9] Huang K F, Chiang J C. Intelligent exposure determination for high quality HDR image generation [C]//Proceedings of Image Processing (ICIP), 2013 20th IEEE International Conference on, IEEE, 2013: 3201-3205.
- [10] Hirakawa K, Wolfe P J. Optimal exposure control for high dynamic range imaging[C]//Proceedings of Image Processing (ICIP), 2010 17th IEEE International Conference on, IEEE, 2010: 3137-3140.
- [11] Vallikumari V, RaviKiran B, Raju K. HDR scene detection and capturing strategy[C]//Proceedings of 2011 Annual IEEE India Conference on, IEEE, 2011: 10.1109/INDCON.2011.6139400.
- [12] Gormer S, Hold S, Kummert A, et al. Multi-exposure image acquisition for automotive high dynamic range imaging [C]//Proceedings of Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2010 13th International IEEE Conference, 2010: 1881-1886.