

文章编号 1004-924X(2017)04-1026-10

采用图像直方图特征函数的高速相机自动曝光方法

马泽龙^{1,2*}, 高慧斌¹, 余毅¹, 蔡立华¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院大学, 北京 100039)

摘要:提出一种采用图像直方图特征(Histogram Feature, HF)函数的自动曝光方法,用于在背景光照快速、大范围变化的情况下对高速相机进行自动曝光控制。首先,采用多点测光对获取的图像进行兴趣区域(Region of Interests, ROIs)提取,以降低系统测光的计算量。然后,通过计算兴趣区域的 HF 函数选取大步长对曝光时间进行粗调。最后,通过模糊逻辑计算出曝光时间的精调步长并运用阈值限制实现变步长搜索最佳曝光时间,提高高速相机自动曝光的准确性及稳定性。实验结果表明:本文方法可以在 2 ms 内完成一帧图像的亮度测量并对曝光时间进行调整,相较于基于平均亮度值的传统自动曝光方法,在 0~110 ms 内,光源光照强度从 760~23 100 lux 反复变化时,本文方法获得的图像信息熵比平均亮度值法的信息熵均值提高 48.38%,方差降低 62.13%,可以提供更好与更稳定的图片细节信息,为后续的自动调焦、图像识别以及目标跟踪提供参考。

关键词:直方图特征;高速相机;兴趣区域;自动曝光

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20172504.1026

Auto exposure control for high frame rate camera using image histogram feature function

MA Ze-long^{1,2*}, GAO Hui-bin¹, YU Yi¹, CAI Li-hua¹

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*

2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)*

* *Corresponding author, E-mail: mazelong1985@126.com*

Abstract: In this paper, a method for auto exposure based on image HF (Histogram Feature) function was proposed to achieve auto exposure control on high-speed camera under the condition where the background lamination was in fast speed and wide-range changes. First, multi-point photometry was conducted to extract the Regions Of Interest (ROI), thus lowering calculation amount of the photometric system; then, large step size was selected to carry out coarse adjustment of the exposure time by calculating HF function of these ROIs; finally, accurately-adjusted step size of the exposure time was calculated through fuzzy logic and then the optimal exposure time was achieved through variable-step search by using threshold limit, so accuracy and stability of the high-speed camera auto exposure were improved. The results show that proposed method is able to complete brightness measurement of

收稿日期:2016-08-04;修订日期:2016-10-12.

基金项目:国家 863 高技术研究发展计划资助项目(No. 2011AA8082035)

one frame image as well as an adjustment in the exposure time within 2 ms; and compared with traditional auto exposure method based on average brightness, average information entropy achieved by proposed method is improved by 48.38% within 0-110 ms when the illumination intensity varies repeatedly from 760 lux to 23 100 lux, with a variance decreased by 62.13%. This method can provide better and more stable details on the image, which serves as useful reference for follow-up auto focusing, image recognition and target tracking.

Key words: Histogram feature; high-speed camera; region of interests; auto exposure

1 引言

随着 CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) 图像传感器 (CMOS Image Sensor, CIS) 技术的迅速发展, CIS 系统在军事和民用领域都得到了广泛应用。高速相机是 CIS 系统的一种, 其帧率是普通 CIS 系统 (例如: NTSC 30 frame/s 或 PAL 25 frame/s) 的几倍至几千倍, 甚至更高, 凭借这一特点, 高速相机被广泛用于记录目标运动过程中的特定瞬间状态或者全部过程, 以获得精准的时间、空间信息, 为研究高速现象的运动规律提供可靠的依据。高速相机普遍采用高灵敏度的图像传感器, 对观测目标亮度以及背景光照要求较高, 早期的高速相机一般应用在可以人工提供良好光照的条件下, 例如工业检测及运动员运动状态观测等。如今对高速目标运动特性分析提出了更广泛的需求, 高速相机开始应用于自然光条件下, 如光电经纬仪等。但自然界中光照的动态范围远高于 CIS 的动态范围, 导致高速相机拍摄的图像特别容易饱和, 容易丢失大量图像细节, 后续无论是靠人眼观察图像特征还是利用图像跟踪器进行判别, 效果都将受到很大影响, 严重影响了光电经纬仪等的跟踪性能。因此, 本文针对光电经纬仪用高速相机在执行任务时如何能快速地退出过度曝光或欠曝光状态展开研究, 以找到较为准确的曝光值, 为后续的调焦以及目标跟踪提供曝光程度良好的图像。

自动曝光 (Auto Exposure, AE) 已经成为影响数字相机成像质量的一个重要因素。通过自动调整相机的曝光时间, 可使自动曝光系统有效降低相机的过曝光或欠曝光现象, 从而最大化图像的细节信息。目前, 国内外学者从平均亮度值^[1-5]、图像亮度直方图^[6]、信息熵^[7]、离散余弦变

换^[8]、数学迭代^[9]以及图像融合^[10-12]等方面对自动曝光进行了研究。但其中大多数仅针对拍摄静止图片的数码相机, 或者工作在常规频率^[13-14]的摄像机, 鲜有针对在目标背景光照不断变化情况下的高速相机进行自动调光的研究。Gu 等^[15]提出了一种基于硬件平台的高速相机自动调光算法, 该算法工作在 8 位灰度图像、512×511 分辨率以及 2 000 frame/s 的情况下, 但该算法需要预先获得一张曝光良好的参考图像。

本文提出一种采用图像直方图特征 (Histogram Feature, HF) 函数的自动曝光方法, 用于在背景光照快速、大范围变化的情况下对高速相机进行自动曝光控制。首先, 采用多点测光对获取的图像进行感兴趣区域提取, 以降低系统测光的计算量。然后, 通过计算感兴趣区域的 HF 函数选取大步长对曝光时间进行粗调。最后, 通过模糊逻辑计算出曝光时间的精调步长, 并运用阈值限制实现变步长搜索最佳曝光时间。该方法可以在 2ms 内完成一帧图像的亮度测量并对曝光时间进行调整, 相对于平均亮度值法与数学迭代法等直接使用图像的亮度信息作为评价标准的方法, 图像直方图特征函数方法可以在短时间内提供更高的信息熵值; 与直接使用图像信息熵作为评价标准的方法相比, 该方法可以通过 HF 函数判断出补偿方向与步长, 从而减少自动曝光系统的搜索时间。实验表明采用图像直方图特征函数的自动曝光方法可以有效提高高速相机自动曝光^[16]的准确性及稳定性, 为后续图像识别^[17-19]以及图像跟踪提供较多的图像细节信息。

2 研究背景

高速相机的自动曝光包括两个步骤, 第一步是图像亮度的测量, 第二步是曝光时间调整。图

1 显示了高速相机自动曝光系统的整体过程。高速相机通过 Camera Link 将图像显示给用户,当相机执行自动曝光后,为了降低系统计算量,对于当前获得的图像,首先通过测光模式提取兴趣区域,本文只提取兴趣区域的绿色分量进行亮度测量。

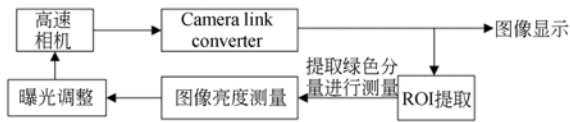


图 1 高速相机自动曝光流程图

Fig. 1 Flowchart of auto exposure for high frame rate camera

2.1 测光模式

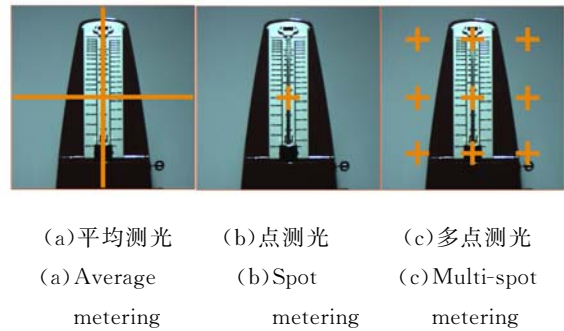
高速相机工作时,两帧图像之间的光照度差别较小,所以通常认为前一帧的测光值,可以为后一帧提供参考。针对不同的光照场景,目前大致有 3 种测光模式:平均测光、点测光以及多点测光,如图 2 所示。

平均测光如图 2(a)所示,其可以充分地表现整个画面的光照强度,在这种测光模式下,相机将测量整幅图像所有像素点的灰度值并取平均值,作为参考对曝光时间进行调整。

点测光的测光范围是以图像传感器中央的一个极小区域作为曝光基准点,大多数点测光相机的测光区域为 1%~5%,相机将这个较窄的区域测得的光线作为曝光依据。点测光只能对很小区域进行准确测光,区域外景物的明暗对测光无影响。典型的点测光的区域位于场景的中央,如图 2(b)所示。

多点测光:如图 2(c)所示,随着图像传感器分辨率的提高,平均测光所耗费的时间也成倍增长。多点测光在图像中提取多个感兴趣区域(Region of Interests, ROIs),以减少测光计算量,降低测光时间。通常,这些点平均地分布在整幅图像中。

高速相机在执行跟踪任务时,获得的图像背景相对简单,但目标在图像中的大小以及位置会实时变化。平均测光虽然能更好地反应图像细节,但当图像分辨率升高后,处理速度往往不能达到高速相机的频率;点测光虽然计算量很小,但测



(a)平均测光 (b)点测光 (c)多点测光
(a) Average metering (b) Spot metering (c) Multi-spot metering

图 2 3 种典型的测光模式

Fig. 2 Three typical metering modes

光区域过小,当测光区域无法覆盖目标时,测光很容易失败。相较于其它两种测光模式,多点测光模式对于高速相机更有优势,故在与传统方法做比较时,本文方法主要应用多点测光模式。

2.2 相机帧频与曝光时间的关系

高速相机的最低曝光时间一般为高速相机允许的最小曝光时间,而最高曝光时间则主要受相机工作帧频的限制:曝光后的图像需要实时转移到内存中,因此每帧都要留有充分的帧转移时间来完成图像转移工作,图 3 为高速相机图像采集的重叠工作模式,即在下一帧图像开始曝光时,将前一帧获得的图像数据读出并传送出去。高速相机在工作时,其最大曝光时间与工作帧频成反比,换言之,帧频越高则最大曝光时间越短,相机对光线变化场景的适应性越差。

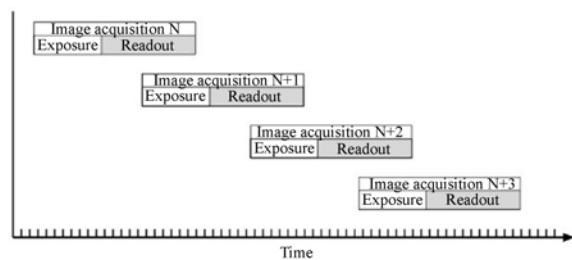


图 3 重叠工作模式

Fig. 3 Overlapped exposure mode

2.3 图像直方图特征函数

灰度直方图是灰度级的函数,它表示图像中具有某种灰度级的像素个数,可反映图像中每种灰度出现的频率。设输入图像为 $I(x, y)$, 有 xy 个像素点,灰度级为 L , 设 $h(i)$ 为 $I(x, y)$ 的灰度直方图:

$$h(i) = \sum_{x,y} C_i(x,y) (i = 0, \dots, 2^L - 1; x, y \in N^+), \quad (1)$$

其中

$$C_i(x,y) = \begin{cases} 1 & (I(x,y) = i) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases}, \quad (2)$$

将直方图归一化,得:

$$norm(i) = h(i)/xy, \quad (3)$$

且 $\sum_i norm(i) = 1, \quad (4)$

图 4 为应用多点测光模式提取 ROI 后图 2 (c) 的归一化灰度直方图。

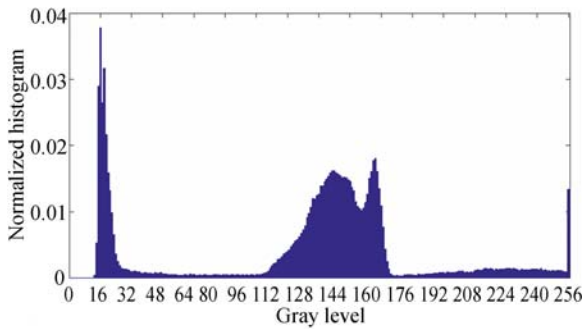


图 4 图像的归一化灰度直方图

Fig. 4 Normalized image gray histogram

虽然灰度直方图可以准确表示图像中所有像素点在每种灰度级下的分布情况,但是它对于图像中亮度的轻微变化以及噪声影响过于敏感,用于机器评判图像亮度时,往往会导致评价函数震荡。为了提高测量目标与背景的亮度鲁棒性,本文将 HF 函数定义为归一化后的图像直方图中亮度值高于门限值 th 的概率密度函数之和, HF 函数为:

$$HF(th) = \sum_{i=th}^{2^L-1} norm(i) (th \in i = 0, \dots, 2^L - 1), \quad (5)$$

本文主要使用了 4 个参数对高速相机捕获的图像进行测量,其中 3 个通过 HF 函数获得的参数记为: H_mean 、 H_half 以及 H_twice , 它们分别代表 th 为平均亮度值时 HF 的函数值、 th 为平均亮度值一半时的 HF 函数值与 th 为平均亮度值二倍时的 HF 函数值。第 4 个参数 H_diff 为计算值:

$$H_diff = \min\{|H_twice - H_mean|, |H_mean - H_half|\}, \quad (6)$$

图像的 HF 函数分布示意图如图 5 所示。

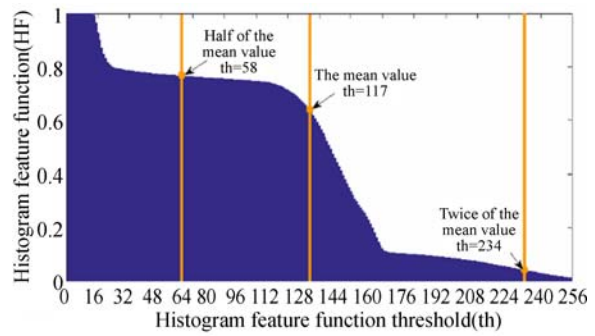


图 5 图像的 HF 函数分布图

Fig. 5 The HF function distribution of image

3 本文方法

3.1 曝光时间粗调

本文提出的自动曝光方法大致分为两个步骤:曝光粗调以及曝光精调,如图 6 所示。

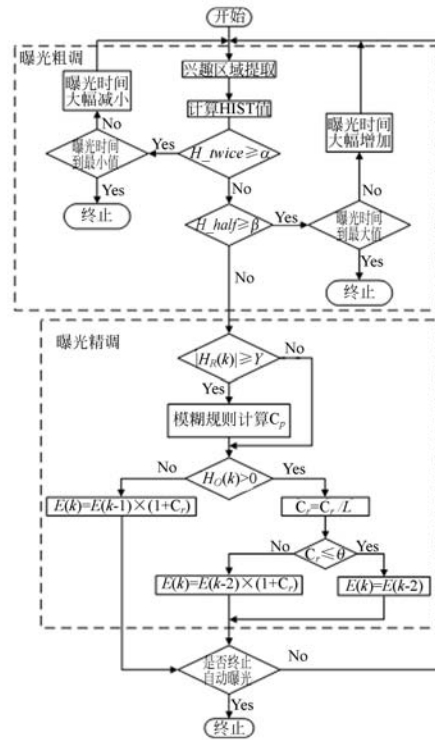


图 6 本文提出的自动曝光方法

Fig. 6 Proposed AE control flow

在曝光粗调阶段,首先提取图片的 ROI,并获得 4 个 HF 函数值。随后,有两个条件可以触发曝光粗调,如下所示:

$$\text{If } (H_twice \geq a)$$

```

then 曝光时间大幅减小
else If (H_half ≥ β)
then 曝光时间大幅增加
else
    进入曝光精调
end if
    
```

其中 α, β 以及曝光时间减小与增大的幅度为预先设定的固定值。与此同时, 还需要判断曝光时间是否达到高速相机的最低或最高曝光时间。当系统检测到相机的曝光时间超出最低或最高曝光时间时, 表示针对目前光照条件, 自动曝光系统已经无法控制相机良好成像, 需要终止自动曝光控制。

3.2 曝光时间精调

在曝光精调阶段, $H_R(k)$ 表示第 k 幅图像与经过模糊规则补偿的首幅图像 $H_O(0)$ 过曝光像素点的比率。 $H_R(k)$ 的估计函数为:

$$H_R(k) = \frac{H_O(k) - H_O(0)}{H_O(k) + H_O(0)}, \quad (7)$$

其中 $H_O(k)$ 代表第 k 幅图像的过曝光像素总和。在本文中, 将过曝光的像素点定义为超过最大亮度值 95% 的像素点, 同时门限值 γ 预设为 0.2。

当获得的图像为首张图像或 $H_R(k)$ 超过门限值时, 本文自动曝光系统会通过模糊规则对曝光时间的补偿方向以及补偿值进行判断。首先使用三角型隶属度函数将 H_mean 与 H_diff 分别归纳为 VS (Very Small)、S (Small)、M (Medium)、B (Big) 以及 VB (Very Big) 5 种程度, 如图 7 所示。针对这些隶属度函数, 提出了 12 条模糊规则对曝光值进行补偿, 如表 1 所示。

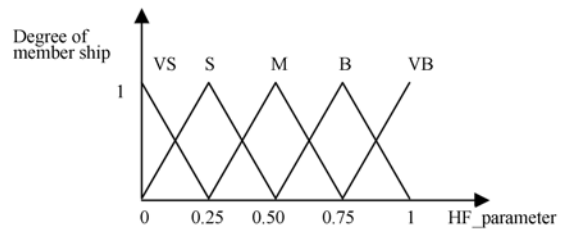


图 7 HF 函数的隶属度函数

Fig. 7 Membership functions of HF parameters

表 1 模糊逻辑规则

Tab. 1 Fuzzy logic in linguistic form

Rule (1,1)	IF (H_diff is VS) and (H_mean is VS)	THEN (C(1,1) is -2λ)
Rule (1,2)	IF (H_diff is VS) and (H_mean is S)	THEN (C(1,2) is $+2\lambda$)
Rule (1,3)	IF (H_diff is VS) and (H_mean is M)	THEN (C(1,3) is $+4\lambda$)
Rule (1,4)	IF (H_diff is VS) and (H_mean is B)	THEN (C(1,4) is $+3\lambda$)
Rule (1,5)	IF (H_diff is VS) and (H_mean is VB)	THEN (C(1,5) is $+\lambda$)
Rule (2,1)	IF (H_diff is S) and (H_mean is VS)	THEN (C(2,1) is $-\lambda$)
Rule (2,2)	IF (H_diff is S) and (H_mean is S)	THEN (C(2,2) is $+\lambda$)
Rule (2,3)	IF (H_diff is S) and (H_mean is M)	THEN (C(2,3) is $+3\lambda$)
Rule (2,4)	IF (H_diff is S) and (H_mean is B)	THEN (C(2,4) is $+2\lambda$)
Rule (2,5)	IF (H_diff is S) and (H_mean is VB)	THEN (C(2,5) is λ)
Rule (3,3)	IF (H_diff is M) and (H_mean is M)	THEN (C(3,3) is λ)
Rule else	ELSE	(C is 0)

表中 $C(i, j)$ 代表曝光时间的补偿值, 正负号表示曝光时间调整的方向, λ 为曝光时间调整步长。逆模糊化过程中, 规则中 THEN 部分的补偿值的权重是由 IF 条件中的隶属度决定的, 如式 (8) 所示:

$$u(i, j) = \min(H_diff \times U(i), H_mean \times U(j)) \quad 1 \leq i \leq 5, 1 \leq j \leq 5, \quad (8)$$

式中 $u(i, j)$ 是 $Rule(i, j)$ 的隶属程度。 $U(i)$ 与

$U(j)$ 分别为 H_diff 及 H_mean 的隶属度函数。

补偿值可以由式 (9) 得出:

$$C_p = \frac{\sum [u(i, j) \times C(i, j)]}{\sum u(i, j)} \quad 1 \leq i \leq 5, 1 \leq j \leq 5, \quad (9)$$

下一幅图像的曝光时间由式 (10) 获得:

$$E(k) = E(k-1) \times C_p, \quad (10)$$

式中 $E(k)$ 代表第 k 幅图像的曝光时间。

当 $H_0(k)$ 不超过门限值时,则继续判断 $H_m(k)$ 。

$H_m(k)$ 表示第 k 幅图像的 H_{half} 值与已知图像序列中 H_{half} 最小值的差,其函数式如下:

$$H_m(k) = H_{half}(k) - H_{half}(k-1), \quad (11)$$

当 $H_m(k) < 0$ 时,第 k 幅图像的曝光时间以第 $k-1$ 幅图像的曝光值作为参考进行补偿,如式(10)所示。

当 $H_m(k) > 0$ 时,则将 C_p 值缩小 L 倍,同时以第 $k-2$ 幅图像的曝光值作为参考,如式(12)所示:

$$E(k) = E(k-2) \times C_p, \quad (12)$$

同时若 C_p 小于门限值 θ ,则保持第 $k-2$ 幅图像的曝光值不变,如式(13)所示:

$$E(k) = E(k-2), \quad (13)$$

如本节所述,本文方法首先通过曝光粗调对相机的曝光时间进行大范围调整,并实时监测图像的背景光照度,判断其是否出现超过预设范围的情况,一旦背景过渡变化,则通过模糊规则重新对曝光补偿值进行测算,反之若背景光照变化较小,则通过变步长方法对曝光进行精调,以保证高速相机的调光精度。

4 自动曝光控制实验与结果

本文设计试验用以验证本文方法在光照快速且变换剧烈场景下的有效性与可靠性。选用2种典型方法与其进行对比,分别表示为:(i)固定曝光时间的方法,(ii)本文提出的方法以及(iii)基于平均亮度的自动曝光方法。所有的实验图像都是通过同一实验平台实时采集的,实验平台包含相机及PC机两部分,相机的分辨率、工作帧频与灰度级数分别为 1024×1024 、100 frame/s 和 8 bit。当执行自动曝光时,

通过多点测光模式在获得的图像上提取25个感兴趣区域,其中每个区域的分辨率为 50×50 ,这就将图像分辨率降低到 250×250 。PC机的配置为: Intel Core I5-6500, 3.2GHz, 4G内存,在 Windows7 x64 位系统下应用 VC++ 语言编写,通过 Visual Studio 2010 软件编译。对于方法(i),曝光时间固定为 $E_N = 1$ ms,方法(ii)中设置曝光粗调阶段门限值 $\alpha = 0.79$, $\beta = 0.82$,曝光时间增大与减小的倍数分别为原曝光时间的20倍以及原曝光时间的 $1/30$ 。在曝光精调阶段,门限值 $\gamma = 0.2$,曝光补偿值 C_p 的步长 $\lambda = 0.3$, $L = 2$,方法(iii)中,理想平均亮度设定为 $I_d = 128$ 。

实验利用一个LED光源的开启和关闭使背景光线产生明显变化,来模拟高速相机光线迅速变化的情况,然后用3种方法进行自动调光控制。目标为一个静止状态的节拍器。节拍器距相机3米,当光源打开时,背景光线强度为 $23100lx$,约为光源关闭时($760lx$)的30倍。因为拍摄目标为静止目标,且相机工作在重叠模式,所以相机的曝光时间 $E(k) < 10$ ms。

本文首先利用方法(i)验证当高速相机没有自动曝光控制时获取的图片及图片的平均亮度值和熵的情况。图8显示了 t 以10ms为间隔从10ms到70ms的60ms内,相机的曝光时间被固定在1ms(方法(i))时获取的图像。 $t=0$ 为开始观测的时间, $t=20$ ms 以及 $t=60$ ms 分别为光源的开、关时刻。图9显示了 t 从0~110ms内的曝光时间(a)、图像平均亮度(b)以及图像信息熵(c)。从图8及图9可以看出,在固定曝光时间内,当光源打开时,图像平均亮度迅速提升,图像中大量像素点出现过曝光现象,目标几乎不可见,图像的信息熵也迅速下降,无法为后续的目标识别、跟踪及其他后续图像处理工作提供参考值。

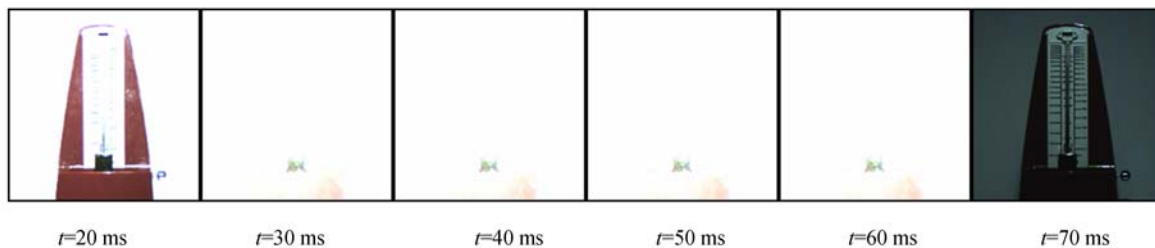


图8 方法(i)下在打开LED灯时的图像

Fig. 8 Image under an LED lamp using method(i).

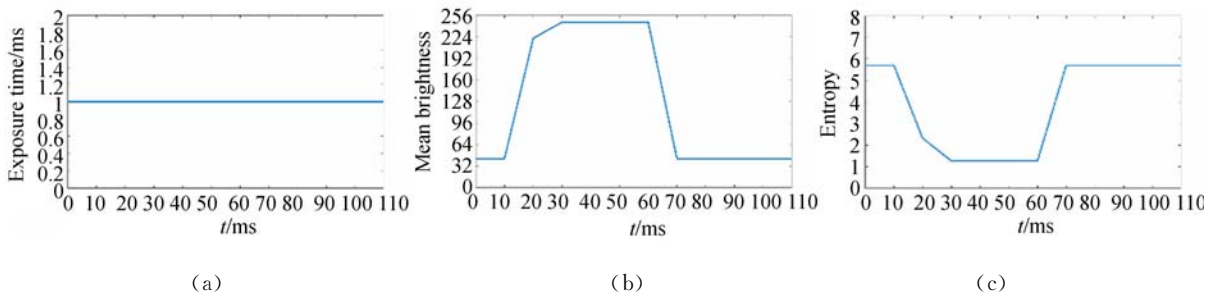


图 9 方法(i)开关 LED 灯的曝光时间(a)、获得图像的平均亮度值(b)及信息熵(c)

Fig. 9 Exposure time(a), mean brightness(b) and entropy(c) under an on-off LED lamp using method(i)

图 10 显示了 t 从 10~70 ms 以 10 ms 为间隔的 60 ms 内使用本文曝光方法(方法(ii))获取的图像。 $t=0$ 为实验开始观测时刻, $t=20$ ms 以及 $t=60$ ms 分别为光源的开、关时刻。图 11 显示了 t 从 0 到 110 ms 内的曝光时间(a)、图像平均亮度(b)以及图像信息熵(c)。图 11(a)可以看出,当光源在 $t=20$ ms 点亮时,相机曝光时间从 $E_N=1.211$ ms 迅速下降到 $t=30$ ms 时 $E_N=0.040$ ms,在之后的 3 帧中轻微变化来寻找最佳

曝光时间,当光源在 $t=70$ ms 关闭时, E_N 从 0.044 ms 迅速上升至 1.01 ms,并继续上升直至自动曝光控制结束。同时,由图 11(b)可知,与图 8 (b)相比,只有在光源点亮($t=20$ ms)时,平均亮度值有大幅提升,其他时间都被自动限制在较为适中的范围内,图 11(c)中信息熵除在 $t=20$ ms 外,其它时间均保持在较高的范围内,这将为后续的图像处理工作提供了较多的细节信息。

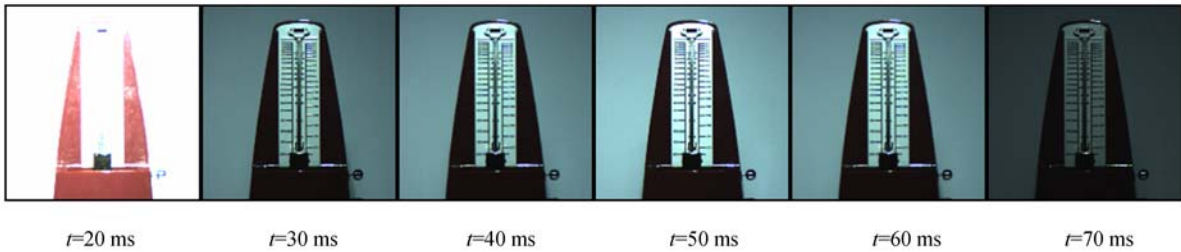


图 10 方法(ii)下在打开 LED 灯时的图像

Fig. 10 Image under an LED lamp using our method(ii).

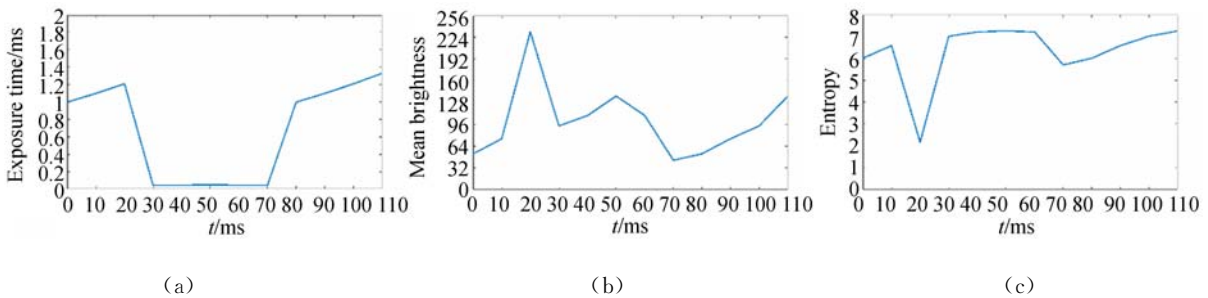


图 11 本文方法(ii)开关 LED 灯的曝光时间(a)、获得图像的平均亮度值(b)及信息熵(c)

Fig. 11 Exposure time(a), mean brightness(b) and entropy(c) under an on-off LED lamp using our method(ii).

最后,本文使用基于平均亮度值的自动曝光方法与本文方法进行对比。图 12 显示了 t 从 10 到 70 ms 时刻以 10 ms 为间隔的 60 ms 时间内采用方法(iii)进行自动曝光控制获取的图像。 $t=0$

为实验开始观测的时刻, $t=20$ ms 以及 $t=60$ ms 分别为光源的开、关时刻。图 13 显示了 t 从 0 到 110 ms 内的曝光时间(a)、图像平均亮度(b)以及图像信息熵(c)。由图 12、13 可以看出,基于平

均亮度值的自动曝光方法同样也可以适应背景光线变化的情况,但是与本文的方法(方法(ii))相比,方法(iii)在光源开关瞬间曝光时间会出现过冲现象,如图 13(a)所示,在 LED 灯开关时,需要经过多次调整才能获得较好的曝光时间,尤其在光源开通产生过曝光的情况下,由图 12 以及图 13(a)可知方法(iii)在多次调整后也并未达到较为理想的曝光值,光照变化越强烈,这种情况会越

明显。与曝光时间的变化情况相同,图 13(b)中显示评价亮度值在短时间内也无法保持在一个较为适中的范围内。在相同时间内,本文方法获得的图像信息熵比方法(iii)中图像的信息熵均值高出 48.38%,方差较其低 62.13%,证明本文方法在同样时间内能提供具有更好且更稳定细节信息的图片。

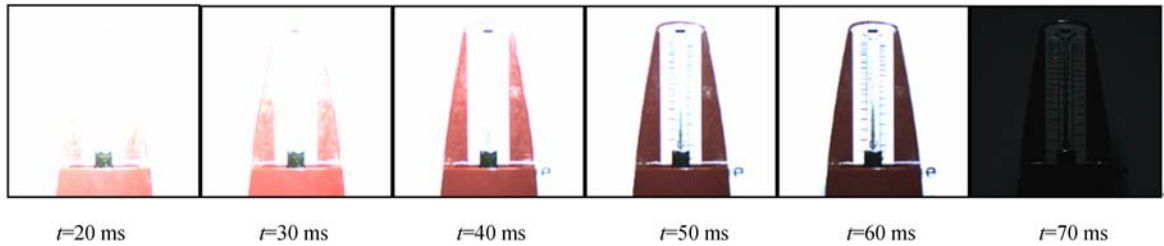


图 12 方法(iii)下打开 LED 灯时的图像

Fig. 12 Image under an LED lamp using method(iii).

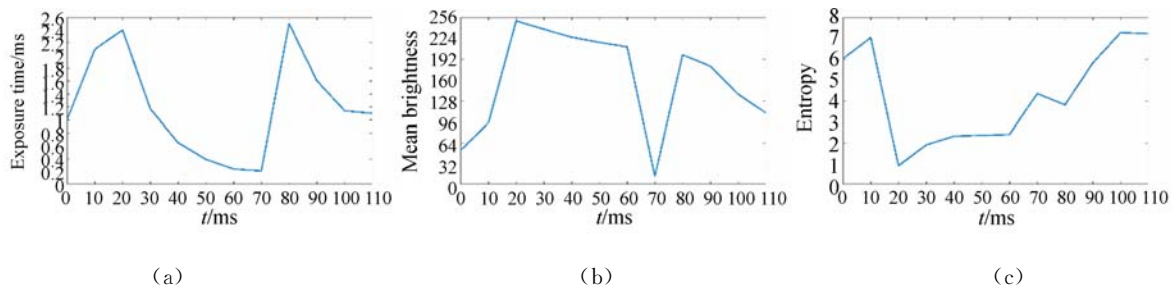


图 13 方法(iii)开关 LED 灯的曝光时间(a)、获得图像的平均亮度值(b)及信息熵(c)

Fig. 13 Exposure time(a), mean brightness(b) and entropy(c) under an on-off LED lamp using method(iii).

5 结 论

光电经纬仪用高速相机在工作时,若要获取高质量图像不仅需要准确测量背景光线,同时也要迅速有效地调整曝光时间。基于此,本文提出了一种采用 HF 函数的光电经纬仪用高速相机自动调光方法。当相机的分辨率为 1024×1024 、灰度级为 8bit 以及帧速为 100 frame/s 时,该方法比传统方法的测光速度快,另外,当背景光照频繁变化时,本文方法可以提供更准确的曝光补偿程度。实验结果表明:在短时间内光照动态范围

变化较大时,相较于基于平均亮度值的自动曝光方法,本文方法获得的图像信息熵提高了 48.38%,方差降低了 62.13%,结果证明本方法提供的图片细节信息更好且更稳定,为后续的自动调焦、图像识别以及目标跟踪提供参考。

然而本文的实验目标约占整幅图像的 1/2,而光电经纬仪获取目标在图像中的大小以及位置会实时变化,所以本方法在实际应用中还有一定的限制。接下来,本课题组会针对快速移动目标以及弱小目标的自动曝光方法进行研究,以拓展其应用范围。

参考文献:

[1] KUNO T, SUGIURA H, MATOBA N. A new au-

tomatic exposure system for digital still cameras[J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 1998, 44(1): 192-199.

- [2] CHO M, LEE S, NAM B D. Fast auto-exposure algorithm based on numerical analysis[C]. *Electronic Imaging'99, International Society for Optics and Photonics, San Jose, California, 1999*: 93-99.
- [3] MURAKAMI M, HONDA N. An exposure control system of video cameras based on fuzzy logic using color information[C]. *Fifth IEEE International Conference on Fuzzy System (Volume:3)*, New Orleans, LA:IEEE, 1996, 3: 2181-2187.
- [4] LEE J S, JUNG Y Y, KIM B S, *et al.*. An advanced video camera system with robust AF, AE, and AWB control[J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2001, 47(3): 694-699.
- [5] LIANG J Y, QIN Y J, HONG Z L. An auto-exposure algorithm for detecting high contrast lighting conditions[C]. *7th International Conference on ASIC. Guilin, P. R. China: IEEE, 2007*: 725-728.
- [6] SHIMIZU S, KONDO T, KOHASHI T, *et al.*. A new algorithm for exposure control based on fuzzy-logic for video cameras[J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 1992, 38(3): 617-623.
- [7] WANG G. Active entropy camera[J]. *Machine Vision and Applications*, 2012, 23(4): 713-723.
- [8] LEE C H, HUANG C M, LIOU J Y. Passive automatic exposure mechanism [J]. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2013, 124(21): 4952-4955.
- [9] SU Y, LIN J Y, KUO C C J. A model-based approach to camera's auto exposure control [J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2016, 36: 122-129.
- [10] KAO W C, HSU C C, KAO C C, *et al.*. Adaptive exposure control and real-time image fusion for surveillance systems [C]. *2006 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Island of Kos: IEEE, 2006*.
- [11] SCHULZ S, GRIMM M, GRIGAT R R. Using brightness histogram to perform optimum auto exposure[J]. *WSEAS Transactions on Systems and Control*, 2007, 2(2): 93-100.
- [12] VUONG Q K, YUN S H, KIM S. A new auto exposure system to detect high dynamic range conditions using CMOS technology[C]. *Third International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology, 2008, ICCIT'08, Busan: IEEE, 2008, 1: 577-580*.
- [13] 王晓涛, 王绪安, 康宁. CCD 摄像机新型光控技术研究[J]. *红外与激光工程*, 2016, 45(1): 120003.
WANG X T, WANG X A, KANG N. New light-control technology research of CCD camera[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2016, 45(1): 120003. (in Chinese)
- [14] KAO W C, CHENG L W, CHIEN C Y, *et al.*. Robust brightness measurement and exposure control in real-time video recording[J]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2011, 60(4): 1206-1216.
- [15] GU Q Y, AI N A, AOYAMA T, *et al.*. A high-frame-rate vision system with automatic exposure control[J]. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 2014, 97(4): 936-950.
- [16] 莫春红, 刘波, 丁璐, 等. 一种梯度阈值自动调焦算法[J]. *红外与激光工程*, 2014, 43(1): 323-327.
MO CH H, LIU B, DING L, *et al.*. A gradient threshold auto-focus algorithm[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(1): 323-327. (in Chinese)
- [17] 聂海涛, 龙科慧, 马军, 等. 采用改进尺度不变特征变换在多变背景下实现快速目标识别[J]. *光学精密工程*, 2015, 23(8): 2349-2356.
NIE H T, LONG K H, MA J, *et al.*. Fast object recognition under multiple varying background using improved SIFT method[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2015, 23(8): 2349-2356. (in Chinese)
- [18] 贾平, 徐宁, 张叶. 基于局部特征提取的目标自动识别[J]. *光学精密工程*, 2013, 21(7): 1898-1905.
JIA P, XU N, ZHANG Y. Automatic target recognition based on local feature extraction[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(7): 1898-1905. (in Chinese)

[19] 纪华,吴元昊,孙宏海,等. 结合全局信息的 SIFT 特征匹配算法[J]. 光学精密工程, 2009, 17(2): 439-444.

JI H, WU Y H, SUN H H, *et al.*. SIFT feature

matching algorithm with global information [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(2): 439-444. (in Chinese)

作者简介:



马泽龙(1985—),男,吉林长春人,博士研究生,2008年、2013年于长春理工大学分别获得学士、硕士学位,主要研究方向为高速相机的自动调光调焦。E-mail:mazelong1985@126.com

导师简介:



高慧斌(1963—),男,吉林长春人,研究员,博士生导师,1985年、1990年于吉林工业大学分别获得学士、硕士学位,主要研究方向为光电测量和跟踪控制技术。E-mail:gaohuibin@163.com