

红外/白光混合补光系统在智能交通中的应用研究

高东东,徐晓婷,李 博

(浙江工业大学 理学院,浙江 杭州 310023)

摘 要: 随着国内“平安城市”项目的不断完善,完备的补光系统对于智能交通也就显得越来越重要。首先,阐述了在智能交通中补光系统的作用、分类及现有补光系统的优缺点;其后针对在补光中存在的眩目和过曝这两个问题,设计了一款红外和白光混合排列阵列式发光二极管防眩目补光系统,完成了其硬件部分和基于现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Array, FPGA)自适应算法的软件部分,并对该系统进行了实际测试。测试结果表明:补光效果优于白光常亮灯,且眩目感显著降低;车牌图像二值化分布均匀,该补光系统可有效解决车牌过曝问题。

关键词: 眩目; 过曝; 补光系统; 红外发光二极管; 智能交通

中图分类号: TN216 文献标志码: A DOI: 10.3788/IRLA201847.0918006

Research on application of infrared and white light mixed supplemental lighting system in intelligent transportation

Gao Dongdong, Xu Xiaoting, Li Bo

(College of Science, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: The importance of complete supplemental lighting system was also more obvious with the continuous improvement of China's "safe city" project. Firstly, the function and classification of the supplemental lighting system, the advantages and disadvantages of the present supplemental lighting system in the intelligent transportation system were expounded. To solve glare and overexposure these two problems in the supplemental lighting system, an anti-glare supplemental lighting system based on array light emitting diode mixed with infrared and white light was designed. Its hardware and software based on field programmable gate array (FPGA) adaptive algorithms were completed, and its effects were tested in the meantime. The test results show that its supplemental lighting effect is better than the white light, and the glare is significantly reduced. Besides, the binarization distribution of license plate images is even. And it is proved that the anti-glare supplemental lighting system could effectively solve the overexposure problem of the license plate.

Key words: glare; overexposed; supplemental lighting system; infrared light emitting diode; intelligent transportation

收稿日期:2018-04-13; 修订日期:2018-05-17

基金项目:浙江省自然科学基金(LY14F040003)

作者简介:高东东(1991-),男,硕士生,主要从事光学补光方面的研究。Email: 1032450865@qq.com

导师简介(通讯作者):李博(1975-),男,副教授,硕士生导师,博士,主要从事光电检测与光学设计方面的研究。

Email: libo@zjut.edu.cn

0 引言

随着科技的进步,“智能交通”应运而生,作为一种高科技技术,它可以为社会经济带来巨大的效益,还能更好地利用城市中有限的交通资源。智能交通系统如今担负着为城市交通安全系统服务和增加人们出行便利的两大重要任务。

在城市交通安全方面,主要有道路交通监控、警察卡口和交通信号控制三个部分。道路交通监控即在人流、车流密度较大的地方,比如车站、道路交叉口等,可以实时监控道路信息,从而节省了很多警力,节省了很多社会资源,并在有突发情况发生时可以及时调查取证^[1]。

但是,在智能交通监控系统应用中,由于夜晚光线很不理想,图片质量往往较差,基本上看不清车牌,更别说识别车牌号码、颜色以及进行相应的违法判断分析。补光灯的应用恰恰解决了这一问题。在智能交通领域,发光二极管(LED)的主要作用就是给车牌补光,大大提高了夜间的车牌识别率。在实际的补光应用中,亮度太低则看不清车线、违法环境,造成图像不容易识别。为了看清更多的细节,这就要求提高补光灯的亮度,然而亮度提高后又会引起其他的问题,在亮度过高的情况下车牌容易过曝,同时对司机也会产生眩目的感觉,严重威胁了人员安全。

LED补光系统在农业领域的成功应用,例如曲溪^[2]等利用LED和荧光灯对番茄进行照射以增加番茄内叶绿素的生成,徐秀知^[3]等设计了一款全数字智能LED植物补光灯控制系统,加上近年来大功率LED的出现,使得其被拓展应用到智能交通领域。虽然将红外融合在可见光中组建补光系统也有所报道^[4-6],其目的主要是改善夜间抓拍图像的整体质量,但并未对现有补光系统眩目与车牌易过曝这两大核心难点问题进行系统化解决。

为解决现有补光系统眩目与车牌易过曝的问题,文中设计了一款红外和白光混合排列(红外白混列)列阵式LED补光灯系统,从而解决眩目问题,并在图像后期获取中通过采用自适应算法大大降低了车牌过曝的风险。

1 智能交通补光系统

卡口电警所应用的环境恶劣,室外光环境复杂、温度变化范围大、雨雪风沙、车速不一、车流密度较大等,所以对卡口电警及其周边设施的技术含量和可靠性要求很高,而且也要满足方便设备的后续维护及全天候抓拍图像的质量要求。虽然目前电荷耦合器件(CCD)和高清摄像机的发展日新月异,但国内道路监控系统仍然处在一个较低的水平上,据统计卡口系统拍摄有效率在75%左右,造成这种情况的最主要原因就是补光光源使用不当。重点和难点是拍清驾驶员的脸部图像和车牌,并且尽可能减少补光灯带来的光污染^[7]。

1.1 补光系统的作用及分类

智能交通领域为了满足用户需求设置了补光灯,市场上主流的新型闪光灯作为抓拍系统的重要组成部分,主要应用于电子警察系统、高清卡口系统、收费站监控系统中。

补光灯在智能交通系统(ITS)中的应用要求:(1)高寿命;(2)电压和温度适应范围宽;(3)瞬间高光强度;(4)具备长时间连闪以及短时间内高频连闪功能;(5)远程智能控制。

补光灯按其特点可分为曝闪灯、频闪LED灯和常亮灯。

曝闪灯主要用于电子警察以及高清卡口路段的抓拍。一般是气体放电灯(灯管为氙气管),利用氙气灯管的自身特性,也就是该灯管在一定电压和触发条件下,瞬间使灯管内气体电离,产生高电流的电弧,电弧中会产生4 000~12 000 K色温的强劲光芒。由于灯管所散发出的光持续时间短,功率密度大,只要控制好与摄像机快门的同步措施,则非常适合高速抓拍的补光场合,一般闪光间隔最多6次/s。但由于其气体放电管本身的器件性能问题无法实现毫秒级别的连续闪烁,其最大的优点就是瞬间光强大,能够为摄像机的抓拍提供足够的亮度,以保证较佳的图像质量,但缺点就是光线刺激性强,容易给司机及附近的居民带来不适。曝闪灯主要用于抓拍。

频闪LED灯属于半导体发光器件,发光频率一般为50~60 Hz。主要应用于拍摄视频、运动物体的

检测以及虚拟绊线场合,以及与曝闪灯配合进行抓拍。相对于曝闪灯其优点是发光时不会对司机眼睛造成刺激,缺点是虽然也能实现曝闪功能,但是亮度弱于曝闪灯,无法为抓拍摄像机提供足够的亮度^[9]。

1.2 现有补光系统的优缺点

目前补光系统中的爆闪灯所使用的灯芯为氙气灯(HID),氙气灯发的光非常接近太阳光,可连续使用 3 000 h 以上。HID 光源由于其气体放电管本身的器件性能问题无法实现毫秒级别的连续闪烁,最大的优点就是瞬间光强大,能够为摄像机的抓拍提供足够的亮度,以保证较佳的图像质量^[7]。

在传统光源中,HID 的本身性能和工作特点在补光系统中还是有待提高的,如:(1) 体积大;(2) 工作温度高;(3) 玻璃防护罩易破碎;(4) 寿命短,有污染;(5) 配光难做。作为传统光源,其配光设计比较复杂,且要想达到很好的照明效果,如:准直、低光损失、均匀照明、任意角度安装等,则往往需要付出很高的代价。且人眼及相机对光均匀度非常敏感,光照均匀度小于 0.65 时人就会感觉明显眩目,而氙气曝闪灯往往不能满足这一要求从而产生光污染。

2 硬件设计及补光效果测试

图 1 为补光控制系统硬件设计框架,红外白混列阵列式 LED 防眩目补光灯是以微控制器芯片为核心,外置 AC220V-DC20V、DC-DC 电源电路模块,用来给系统供电;光敏传感模块利用光敏电阻特性,对外界环境光照进行检测,来确定是否启用补光系统;频闪/曝闪触发信号输入电路用来接收上位机的触发信号,选择是频闪补光还是曝闪补光;热敏传感模块用来监控控制系统温度变化,以防 LED 负载

致温升过高损坏芯片;RS485 电路模块用于补光控制系统与上位机的通信,便于实现上位机对其参数更改设置;灯板由 25 颗 LED 组成,其中 12 颗为红外 LED,采用 5 排并联方式连接,单颗 LED 额定电压为 3.3V^[9]。

单片机的输出部分包括四个部分:频闪信号输出模块、曝闪信号输出模块、RS485 电路模块。补光脉冲和频闪脉冲输出部分是用单片机产生的脉冲信号驱动开关管,从而控制 LED 电流回路的通断来实现功能。曝闪输出是通过单片机产生的脉冲信号控制 LED 曝闪回路的通断来实现曝闪功能。频闪同步信号输出是将单片机产生的频闪同步脉冲信号经过处理输出到板外。

系统的 485 通信部分提供单片机与上位 PC 机之间的相互通信,实现 PC 机对系统参数,如频闪曝闪时间、亮度检测阈值等的设置。

2.1 红外光源的选取

智能交通的视频监控不但要求白天可实现实时监控,还要达到晚上隐蔽性监控的要求。传统的补光灯不仅会引起别人的注意,而且易造成光源污染,影响周边居民,在道路监控时易使驾驶员及行人产生眩目的感觉,而红外光源则能很好地解决这些问题。

在市场上,目前对 LED 补光灯的照度要求没有统一标准。如果要求照清楚 20 m 左右的物体可分为两类:其中 17~20 m 的距离大约需要 100 lx 的照度;另外 20~23 m 的距离要求达到 200 lx 的照度。

光源辐射能在传输过程中总是受到传输过程中所存在介质的反射、吸收、散射等作用的影响而衰减,光谱反射比为:

$$\rho(\lambda) \approx \frac{\phi_p(\lambda)}{\phi_o(\lambda)} \quad (1)$$

式中: $\phi_o(\lambda)$ 与 $\phi_p(\lambda)$ 分别为入射和反射光辐射能。

如表 1 所示,车牌对应不同波段反射率不同。在交通补光系统中识别车牌的号码,首先是得到车牌的灰度图像,这里需要 CCD 摄像机的辅助,其次是通过图像处理得到车牌号码。当在不同的车牌环境下进行红外照射时,得到光照的反射率是有区别的。

由表 1 可以看出波长在 450 nm 和 800 nm 左右的光谱对不同颜色的车牌有不同的反射率,也就是在

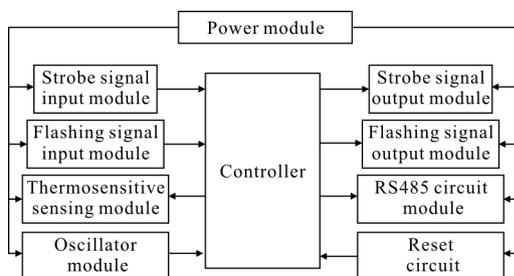


图 1 补光控制系统硬件设计框架

Fig.1 Hardware design framework of supplemental lighting control system

这两个波段上 CCD 成像具有不同的灰度级别。

表 1 不同颜色车牌对应不同波段反射率表

Tab.1 Reflectivity table of the license plates with different colors corresponding to different bands

Wave-length /nm	Tan license plate	Vermilion license plate	Blue license plate	White license plate	Black license plate
430	0.078	0.063	0.090	0.718	0.025
450	0.080	0.065	0.088	0.725	0.025
470	0.085	0.065	0.080	0.735	0.025
750	0.482	0.785	0.060	0.660	0.025
800	0.455	0.790	0.060	0.900	0.025
850	0.455	0.790	0.068	0.790	0.025

相对于白光 LED 补光灯, 红外 LED 补光灯具有隐蔽性好、穿透能力强、寿命长、衰减小、噪点少等优点, 可大幅提高监控夜视画面的清晰度和亮度, 增强摄像机夜视效果。

2.2 LED 补光灯板模块

如图 2 所示, 防眩目型红外白混列 LED 补光灯板采用高密度阵列式结构, 由 25 颗 LED 组成, 其中 D2、D4、D6、D8、D10、D12、D14、D16、D18、D20、D22、D24 为红外 LED, 采用波长为 780~850 nm 的红外光源; D1、D3、D5、D7、D9、D11、D13、D15、D17、D19、D21、D23、D25 为白光 LED; 红外光源是为了提高补光灯的隐蔽性, 同时减少可见光强度以达到防眩目的要求, 白光光源用以补充色度, 提高抓拍图像的饱和度。

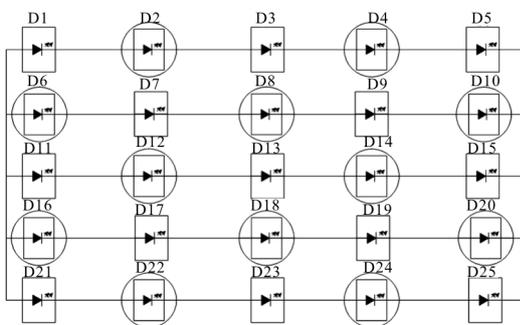


图 2 LED 补光灯板结构示意图

Fig.2 Structure diagram of the LED supplemental lighting light panel

2.3 补光效果测试

为了对比补光效果, 利用白光 LED 常亮灯与红外白混列 LED 补光灯进行了对比测试。在杭州某地区内共选择了两个场景来进行测试, 补光距离约为 20 m。场景 1 测试结果图如图 3~5 所示。场景 2 测试结果图如图 6~8 所示。



图 3 无补光效果

Fig.3 None supplemental lighting effect



图 4 白光 LED 常亮灯补光效果

Fig.4 Supplemental lighting effect with white LED light



图 5 红外白混列 LED 灯补光效果

Fig.5 Supplemental lighting effect with infrared and white mixed LED light



图 6 无补光效果

Fig.6 None supplemental lighting effect



图 7 白光 LED 常亮灯补光效果

Fig.7 Supplemental lighting effect with white LED light



图 8 红外白混列 LED 灯补光效果

Fig.8 Supplemental lighting effect with infrared and white mixed LED light

由图可见,红外白混列阵列式 LED 补光灯的补光效果优于白光 LED 常亮灯。另外,红外白混列阵列式 LED 补光灯主要特点是无眩光、对人眼刺激小。在实际测试过程中也可以感觉到,即使人眼去直视该补光灯时,感觉也不是特别刺眼,而直视白光 LED 则会感觉非常刺眼,难以直视。

3 基于现场可编程门阵列自适应曝光的软件设计及曝光测试

在机器视觉领域,很多应用对摄像机的动态范围提出了更高的要求,夜间需要补光灯进行补光抓拍,但在实际应用中补光强度是个相对矛盾的地方,光强太弱时卡口电警无法抓拍车内的情况,光强太强则容易使抓拍的车牌过曝,从而使无法识别车牌,如图 9 所示^[10]。



图 9 车牌过曝问题示例

Fig.9 Example of license plate overexposure

3.1 自适应曝光软件设计框图

软件包含两个区域的自适应曝光调整:汽车前窗区域与车牌区域,流程如图 10 所示。

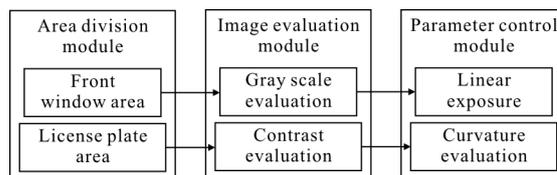


图 10 软件设计流程图

Fig.10 Soft design flow chart

(1) 汽车前窗区域调整分为区间的灰度评估和线性曝光调整两部分;

(2) 车牌区域调整分为区间的对比度评估和曲线响应曝光两部分,其中整个曝光过程涉及两个关键参数:曝光时段、曝光电平。

3.1.1 区域划分模块

对于智能交通中的监控系统,要求动态应用范围很广但由于实际场景复杂多变,需要对车辆监控划分为不同的关注区域,即汽车前窗区域与车牌区域。

基于自动识别算法可以将识别到的车辆划分为汽车前窗区域及车牌区域,汽车前窗区域主要突出驾驶员是否有违规行为,比如未系安全带、行驶过程中接听电话等,车牌区域是容易出现图像过曝的区域,该区域采用自适应算法计算。

为提高算法运算速率保证监控的实时性,算法处理尽量使用 FPGA 运算,减少 CPU 资源占用,车牌过曝区域判定算法如下:

(1) 图像二值化,将图像中车牌高亮度区域与低亮度区域区分开;

(2) 利用扫描线种子填充算法填充车牌过曝区域,并统计运算过程中过曝区域的边界信息及像素点数目;

(3) 如图 11 所示,为降低图像二值化的时间复杂度,其操作在 FPGA 中完成,在 FPGA 中附加一

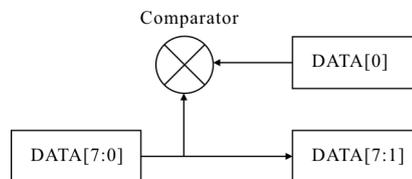


图 11 基于 FPGA 的图像二值化模块

Fig.11 Image binarization module based on FPGA

个比较器,像素有 8 bit 位宽,但其中最低位数值基本对图像影响不大,所以系统将最低位数值通过比较器与 255 比较输出,对于 1 080 P 的图像扫描线种子填充算法的时间会控制在 150 ms 之内,所以完全可以满足实时要求;

(4) 完成图像二值化比较后将信息传递给 FPGA,进入图像评估模块。

3.1.2 图像灰度评估模块

对于汽车前窗区域需要更多关注的是实时性与细节性,则该区域将使用基于 FPGA 的区域灰度平均算法及逼近迭代算法。

区域灰度平均算法是在图像进行二值化的基础上统计该区域内的所有像素点的灰度值,计算均值后与阈值相比较,若像素点灰度值满足阈值要求则说明目前所设定的曝光参数满足系统要求^[11];若灰度平均值不满足阈值要求,则必须使用迭代逼近算法调整曝光参数。

当汽车前窗区域处于线性曝光阶段时 FPGA 将对车牌区域进行对比度评估。

车牌区域的对比度评估就是整幅车牌图像中最亮与最暗区域之间不同亮度层次的计算。利用 FPGA 运算处理,具体结合 FPGA 的特点提出基于车牌图像直方图灰度标准差的评估算法。假设车牌区域像素点为 $M \times N$, ω 个像素点的灰度值依次设为 I_1, I_2, \dots, I_n ,则车牌区域的灰度均值为:

$$\bar{I}_\omega = \sum_{n \in \omega} \frac{I_n}{M \times N} \quad (2)$$

利用标准差公式可求得车牌区域中灰度值标准差 GSD 为:

$$GSD_\omega = \sqrt{\frac{\sum_{n \in \omega} (I_n - \bar{I}_\omega)^2}{M \times N}} \quad (3)$$

由灰度值标准差计算公式可以确定在 FPGA 中通过乘法器、加法器及一个累加器就可以实现车牌区域的灰度对比度评估。

3.1.3 曝光参数控制模块

汽车前窗区域图像灰度平均值评估完成后,若灰度平均值不满足阈值要求,则必须使用迭代逼近算法调整曝光参数。设定汽车前窗区域图像灰度平均值为 \bar{I}_ω ,当前的曝光参数为 E_ω ,理想状态下的图像灰度值为 \bar{I} ,因为图像 ω 灰度值与曝光值即光强呈线性关系,所以最优曝光参数 E 为^[12]:

$$E = E_\omega \times \frac{\bar{I}}{\bar{I}_\omega} \quad (4)$$

迭代逼近法可在较少帧间完成图像灰度的评估及曝光参数修订,并且占用硬件资源较少,可较好的体现图像实时性与细节性。

3.2 软件测试结果

在卡口测试中选择杭州市区某路段进行车牌抓拍测试,曝光模式选择手动曝光,即没有使用自适应曝光算法,在补光灯的作用下出现了车牌过曝的情况。拍摄效果图如图 12 所示。

改变曝光参数,将曝光模式设置为自动曝光,即开始调用自适应曝光算法程序,抓拍的车牌识别度高,明显优于手动曝光效果。拍摄效果图如图 13 所示。



图 12 手动曝光拍摄效果图

Fig.12 Effect pictures with manual exposure



图 13 自动曝光拍摄效果

Fig.13 Effect pictures with automatic exposure

手动曝光提取车牌及自动曝光提取车牌,车牌灰度直方图分别如图 14、15 所示,采用自适应算法后效果明显改善,车牌图像二值化分布均匀,可以得到高质量、高对比度的抓拍照片。

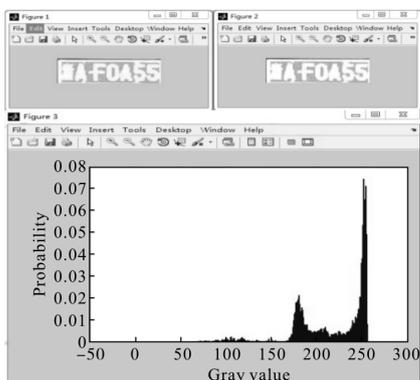


图 14 手动曝光拍摄车牌灰度直方图

Fig.14 Gray histogram of shooting license plate with manual exposure

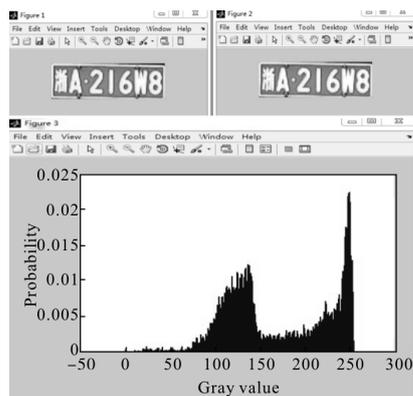


图 15 自动曝光拍摄车牌灰度直方图

Fig.15 Gray histogram of shooting license plate with automatic exposure

经过多次实验验证,该补光系统可使车牌识别的虚警率降低到 2% 以下,即车牌可识别度能达 98% 以上,完全符合行业标准。在车牌识别中,车牌过暗或过曝都会增加噪声从而加大虚警率。补光系统中红外光的应用,使车牌的反射率得以提高,从而避免了车牌过暗。FPGA 自适应曝光算法的应用,则有效抑制了车牌过曝。

4 结论

在智能交通的背景下,补光系统在其中的应用十分重要,文中针对补光灯眩目与车牌过曝两大问题进行研究,并自主设计了一款红外和白光混合排列阵列式 LED 防眩目补光系统。同时完成了该系统的相关硬件部分及基于 FPGA 自适应曝光的软件部分,并对其进行了现场测试。测试结果表明,此补光系统较好地解决了眩目和车牌过曝的问题。

参考文献:

- [1] Zhang Ke, Qi Tongyan, Liu Dongmei, et al. The latest achievements of chinese national ITS architecture [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2005, 5(5): 6–11. (in Chinese)
- [2] Qu Xi, Ye Fangming, Song Jieqiong, et al. The research on the effects of LED in the realm of supplementary lighting on plants [J]. *Light & Lighting*, 2008, 32 (2): 41–45. (in Chinese)
- [3] Xu Xiuzhi, Wang Shufan, Wang Wei, et al. All-digital intelligent control system of LED plant light supplement lamp [J]. *Journal of Tianjin Polytechnic University*, 2012, 31(4): 57–60. (in Chinese)
- [4] Li Xiaohong, Pu Yongxi, Li Xiaojia. The research on the self-illumination signs and light supplemental system on the highway[J]. *Science and Technology of Jilin Communications*, 2008(2): 9–10. (in Chinese)
- [5] Hao Xuning, Chen Weiqiang, Liu Wei, et al. Infrared light and visible light filling blended electronic police system: CN, 201220554356.6[P]. 2013–04–17. (in Chinese)
- [6] Chen Changbao, Lu Zhiyuan, Du Hongmin, et al. Intelligent light control system for traffic LED light supplement lamps: CN, 201320204481.9[P]. 2013–09–18. (in Chinese)
- [7] Hu Jianren, Qin Huibin, Wang Hui, et al. Research of technological mode and developing tactic for China LED illumination engineering [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2007, 28(4): 190–200. (in Chinese)
- [8] Nie Jianjun, Xu Yueqing, Nie Jing. Light-emitting diode strobe lights[J]. *Journal of Physics Teaching*, 2011, 29(5): 53–55. (in Chinese)
- [9] Frankowiak M R, Grosvenor R I, Prickett P W. A Petri-net based distributed monitoring system using PIC microcontrollers [J]. *Microprocessors and Microsystems*, 2005, 29(5): 189–196.
- [10] Yang Haitao, Chang Yilin, Wang Jing, et al. A new automatic exposure algorithm for video cameras using luminance histogram [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, 27(5): 84–847. (in Chinese)
- [11] Yang Zuoting, Ruan Ping, Zhai Bo. Auto-exposure algorithm for scenes with high dynamic range based on image entropy [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2013, 42 (6): 742–746. (in Chinese)
- [12] Guan Wenjun, He Liang. The auxiliary function of automatic camera exposure [J]. *Natural Sciences Journal of Harbin Normal University*, 2001, 17(1): 56–58. (in Chinese)