

文章编号:1001-5078(2017)05-0562-06

· 红外技术及应用 ·

一种船用摄像机的主动红外系统设计与实现

贾世奎, 杨 凌, 陈 博, 李 鑫, 赵书国
(中国船舶重工集团公司第七一八研究所, 河北 邯郸 056027)

摘 要:根据夜视作用距离指标要求,设计了一种船用摄像机的主动红外照明系统。首先给出了系统整体架构,提出根据光电传感器最低感光照度进行夜视照明设计,并进行了公式推导;分析和设定了影响夜视作用距离的参数,在此基础上提出采用波长为 $0.85\ \mu\text{m}$ 的红外LED阵列作为照明光源;针对镜头为电动变焦镜头而LED出光角度固定带来的不匹配问题,提出将LED阵列分四组并根据镜头焦距不同进行实时控制的解决方案,继而采用PIC单片机实现了系统控制功能。试验结果表明,该主动照明系统实用有效,在特定环境200 m距离内目标成像级别达到了B级,同时大幅提高了整体系统的寿命。

关键词:摄像;夜视;主动红外;作用距离

中图分类号:TN22 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2017.05.008

Design and realization of active infrared system for shipboard camera

JIA Shi-kui, YANG Ling, CHEN Bo, LI Xin, ZHAO Shu-guo
(The 718th Research Institute of CSIC, Handan 056027, China)

Abstract: According to the requirement of night vision operating range, an active infrared illumination system for shipboard camera is designed. Firstly, the overall structure of the system was given, and the design of night vision illumination system was proposed according to the lowest sensitive illumination of the photoelectric sensor, and the formula was deduced. Then, the parameters affecting night vision operating range were analyzed and set up. Based on this, an infrared LED array with a wavelength of $0.85\ \mu\text{m}$ was proposed as the illumination source. And then, the camera zoom lens does not match the emitting light angle of LED, so the LED array was divided into four groups according to different solutions for real-time control of the focal length of the lens, and thus, the control function of the system was realized by using PIC microcontroller. The experimental results show that the active lighting system is practical and effective, and the target imaging level reaches B level in the specific environment of 200m distance. At the same time, it greatly improves the life of the whole system.

Key words: camera; night vision; active infrared; visual range

1 引 言

夜视技术是利用照明或夜间天空辐射对目标景物的照射、或利用目标自身热辐射,借助科学仪器观察可见光波段以外景物图像的技术^[1]。根据工作

原理的不同,分为被动夜视和主动夜视。某主动红外夜视摄像系统,工作于舰船甲板上,夜视作用距离是其重要技术指标,而影响夜视作用距离的因素有很多种,故有必要根据技术指标要求,在分析各项因

素的基础上进行系统设计。

本文首先给出系统整体架构,提出根据光电传感器最低感光照度进行主动红外夜视照明设计,并进行了公式推导;而后根据实际使用场合和监视目标要求,分析和设定了影响夜视作用距离的参数,并给出摄像和光学镜头的具体参数,在此基础上提出采用波长为 $0.85 \mu\text{m}$ 的红外 LED 阵列作为照明光源;针对镜头为电动变焦镜头而 LED 出光角度固定带来的不匹配问题,提出将 LED 阵列分四组,分别计算出光角度和辐射功率,并根据镜头焦距不同进行实时控制的解决方案,继而采用 PIC 单片机实现了系统控制功能;试验结果表明,该主动照明系统实用有效,在特定环境 200 m 距离内很好地解决了主动红外夜视照明与变焦镜头匹配问题,目标成像级别达到了 B 级,同时 LED 阵列的分组控制可大幅度提高整个系统的寿命。

2 系统架构与设计基础

本系统采用的是主动红外夜视技术,系统工作原理如图 1 所示。通过增加主动红外辐射光源对视景目标进行主动照射,把视景目标的全部或部分照亮,光束照射到目标上之后发生发射,可大大增加返回光信号的强度,经由光学镜头至光电传感器采集信号,图像处理模块进行信号处理,最后在监视器中输出图像。

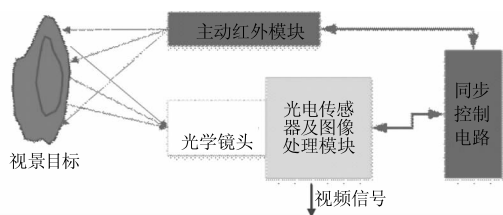


图 1 主动红外夜视摄像系统原理图

Fig. 1 Schematic diagram of active infrared night vision camera system

系统的夜视作用距离受天气和气候、环境、目标、成像系统本身等诸多因素的影响,而实际情况是多样化的,大气透射系数随时间、地理位置、气象条件等的不同而不同,目标的背景情况也具有不确定性。本文提出根据光电传感器最低感光照度进行主动红外光源设计,将影响作用距离的诸多因素一并考虑分析,并进行了如下公式推导。

设红外光源的出光角度为 2α ,因照射距离远比其本身的尺寸大,故可以近似为一个点源,当目标与

红外光源距离为 L 时,红外光源在目标所处平面形成一个半径为 $R = L \times \tan\alpha$ 的亮斑^[3],面积为:

$$S = \pi R^2 = \pi(L \times \tan\alpha)^2 \quad (1)$$

光源总辐射功率为 Φ_0 ,则照射到目标上的功率 $\Phi_1 = \eta \times \Phi_0 \times \tau_\alpha$; η 为可用光能的百分比; τ_α 为大气透过率系数; E_0 为目标位置自然环境照度,则目标上的辐照度为:

$$E = \frac{\Phi_1}{S} + E_0 = \frac{\eta \times \Phi_0 \times \tau_\alpha}{\pi(L \times \tan\alpha)^2} + E_0 \quad (2)$$

设目标反射比为 ρ ;对比度为 C_0 ;光学镜头孔径比为 D/f ;透射比为 τ ;天空亮度与背景亮度比系数为 K ,则受大气衰减的影响,目标对比度换算到像面上后变为^[4]:

$$C = C_0 \frac{1}{1 + K(1 - \tau)/\tau_\alpha} \quad (3)$$

到达摄像光电传感器上的照度 E_{SEN} 为:

$$E_{\text{SEN}} = \frac{1}{4} E \rho \tau_\alpha C^2 \left(\frac{D}{f}\right)^2 / \left[1 + \frac{1}{4} \left(\frac{D}{f}\right)^2\right] \quad (4)$$

则可得红外辐射功率:

$$\Phi_0 = \left\{ \frac{4 \times \left[1 + \frac{1}{4} \left(\frac{D}{f}\right)^2\right] \times E_{\text{SEN}}}{\rho \tau_\alpha \left[\frac{C_0}{1 + K(1 - \tau)/\tau_\alpha} \right]^2 \left(\frac{D}{f}\right)^2} \right\} \times \frac{\pi(L \times \tan\alpha)^2}{\eta \tau_\alpha} \quad (5)$$

令 $E_{\text{SEN}} = E_{\text{MIN}}$,确定其余相关参数,即可得红外 LED 阵列的最小辐射功率 Φ_0 ,其中 E_{MIN} 为摄像光电传感器最低感光照度。

3 作用距离因素分析

3.1 海面大气环境条件分析与设定

环境照度:夜天空的辐射是由各种自然辐射源的辐射综合形成的^[1],此处设定夜间环境为无月晴朗,地面景物照度 $E_0 = 1 \times 10^{-3} \text{lx}$ 。

大气条件:进行大气条件分析目的是为确定近红外光大气透过率系数 τ_α 。此处采用 LOWTRAN7 软件对波长 $0.78 \sim 1 \mu\text{m}$ 近红外光进行计算,设定条件如下:大气模型为中纬度夏季(北纬 45° , 7 月),系统用在水面舰艇甲板上,气溶胶模型选择为海军海洋模型(近海,陆上视距 23 km),晴朗夜空(无云或雨),海拔高度 0.01 km,路径长 200 m(水平等压)。计算结果如图 2 所示。

由图 2 可知,波长小于 $1 \mu\text{m}$ 的近红外光在 $0.87 \mu\text{m}$ 时透过率系数达到最大值 0.9715,经市场

调研选取波峰波长为 $0.85 \mu\text{m}$ 波长的红外 LED 作为光源,其水平路径为 200 m 时大气透过率系数 $\tau_{\alpha} = 0.9649$ 。

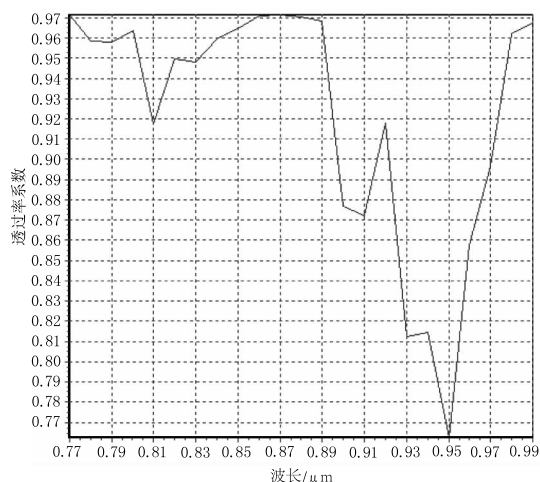


图2 近红外光大气透过率系数

Fig. 2 Atmospheric transmittance coefficient of near infrared light

3.2 视景目标确定

按照目标成像的清晰程度,红外摄像机的作用距离分为三个等级,如表1所示^[4]。根据系统要求,夜视作用距离要求在 200 m ,即视景目标(人,高 1.7 m)距离为 200 m 时成像能够达到 B 级。

设定目标穿着的确良衣服,其在 $0.85 \mu\text{m}$ 波长段反射比 $\rho = 0.44$ ^[5]。设定对比度为 $C_0 = 1$,天空亮度与背景亮度 K 取最大值 $K = 1$ (最严酷值)。

表1 观察等级分类

Tab. 1 Observation classification

等级分类	性能描述
A级:探测	探测到目标活动。
B级:识别	目标轮廓特征,目标的性质,其活动目的与内容。
C级:认清	细节较清楚,可取证分析目标的特征。如读取文字,识别是否为某个已知的人物,辨别车辆型号。

3.3 摄像机及镜头特征参数

通过分析调研,确定采用 $1/1.8''$ 日夜型一体化摄像机作为摄像器件,最大图像分辨率为 1920×1080 ,光电传感器的感光区域对角线长度为 14.1 mm (长宽比为 $4:3$,可知长 $l = 11.28 \text{ mm}$,宽 $h = 8.46 \text{ mm}$),镜头光学变焦范围为 $5.9 \sim 135.7 \text{ mm}$,黑白最低感光照度为 0.0002 lx , F 值范围为 $1.6 \sim 3.4$,具有电子增益功能和数字变倍功能,支持 ICR 红外滤光片式自动切换。使用过程中

镜头焦距随摄像机控制指令发生改变,摄像机的视场角也随之变化,视场角与焦距的关系为^[3]:

$$\tan W = \frac{H}{2f} \quad (6)$$

其中, $2W$ 为视场角; H 为图像传感器感光区域尺寸; f 为镜头实际焦距。

通过上述公式计算其视场角随焦距的变化关系曲线,结果如图3所示。摄像机在短焦端视场角变化剧烈,在长焦端则视场角变化平缓。通过摄像机提供的通信指令,可以实时获得当前镜头所处位置的变倍值,继而查表获得当前的视场角。

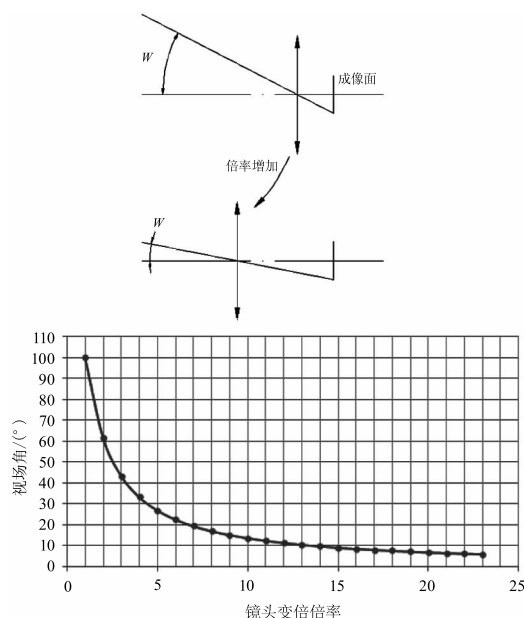


图3 视场角与变倍倍率的关系

Fig. 3 Relation between field of view and zoom magnification

4 主动红外照明系统设计与实现

4.1 红外光源模组设计

主动红外光源采用 $0.85 \mu\text{m}$ 波长大功率高亮红外 LED,但其出光角度确定后是固定不变的,因而在光源设计上,将摄像机的视场角范围划分为四个区间,每个区间以一个固定出光角度的 LED 阵列照明。划分区间的视场角(变倍倍率值)通过计算确定,设镜头焦距为 f ,作用距离 L ,保证 1.7 m 身高的人成像高度至少占据画面高度的 $1/8$,即成像高度 H' 为 13.6 m ,则有以下关系^[3]:

$$\frac{f}{h} = \frac{L}{H} \quad (7)$$

光源模组的出光角度与摄像机视场角匹配,选定光源模组出光角度后根据摄像机视场角可知当前变倍值,式(7)计算出需要照明的作用距离 L ,进而

将各项参数代入式(5),可计算出该模组的最小辐射功率 Φ_0 。选定的红外 LED 电光转换效率为 25%,

即可计算出该模组最小功率 F_0 ,设计功率 $F \geq F_0$ 即可,详细计算结果如表 2 所示。

表 2 主动红外光源明细表
Tab.2 List of active infrared light source

	出光角度/(°)	作用距离 L/m	对应镜头变倍数	相应镜头光圈 D/mm	最小辐射功率 Φ_0 /W	模组最小功率 F_0 /W	设计功率 F/W	备注
光源模组 I	40	28	1 ~ 3	11	3.69	14.76	15	
光源模组 II	20	66	4 ~ 7	19.2	8.07	32.28	33	
光源模组 III	10	120	8 ~ 13	29.3	9.31	37.24	39	
光源模组 IV	4	200	≥ 14	40	4.22	16.68	18	大于 23 数字变倍

变倍值与光源模组开关关系如图 4 所示,启停由单片机控制,单片机通过串口指令查询获得摄像机当前的焦距值,结合当前的环境照度,查询获得每一组光源模组的开关状态,确保摄像机在整个视场范围内都可以获得比较均匀的光照效果,达到满意的成像效果。

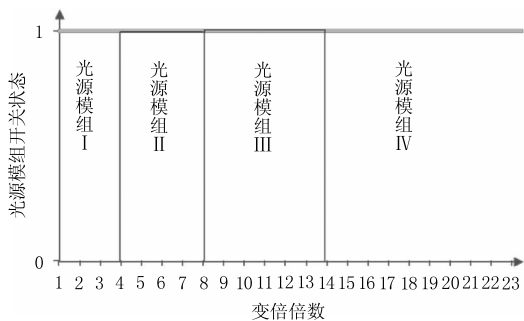


图 4 变倍倍数与光源模组开关关系
Fig.4 Zoom magnification and light source module switching relationship

4.2 系统控制设计

摄像机的照明系统由红外 LED 光源模组、感知昼夜状态的环境光检测电路和主控制芯片单片机三部分组成,照明系统原理框图如图 5 所示。

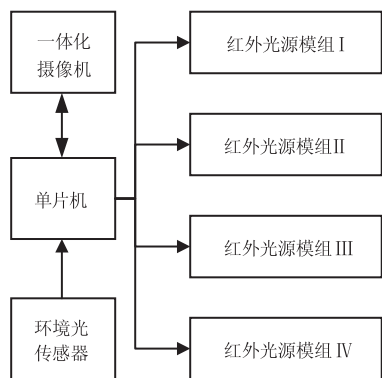


图 5 摄像机照明光源控制系统原理框图
Fig.5 Schematic diagram of camera light source control system

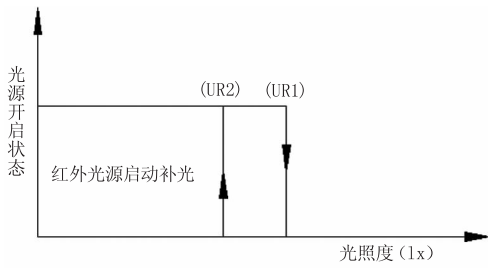
4.2.1 环境光照度检测

是否需要开启红外光源对摄像机进行补光,由环境光照度值决定。系统设计选用硫化镉材料的光敏电阻检测环境光照度值,设计时确定红外光源开启的临界照度(0.05 ~ 1 lx),根据该阻值确定合适的串联电阻阻值,使之在临界照度附近的电信号大幅度变化,提高判断灵敏度。

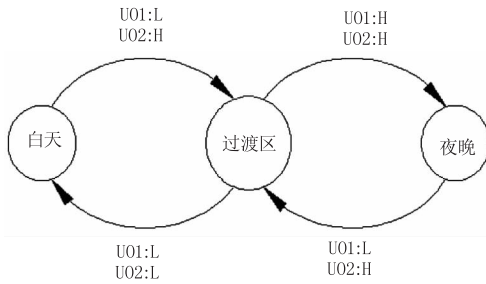
针对环境过渡区间(白天到夜晚和夜晚到白天的变化过程),环境照度值并非单调的变化,存在输出电压的起伏波动问题,系统设计采用两个模拟比较器部分完成该判断过程,光敏电阻输出的电压与两个可调的固定电压值(分别对应高阈值和低阈值)相比较,比较器输出的电平接入单片机的 I/O 端口。程序根据两个电平值查表确定当前处于白天、过渡区、夜晚三种状态之一,将两个 I/O 端口的电平状态变化做为状态转移的条件,当白天或夜晚这一状态持续一段时间(60 s)后控制红外光源实现开关状态切换。控制过程如图 6 所示。

4.2.2 红外光源驱动模组

红外光源选用大功率贴片红外 LED,体积紧凑,电光转换效率高,但工作电流大,是低压直流器件,驱动电源的稳定性直接影响 LED 的使用寿命,因而采用专门用于驱动 LED 的降压型恒流驱动芯片 T6322A,其输出电流最大可以达到 1.5 A。构成的 LED 驱动电路如图 7 所示,通过外接一个取样电阻,可以设定 LED 的电流,实现恒流驱动。同时,T6322A 也提供了控制 LED 点亮与熄灭的使能端,可以通过外部电平信号控制红外光源的开启与关闭。



(a)控制过程迟滞曲线



(b)控制过程状态转移过程

图 6 光敏电阻输出与红外光源开关状态关系

Fig. 6 Relationship between output of photo sensitive resistor and switching of infrared light source

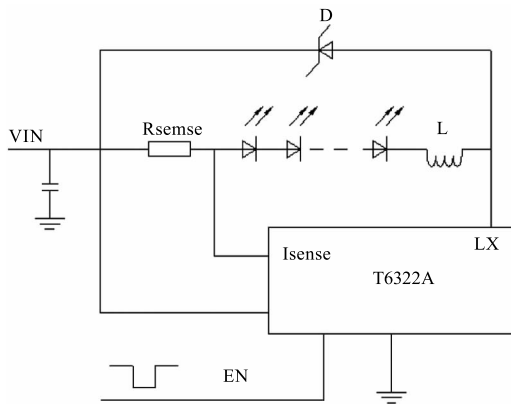


图 7 T6322A 的驱动电路

Fig. 7 Driving circuit of T6322A

4.2.3 单片机程序设计

单片机采用美国 MicroChip 公司的 8 位微控制器 PIC16F887 作为主控芯片,通过内部集成的异步串口与摄像机通信,捕获摄像机的各种操作指令并查询获得其当前的变倍倍率值。配置为输出的 I/O 端口用于对多组红外 LED 光源模组进行开关控制,确定各光源模组的开关状态。配置为输入的 I/O 端口用于读入环境光传感器经模拟比较器比较后的电平信号,判断当前是否需要开启或关闭红外光源。同时,微控制器内部的看门狗、定时器等模块则用于保证系统能够稳定运行,不会发生死锁现象。

由于摄像机的变倍倍率值需要通过 RS485 接口访问获得,系统设计采用带瞬态电压抑制功能的

RS485 收发器 SN65LBC184 实现该通信功能。单片机通过内置串口模块与之相连,具体电路如图 8 所示。

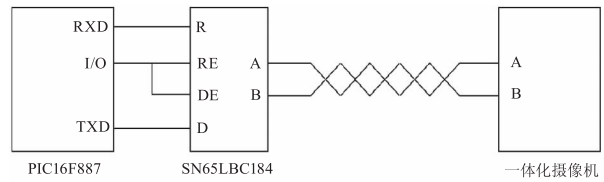


图 8 单片机与摄像机通信连接电路

Fig. 8 Communication circuit of Singlechip and camera

照明系统的程序流程图如图 9 所示,系统上电后对相关外设进行初始化,之后进入主程序,查询相关中断事件的触发状态并予以处理。当检测到串口有收到数据时,判断是否为摄像机变倍指令或变倍倍率查询返回值,当为变倍指令时,触发一固定时间间隔的定时器工作,直至收到变倍停止指令。在该定时器产生中断时以及收到变倍停止指令时,均通过串口向摄像机发送查询指令,请求获取当前镜头的倍率值。系统以一定的时间间隔查询环境光照度变化情况,确定当前是否需要开启或关闭红外灯,当需要切换的状态持续产生一段时间后,改变红外光源的工作状态。当红外光源处于开启状态时,根据当前获得的变倍倍率值查表确定需要开启和关闭的

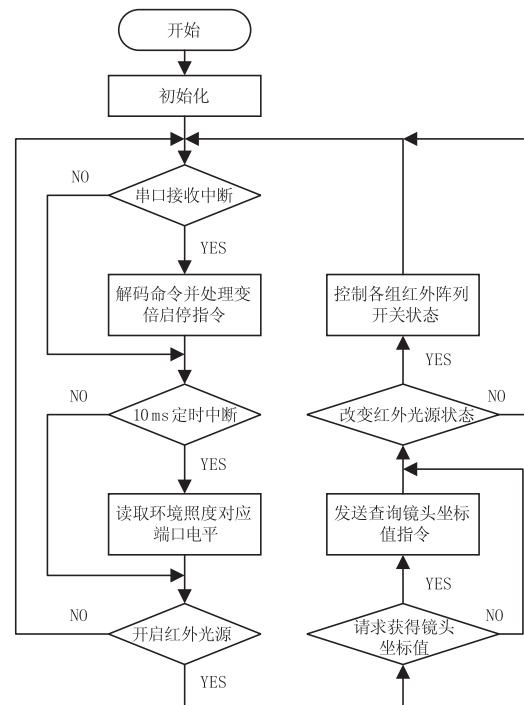


图 9 控制流程图

Fig. 9 Flow chart

红外光源模组,从而触发相应的模组使能开启,并通过 I/O 口强制切换摄像机滤光片切换进入黑白模式。当红外光源处于关闭状态时,则关闭所有红外光源模组,并通过 I/O 口强制切换摄像机滤光片进入彩色模式。

5 试验测试结果

为了验证所设计的照明系统的性能,按照上述方法研制了试验样机,并对主动红外光源照明效果进行现场模拟测试。系统工作于舰船甲板上,主要观察对象为甲板上的人员、作业场所等目标,甲板表面反射系数与水泥路面相近;同时根据 LOWTRAN7 计算,笔者所在内陆地区平均海拔 65 m,多云夜晚的气溶胶模型等环境参数比设定工作的近海环境严酷,故测试环境选为笔者所在附近地区的乡间水泥道路。测试当天夜晚多云(月光不可见),照度计测得当前环境照度值为 0.0009 lx,测试抓拍图像如图 10 所示。

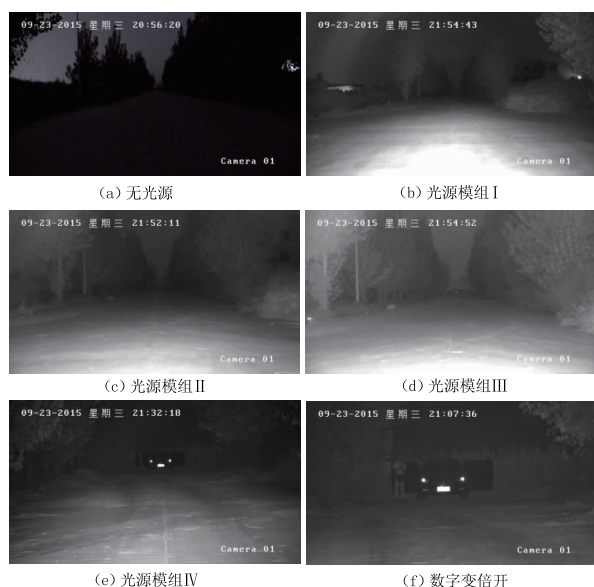


图 10 测试视频截图

Fig. 10 Image of test video

图 10(a)为无光源照明时广角的视频截图(镜头望远时图像一片漆黑,不再截取),图 10(b)、(c)、(d)、(e)分别为各光源模组作用时的图像,从(b)到(e)光源出光角度逐渐变小,各从中心到四角照明趋于均匀,暗区物体的对比度更高,细节清晰,照明效果明显,并且实现了平滑过渡。图 10(f)为开启摄像机数字变倍功能后的图像,和图 10(e)对比发现,开启后视景目标(200 m 处的人和车)细节更趋清晰。经上述分析,可得出以下结论:

1)各模组照明效果明显,有效提高了摄像机所获得的视频图像对比度和整体亮度;

2)光源模组实现了与镜头变焦的随动,模组切换时摄像画面平滑,在整个变焦范围内,获得的视频图像整体照明均匀,不存在过亮或者过暗的现象;

3)镜头望远时,距离 200 m 处的人和车能够 B 级要求,且摄像机的数字变倍功能打开后摄像效果更佳。

6 结论

综上,本文提出了主动红外夜视系统设计思路,设计了照明系统方案,通过单片机实现了照明系统的控制。试验表明,系统夜视作用距离可达 200 m,摄像级别达到了技术指标要求的 B 级。另外红外光源分四组的设计方案,减少了各光源模组的工作时间,使工作寿命增加,继而可大幅提高系统的整体使用寿命。目前该技术已应用于实际产品中,在主动夜视成像领域具有实际应用价值。

参考文献:

- [1] ZHANG Mingping, ZHANG Jingxian, LI Yudan. Night vision system [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1993. (in Chinese)
张鸣平, 张敬贤, 李玉丹. 夜视系统 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1993.
- [2] CHEN Ning, YANG Ling, LI Xin. Influence of infrared camera night vision effect on light source design [J]. Chemical Defence on Ships, 2014 (4): 30 - 33. (in Chinese)
陈宁, 杨凌, 李鑫. 光源设计对红外摄像机夜视效果的影响 [J]. 舰船防化, 2014 (4): 30 - 33.
- [3] LI Xiaotong, CEN Zhaofeng. Geometrical optics, aberrations and optical design [M]. 3rd. ed. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2014. (in Chinese)
李晓彤, 岑兆丰. 几何光学·像差·光学设计 [D]. 3 版. 杭州: 浙江大学出版社, 2014.
- [4] GA/T1127 - 2013, General technical requirements for cameras used in security video surveillance [S]. Beijing: Standards Press of China. (in Chinese)
GA/T1127 - 2013 安全防范视频监控摄像机通用技术要求 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [5] Michael J Burke. IR FPA sensor characterization and analysis using Matlab [C]. SPIE, 1998, 3377: 71 - 76.