

## 发光二极管的作用距离分析

李金宗,魏祥泉,陈 凤,李冬冬

(哈尔滨工业大学 航天学院 图像信息技术与工程研究所,黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘 要:**发光二极管具有体积小、质量轻、功耗低、寿命长、可靠性高和响应速度快等优点,可以用作各种标志的发光器件,广泛地应用于指示灯、显示屏、交通管理和生产自动化中。推导出了发光二极管的作用距离公式,并针对常用的观测设备进行了分析。使用最低照度 0.02 lux 和中等分辨率摄像机作为观测设备,辐射功率为 6 mW、辐射半顶角为 25° 的发光二极管作用距离可达 1.5 km。给出了相应的实验结果,验证了理论分析的正确性。

**关键词:**发光二极管; 作用距离; 摄像机; 辐射功率; 辐射半顶角

**中图分类号:**TN1 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2004)02-0142-03

## Analysis of operating range of Light Emitting Diode

LI Jin-zong, WEI Xiang-quan, CHEN Feng, LI Dong-dong

(Research Center of Image Information Technique & Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

**Abstract:** Light Emitting Diode (LED) has many advantages, such as little volume, light weight, low power consumption, long life, high reliability and quick response speed. It can be used as the luminous device of many beacons which are widely applied to indicating lamp, display screen, traffic guidance and production automation. In this paper, the operating range formula of LED is deduced. For the observation equipment used in common, the further analysis on LED's application is also completed. If the camera with minimum luminosity of 0.02 lux and middle resolution is used as observation equipment, the operating range of LED with radiation power of 6mW and semiapex angle of 25° can be more than 1.5km. The experimental results have verified the correctness of the theory analysis.

**Key words:** Light Emitting Diode; Operating range; Camera; Radiation power; Radiation semiapex angle

### 0 引 言

发光二极管(LED)是在半导体 PN 结通过正向

电流时高效率辐射光能的发光器件。它具有体积小、质量轻、功耗低、寿命长、可靠性高和响应速度快等优点,可以用作各种标志的发光器件,广泛地用于指示灯、显示屏、交通管理和生产自动化中<sup>[1,2]</sup>。由于这种

收稿日期:2003-07-30; 修订日期:2003-10-20

作者简介:李金宗(1940-),男,安徽砀山人,教授,博士生导师,主要从事信号检测理论、图像处理和系列图像分析、模式识别、精密制导和寻的跟踪、三维视觉和空间交会对接研究。

标志是靠 LED 主动地辐射一定波长的光能,所以称为主动标志。实际上,主动标志在空间飞行器交会对接操作中也得到了普遍应用<sup>[3,4]</sup>。如美国在 20 世纪 60 年代末为阿波罗飞船登月过程中登月舱与指令 & 服务舱在月球轨道进行交会对接研制的观测方案<sup>[5]</sup>,70 年代为阿波罗—联盟第一次国际飞船交会对接研制的观测方案<sup>[6]</sup>以及 90 年代为航天飞船——和平号空间站交会对接研制的观测方案<sup>[7]</sup>等均使用主动标志。主动标志与被动标志相比,优点是首先它辐射的光能只需要单程传播,光程短、损耗小,并且辐射立体角可以精确设计,一般局限在一定的范围内,因此在作用距离相同时所需要的辐射功率小。由于功耗小,发光器件的体积小、质量轻。例如,市场上销售的发光二极管,有的辐射功率只有 6 mW,体积  $\phi 5 \times 7$  mm,质量为 1 g。理论分析和实验结果表明,这种 LED 足可用于 200 m 以上的作用距离。这对于小型化的应用,如空间飞行器,具有特别重要的意义。但是,也正是因为 LED 的辐射功率小、体积小、质量轻,要用于几百米甚至几千米的作用距离,往往难以实现。所以目前 LED 在较远距离、较大范围内还没有得到广泛使用。LED 的广泛使用对一些部件设备的小型化,对降低空间飞行器的有效载荷、开拓科技人员的思路等均具有重大意义。

## 1 作用距离公式

LED 辐射的光能一般局限在一个圆锥体内<sup>[8]</sup>,如图 1 所示,在距离  $R$  (m) 处辐射圆锥的截面积的推导如下。

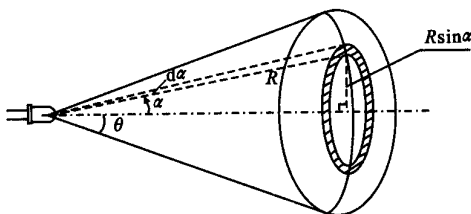


图 1 LED 的辐射圆锥及圆锥截面积的计算

Fig. 1 The radiation cone of LED and the calculation of the cross section area of cone

在  $R$  处的圆锥截面上取一个圆环,如图 1 所示,圆环内圆离开中心线的角度为  $\alpha$ ,圆环的宽度为

$R d\alpha$ ,圆环的半径为  $R \sin \alpha$ ,环带长度为  $2\pi R \sin \alpha$ ,圆环的面积为:

$$dS = R d\alpha 2\pi R \sin \alpha = 2\pi R^2 \sin \alpha d\alpha$$

所以,半顶角为  $\theta$  的辐射圆锥在  $R$  处的截面积为:

$$S_{\theta} = \int_0^{\theta} 2\pi R^2 \sin \alpha d\alpha = -2\pi R^2 \cos \alpha \Big|_0^{\theta} = 2\pi R^2 (1 - \cos \theta) = 4\pi R^2 \sin^2 \frac{\theta}{2} \quad (\text{m}^2) \quad (1)$$

假定 LED 的辐射功率为  $P_0$  (mW),用摄像机接收光能,它位于 LED 的辐射圆锥内,到 LED 的距离为  $R$ ,口径  $D = f'/1.3$ ,口径面积为  $\pi (D/2)^2$ ,令口径表面与入射光之间角度处在最不利的情况,即为最大的线性半视场角  $\alpha$ ,令在传播路径和光学系统中的总损失系数  $k = k_1 k_2 = 0.2$ ,这样摄像机镜头收集到的 LED 的辐射功率为:

$$P_r = k (P_0 / S_{\theta}) \pi (D/2)^2 \cos \alpha = k P_0 \left( \frac{D}{4 R \sin(\theta/2)} \right)^2 \cos \alpha \quad (\text{mW}) \quad (2)$$

CCD 摄像机经图像采集卡成像,灰度量化级为 256,经测试,该系统的内部噪声均值约为 116,方差为 16。为了能从图像中观测到清晰的 LED 的像点,要求  $P_r \geq 10 \times E_{\text{smmin}}$ ,其中  $E_{\text{smmin}}$  为摄像机 CCD 器件单个像素的灵敏度。这样,由公式 (2) 可以推导出最大作用距离为:

$$R_{\text{max}} \geq \frac{D}{4 \sin(\theta/2)} \sqrt{k \cos \alpha \frac{P_0}{10 \times E_{\text{smmin}}}} \quad (3)$$

由公式 (3) 可见,影响作用距离  $R_{\text{max}}$  的因素有:

- (1)  $R_{\text{max}}$  和 LED 的辐射功率  $P_0$  的平方根成正比,而与  $\sin(\theta/2)$  成反比,所以,  $\theta$  比  $P_0$  的影响要大;
- (2)  $R_{\text{max}}$  和摄像机的口径  $D$  成正比,与单个像元的灵敏度  $E_{\text{smmin}}$  的平方根成反比。由于  $E_{\text{smmin}}$  的数值很小,所以  $E_{\text{smmin}}$  起决定性作用,并且灵敏度越高,  $E_{\text{smmin}}$  数值越小,则  $R_{\text{max}}$  越大;

(3) 其他因素有两个:一是光能在传播路径和光学系统中的损失  $k$ ,二是入射光角度的余弦  $\cos \alpha$ ,  $R_{\text{max}}$  与它们的平方根成正比。

## 2 应用分析

为了分析方便,选用摄像机作为接收设备,并且通过图像采集卡在微机上观测成像情况。摄像机的主要参数为:焦距  $f' = 8 \text{ mm}$ ,口径比  $D/f' = 1/1.3$ , CCD 尺寸为  $4.8 \text{ mm} \times 6.4 \text{ mm}$ ,像素数  $508 \times 811$ ,最低照度  $0.02 \text{ lux}$ 。由上述参数可以计算出单个像素的面积  $A_s$  和灵敏度  $E_{s\min}$  分别为:

$$A_s = \frac{6.4}{811} \times \frac{4.8}{508} = 7.45652786 \times 10^{-5} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (4)$$

$$E_{s\min} = 0.02 \times 10^{-6} \times (19.48/12.566) \times A_s = 2.3118 \times 10^{-12} \text{ (mW)} \quad (5)$$

根据给出的摄像机镜头和 CCD 器件的参数,可以算得:  $D = 8/1.3 \text{ mm}$ ,  $\alpha = 19.47^\circ$ 。对于  $P_0 = 6 \text{ mW}$  和  $\theta = 25^\circ$  的 LED,由公式(3)可得最大作用距离为:

$$R_{\max} \geq \frac{0.008}{1.3 \times 4 \times \sin\left(\frac{25}{2}\right)} \times \sqrt{0.2 \cos 19.47^\circ \times \frac{6}{10 \times 2.3118 \times 10^{-12}}} = 1572.5 \text{ (m)} \quad (6)$$

即  $R_{\max} \geq 1.5 \text{ km}$ 。如果 LED 辐射圆锥的半顶角  $\theta = 50^\circ$ ,则  $R_{\max} \geq 800 \text{ m}$ 。即使 LED 的辐射功率小到  $1 \text{ mW}$ ,其他条件不变,最大作用距离  $R_{\max} \geq 300 \text{ m}$ 。

假设应用距离为  $200 \text{ m}$ ,分析单个 LED 在单个像素上的照度。仍令单个 LED 的辐射功率为  $P_0$ ,辐射圆锥半顶角为  $\theta$ ,并且假设在立体角内辐射是均匀的,则 LED 的发光强度为:

$$I_{\text{LED}} = P_0 \left[ 4\pi \sin^2 \frac{\theta}{2} \right] \text{ (mW rad}^{-1}\text{)} \quad (7)$$

假设摄像机的参数不变,则单个 LED 在单个像素上的照度为:

$$E_{\text{sr}} = k I_{\text{LED}} \Omega \cos \alpha \text{ (mW)} \quad (8)$$

式中  $k = 0.2$ ,为损耗系数;  $\Omega = \pi(D/2)^2/R^2$ ,为距离 LED  $200 \text{ m}$  处摄像机的接收立体角。经过计算,在最不利情况下,单个 LED 在单个像素上的最小照度为:

$$E_{s\min} = 1.4021038 \times 10^{-10} I_{\text{LED}} \text{ (mW)} \quad (9)$$

为了使  $E_{s\min} \geq E_{s\min}$ ,由公式(5)和(9)可得:

$$I_{\text{LED}} \geq 1.64875 \times 10^{-2} \text{ (mW rad}^{-1}\text{)} \quad (10)$$

表 1 给出了几组 LED 参数 ( $P_0, \theta$ ) 的计算结果。

表 1 单个 LED 的发光强度  $I_{\text{LED}}$  和单个像素的照度  $E_{s\min}$

Tab. 1 The light intensity  $I_{\text{LED}}$  of single LED and the illumination  $E_{s\min}$  of single pixel

$P_0/\text{mW}$	3000	1000	100
$\theta/^\circ$	45	45	40
$I_{\text{LED}}/\text{mW rad}^{-1}$	1630.17	543.39	68.03
$E_{s\min}/\text{mW}$	$2.28 \times 10^{-7}$	$0.76 \times 10^{-7}$	$0.95 \times 10^{-8}$
$P_0/\text{mW}$	50	12	6
$\theta/^\circ$	35	30	25
$I_{\text{LED}}/\text{mW rad}^{-1}$	44.00	14.26	10.19
$E_{s\min}/\text{mW}$	$0.62 \times 10^{-8}$	$2.50 \times 10^{-9}$	$1.43 \times 10^{-9}$

由表 1 可以看出,即使选用发光强度最小的 LED,  $P_0 = 6 \text{ mW}$  和  $\theta = 25^\circ$ ,单管发光强度  $I_{\text{LED}}$  仍然比公式(10)给出的最小门限大约  $6.18 \times 10^2$  倍,单个 LED 在单个像素上的最小照度  $E_{s\min}$  比由公式(5)给出的单个像素的灵敏度大相同的倍数。因此,上述关于最大作用距离和单个像素上最小照度  $E_{s\min}$  的理论分析均表明,在很大距离范围内使用 LED 是可行的。

## 3 实验结果

为了验证上述理论分析结果的正确性和可靠性,在实验室中作了一系列的实验,选用多种型号的发光二极管,均取得了与理论分析一致的实验结果。图 2 为其中一组使用辐射功率较小的 LED 的实验结果,

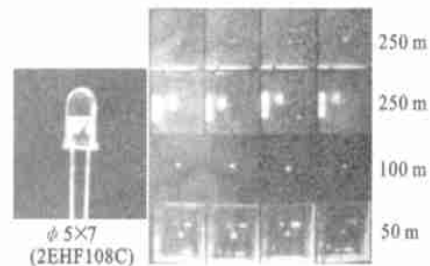
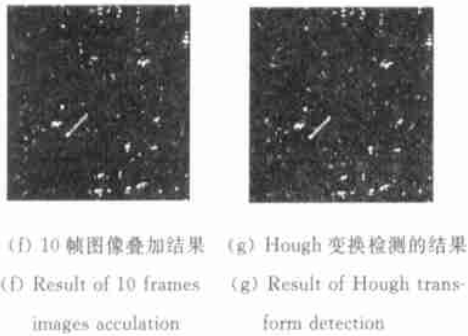


图 2 单个 LED 作用距离的实验结果

Fig. 2 The experimental results of the operating range of single LED  
(下转第 168 页)

图 6  $2 \times 2$  大小目标的部分检测结果Fig. 6 Some detection results of  $2 \times 2$  target

### 3 结 论

从实验结果可以看出,文中所采用的多级滤波的算法对背景和噪声有较好的抑制作用,并且易于实现。由于部分背景区域的灰度级非常高,所以无法去除所有的背景和噪声点。影响检测结果的主要因素是目标的强度和图像的信杂比。一般目标的强度  $> 20$ , 信杂比  $> 2$ , 即可以检测出目标;如果信杂比更大,

那么强度更小的目标也可被检测出来。反之,如果目标强度和信杂比都比较小,检测是比较困难的。

从实验结果可以看出,使用多级滤波的方法可以检测出低对比度红外序列图像中的运动小目标,能够有效地抑制背景和噪声,并且使用范围较广,对于多种复杂的背景都比较适用。

### 参考文献:

- [1] Zhang Tianxu, Zuo Zhengrong, Zuo Zhen. Detection of sea surface small targets in infrared images based on multilevel filter and minimum risk bayes test[J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2000, 14(7): 907-918.
- [2] Zhang Tianxu, Peng Jiaxiong, Li Zongjie. An adaptive image segmentation method with visual nonlinearity characteristics[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B, 1996, 26(4): 619-627.
- [3] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histogram[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1979, 9: 62-66.

(上接第 144 页)

所用 LED 的型号为 2EHF108C, 单管最小辐射功率 6 mW, 辐射半顶角  $\leq 25^\circ$ , 摄像机镜头和 CCD 器件的参数与第 2 节中介绍的一致, 作用距离  $R$  依次取为 50、100 和 250 m (三种情况)。由图可见, 在四种情况的实验结果中, LED 在图像中像点的信杂比都足够高。尽管在图 2 的 50 和 250 m 的第二行展示的实验中, 在 LED 附近有很强的灯光干扰, 但 LED 的像点仍清晰可见, 充分证明了理论分析的正确性和可靠性。

### 4 结 论

推导出了 LED 的作用距离公式, 并针对实际应用和常用观测设备进行了分析。辐射功率  $P_0 = 6$  mW、半顶角  $\theta = 25^\circ$  的 LED, 其最大作用距离  $R_{\max} \geq 1.5$  km。选用了多种型号的 LED 作了一系列实验, 实验结果表明了理论分析的正确性和可靠性。由于 LED 体积小、质量轻、功耗低, 文中的分析和实验又表明其作用距离范围大, 这样将进一步促进 LED 的广泛应用。

### 参考文献:

- [1] 张万生, 梁春广. 可见光 LED 的进展[J]. 半导体情报, 1997, 34(3): 1-9.
- [2] 金伟其. 现代城市交通流量的三维图像检测技术[J]. 红外与激光工程, 1997, 26(6): 57-61.
- [3] 李金宗, 逯仁贵, 马子墨, 等. 空间交会对接技术[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1997.
- [4] Howard R T, Cole H J, Jackson J L, et al. Automatic rendezvous and docking system test and evaluation[A]. Proceedings of SPIE-Th International Society for Optical Engineering Laser Radar Technology and Applications II[C]. 1997, 3065: 131-139.
- [5] Eaehe P B, Richard C H, Leonard B J. Space shuttle vehicle automatic docking study final report [R]. MIT, Contract NAS 9-10268, USA, 1971.
- [6] Ho C-CJ, McClamroch N H. Automatic spacecraft docking using computer vision-based guidance and control techniques[J]. Journal of Guidance, Control, and Dynamics. 1993, 16(2): 281-288.
- [7] Michael Ming Hua Hsu. A Stereoscopic Application to Automated Docking and Tracking Vision System[M]. USA, 1993.
- [8] 袁旭沧. 应用光学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.