

# 光电跟踪仪低对比度目标捕获能力检验方法研究

叶 露

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

**摘要** 提出了一种光电跟踪仪低对比度目标捕获能力检验方法。该方法采用可调对比度无穷远目标源作为检验装置,为被检光电跟踪仪提供对比度可准确度量的光学基准目标,用于检验光电跟踪仪的针对低对比度目标的捕获能力。介绍了检验装置的原理、组成和目标对比度标定方法,对检验结果进行了分析。该检验方法综合了光学系统性能、光电接收器性能、图像处理电路和软件及信噪比等各项指标对目标对比度的影响,全面真实地反映了电视跟踪仪的跟踪性能。

**关键词** 测量;光电跟踪仪;目标对比度;捕获能力;光学目标基准;背景辐亮度

**中图分类号** V556.5 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201232.1115001

## Testing of Low-Contrast Target Acquisition for Photoelectric Tracker

Ye Lu

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,  
Changchun, Jilin 130033, China)

**Abstract** A detection method for measuring the ability of opto-electronic tracker which captures low-contrast target is proposed. With infinite target source of adjustable contrast as detection device, optical reference target whose contrast can be accurately measured is provided for detected opto-electronic tracker, which is particularly used for testing acquisition ability of opto-electronic tracker for low contrast target. Principle and composition of the detection device, calibration method for target's contrast are introduced, and detection results are analyzed. Through the research of the detection method, it is realized to evaluate the ability that the whole opto-electronic tracker captures low contrast target. The detection method involves performance of optical system, performance of photoelectric receiver, image processing circuit, software, signal-to-noise ratio and related indexes which influence target contrast, which reflect tracking performance of television tracker all-sidedly and truthfully.

**Key words** measurement; photoelectric tracker; target contrast; ability to capture; optical target benchmark; background luminance

**OCIS codes** 120.4800; 120.4820; 230.2090

## 1 引 言

光电跟踪仪可见光电视系统对低对比目标的捕获能力即目标对比度指标是反映设备总体性能的一项重要指标,检验这项指标是为了考察光电跟踪仪可见光电视系统对弱目标信号的探测和捕获能力,它直接影响光电跟踪仪的跟踪距离<sup>[1]</sup>。

影响光电跟踪仪目标捕获能力的因素有光学镜头的成像质量、透射率、杂散光系数、系统的信噪比和图像处理算法等多个方面。国内外有大量的文献

从模型的建立、图像处理算法、图像对比度等方面介绍弱小目标的探测和捕获方法<sup>[2~8]</sup>,而如何在实验室内对光电跟踪仪整机的目标捕获能力进行有效的检验和验证没有报道。目前该项指标的验证方法是利用一个已知信噪比的模拟电信号,直接检验图像处理器能否对此信号进行捕获,这种验证没有包含光学系统、电视传感器及电路噪声信号对目标对比度的影响,不能真实反映电视系统的整体性能<sup>[9,10]</sup>。

最佳的方法是建立对比度连续可调的目标源装

收稿日期: 2012-05-04; 收到修改稿日期: 2012-06-25

基金项目: 中国科学院创新基金(YZ200904)资助课题。

作者简介: 叶 露(1965—),女,硕士,副研究员,主要从事光学仪器检验技术方面的研究。E-mail: yzl7@yahoo.com

置,这个装置可模拟出不同辐亮度的目标与背景,且目标与背景辐亮度可实时测量,得到已知对比度的目标,目标的几何形状可根据需要做成各种样式。用这种已知对比度的目标来研究和验证光电跟踪仪对低对比度目标的捕获能力,才能保证仪器性能的可靠性与真实性。

本文通过建立对比度连续可调的无穷远目标源装置,并对模拟的目标和背景辐亮度分别进行测量,计算得到的目标与背景的对比度是一个准确的量值,将该目标与背景作为光学基准,由被检的光电跟踪仪成像接收,即可验证光电跟踪仪的目标捕获能力<sup>[11]</sup>。

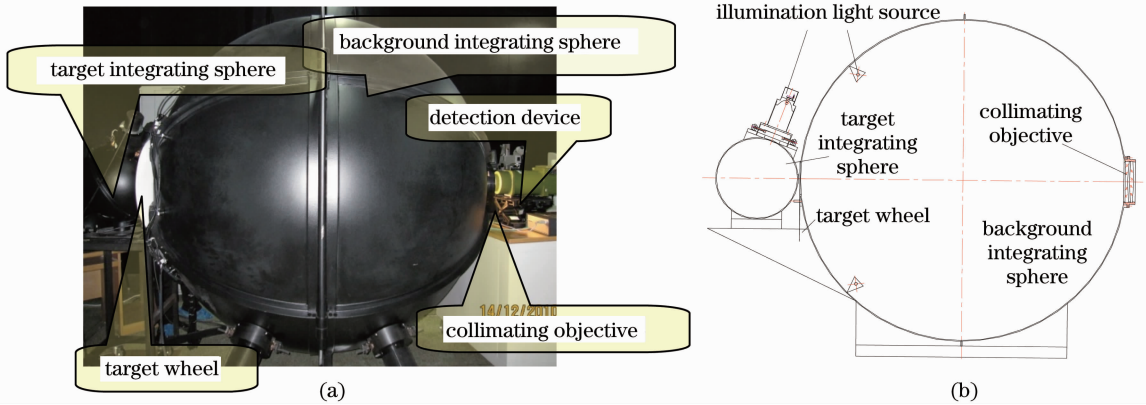


图1 光电跟踪仪低对比度目标捕获能力检验装置。(a)检验装置实物图片;(b)检验装置原理示意图

Fig.1 Detection device of low-contrast target's acquisition capability of opto-electronic tracker. (a) Real object graph of detection device; (b) schematic diagram of detection device's working principle

检验装置对比度  $C$  变化范围为  $0 \sim 90\%$ ,对比度指标是一个相对量,它是通过测量两个积分球绝对的辐亮度经过计算得到的,其计算公式为

$$C = \frac{|N_B - N_M|}{N_B}, \quad (1)$$

式中  $N_B$  为大积分球模拟的背景辐亮度,  $N_M$  为小积分球模拟的目标辐亮度,当两个积分球辐亮度一致时,对比度为  $0$ ;当其中一个积分球照明光源全部关闭时,理想状态下对比度为  $100\%$ ,实际情况是两个积分球的照明相互影响,当有一方光源点亮时,另一方的辐亮度就不会为  $0$ ,对比度就不会达到  $100\%$ ,经计算这种影响使目标对比度能最高达到  $93\%$ 。实际使用时,选择的都是低对比度目标,一般不超过  $30\%$ ,因此高对比度目标没有实际应用意义。

对比度稳定精度为  $|\Delta C| \leq 1\%$ 。检验装置所提供的光学目标基准,其对比度稳定精度应优于光电跟踪仪目标捕获能力指标最低量值的  $1/3$ ,一般情况下光电跟踪仪目标捕获能力指标最低量值为  $3\%$ ,因此检验装置对比度稳定性要优于  $1\%$ ,这样的测量条件才能保证测量结果的可靠性。

要求最大背景辐亮度优于  $38 \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  (工

## 2 检验装置组成及主要技术指标

检验装置由大、小两个积分球组成,大积分球模拟背景光,亦称背景积分球,小积分球模拟目标源,亦称目标积分球。两个积分球有各自的照明光源,通过调整光阑分别控制两个积分球的亮度,从而调整目标与背景的对比度。在大积分球上安装准直物镜和目标板,目标板安装在准直物镜的焦面上,并由小积分球来照明,检验装置组成和原理示意图 1 所示。

作波段为  $380 \sim 780 \text{ nm}$ )。背景的辐亮度变化应满足一年四季中每一天从日出到日落白天的辐亮度变化范围,最大辐亮度应达到夏至这一天太阳高度角  $70^\circ$  时天空的辐亮度,本装置设计时,考虑到大地反射率的影响,当大地反射率为  $0.6$  时,天空的最大辐射亮度为  $38 \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ,检验装置实际达到的辐亮度为  $45 \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

## 3 检验装置目标对比度的标定测量

检验装置作为光学目标基准,为被检光电设备提供已知对比度的光学无穷远目标,对检验装置所模拟的目标对比度进行标定测量是检验的必需环节。标定的方法是在准直物镜的像方,使用光谱辐亮度计,分别测量目标与背景的辐亮度,按(1)式计算目标对比度  $C$ 。目标对比度标定测量使用仪器为美国 Photo Research 生产的 PR735 光谱辐亮度计,如图 2 所示。

PR735 光谱辐亮度计工作波段为  $380 \sim 1080 \text{ nm}$ ,最小工作视场为  $0.1^\circ$ ,检验装置模拟的目标孔的视场应大于  $0.1^\circ$ ,检验装置中准直物镜的实测焦距为  $2066 \text{ mm}$ ,对应目标孔的尺寸  $d$  为  $2066 \times$



图 2 PR735 光谱辐射计

Fig. 2 PR735 spectroradiometer

$\tan 0.1^\circ = 3.6 \text{ mm}$ , 选择的目标孔最小尺寸为 4 mm。

PR735 光谱辐射计置于准直物镜的像方, 通过准直物镜将被测的目标或背景成像在 PR735 光谱辐射计的有效视场内, 分别测量出目标和背景的辐射亮度, 计算可得到目标对比度。这种测量方式包含了准直物镜及背景环境对目标对比度的影响, 与实际检测和使用状况相接近, 同时由于对比度是一个比值, 对 PR735 光谱辐射计的测量精度没有严格要求, 但对它测量的重复性要求严格, 对同一目标进行多次测量, 验证了 PR735 光谱辐射计测量重复性优于 0.3%, 因此这种标定测量是准确的。图 3 为目标对比度标定测量现场图片。

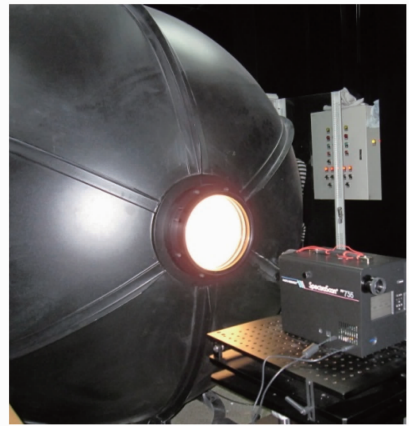


图 3 检验装置目标对比度标定测量

Fig. 3 Target contrast's calibration measurement of detection device

#### 4 光电跟踪仪目标对比度检验

使用可调对比度目标源检验装置对某光电跟踪仪目标捕获能力进行检验, 检验分 4 个测试点: 1) 亮目标从捕获状态到搜索状态; 2) 亮目标从搜索状态到捕获状态; 3) 暗目标从搜索状态到捕获状态; 4) 暗目标从捕获状态到搜索状态。

这四种状态是光电跟踪仪实际使用过程中的工作状态, 如图 4 所示, 可由亮目标捕获、亮目标搜索,

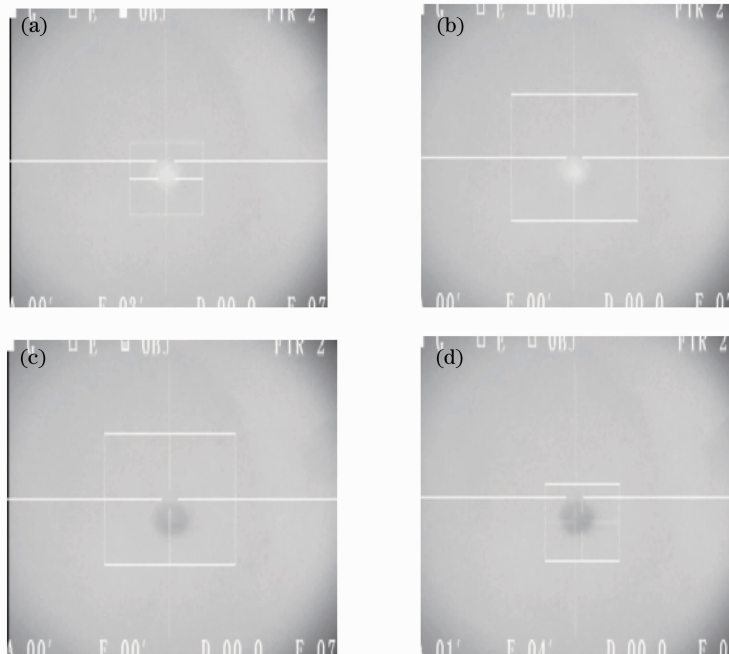


图 4 光电跟踪仪的四种工作状态。(a)亮目标捕获状态;(b)亮目标搜索状态;(c)暗目标搜索状态;(d)暗目标捕获状态

Fig. 4 Four working states of opto-electronic tracker. (a) State of bright target captured; (b) state of bright target searched; (c) state of dark target searched; (d) state of dark target captured

暗目标捕获和暗目标搜索四种状态来表示。检验时将大积分球模拟的背景亮度调整到需要的量值,小积分球模拟的目标辐亮度调整到明显高于背景辐亮度,调整被检光电跟踪仪,使目标成像在光电跟踪仪光学系统视场中心附近,在图像显示器上可观察到图像处理器波门对亮目标处于捕获状态。

缓慢调整小积分球照明光源上光阑口径,改变目标的亮度,使目标逐渐变暗,观察波门的捕获状态,当波门从捕获状态变化到搜索状态的临界点时,停止调整小积分球照明光源上的光阑,用 PR735 光

谱辐亮度计测量此时的目标辐亮度,计算目标对比度,该对比度即为第一种状态下的目标对比度。继续调整光阑改变目标辐亮度,依次得到其他三种工作状态的临界点,测量相应的目标辐亮度,计算对比度。以上过程完成了某一背景辐亮度下光电跟踪仪在四种工况下的捕获能力的测量;改变背景辐亮度,重复上述过程得到另一种背景辐亮度光电跟踪仪目标捕获能力的测量结果。表 1 给出了两种背景辐亮度下光电跟踪仪目标捕获能力检验结果。

表 1 光电跟踪仪目标捕获能力检验结果

Table 1 Test results on target acquisition capability of opto-electronic tracker

Background radiance: 38W/(sr·m <sup>2</sup> )				Background radiance: 6 W/(sr·m <sup>2</sup> )			
Target brighter than background		Target darker than background		Target brighter than background		Target darker than background	
Working state	Target contrast	Working state	Target contrast	Working state	Target contrast	Working state	Target contrast
From the state of target searched to the state of target captured	13%	From the state of target searched to the state of target captured	12%	From the state of target searched to the state of target captured	12%	From the state of target searched to the state of target captured	10%
From the state of target searched to the state of target lost	5%	From the state of target searched to the state of target lost	9%	From the state of target searched to the state of target lost	8%	From the state of target searched to the state of target lost	6%

## 5 检验结果分析

从表 1 中的测量结果可以看出,无论在何种背景辐亮度条件下,从目标捕获状态至目标丢失状态时的目标对比度低于从目标搜索状态至目标捕获状态时的目标对比度,这与图像处理算法软件的处理过程是一致的,但在亮、暗两种背景条件、相同的工况下,目标对比度检验结果略有差别,分析这种情况与光学系统的杂散光性能有关,不同背景亮度在像面上产生的杂光能量不同,对像面上目标对比度影响程度不同;此外,目标对比度的定义与图像处理算法中采用的目标对比度定义是不同的,图像处理算法中采用的目标对比度定义是按 GJB1830 光电跟踪仪通用规范中的规定:

$$C_T = \frac{V_T - V_B}{V_W - V_{BL}}, \quad (2)$$

式中  $C_T$  为目标与背景之间的对比度,  $V_T$  为目标灰度值,  $V_B$  为背景灰度值,  $V_W - V_{BL}$  为电荷耦合器件

(CCD)的灰度等级,为一个常数。因此在可见图像处理软件对比度算法中,目标对比度只与目标和背景在 CCD 像面上产生的灰度差值有关,与真实背景亮度的变化无关,这与本文检测方法中定义的目标对比度意义是不相同的,因此不可以将该检验结果用于判断图像处理软件中目标对比度设计结果是否达到要求。

## 6 结 论

实验验证了采用可调对比度无穷远目标源检验装置检验光电跟踪仪低对比度目标捕获能力的可行性,通过这套检验装置实现了光电跟踪仪低对比度目标捕获能力的量化评价,获得了光电跟踪仪在不同背景亮度、四种工作状态下对低对比度目标捕获能力的的数据结果。通过对这些数据的分析,可以进一步探讨光学系统性能对目标对比度的影响,如杂散光分布、照度均匀性等,对今后深入开展光电跟踪

性能的技术研究工作具有重要意义。

### 参 考 文 献

- 1 Wang Bingxue, Zhang Qiheng, Liu Yuqing *et al.*. Analysis for operating distance of a searching and tracking system based on CCD detector [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2004, **31**(11): 12~15  
王兵学, 张启衡, 刘玉清等. CCD探测器搜索跟踪系统的作用距离分析 [J]. *光电工程*, 2004, **31**(11): 12~15
- 2 Li Shanshan, Wang Qi, Feng Xingle. A novel quality metric based on luminance and contrast model for image fusion [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2011, **48**(6): 061001  
李珊珊, 王琦, 冯兴乐. 基于亮度和对比度模型的图像融合质量评估标准 [J]. *激光与光电子学进展*, 2011, **48**(6): 061001
- 3 He Yuhang, Cao Yiping, Zhai Aiping. A 3-D measurement method with orthogonal composite light based on fringe contrast and background calibration [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(11): 3191~3196  
何宇航, 曹益平, 翟爱平. 基于条纹对比度和背景光校准的正交复合光三维测量方法 [J]. *光学学报*, 2010, **30**(11): 3191~3196
- 4 Li Yanan, Sun Xiaobing, Qiao Yanli. Waveband selection for space target detection and identification [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(1): 67~71  
李雅男, 孙晓兵, 乔延利. 空间目标探测与识别的波段选择 [J]. *光学学报*, 2009, **29**(1): 67~71
- 5 Wang Miao, Li Hua. Capturing of CCD vertical target measurement system [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(6): 1539~1542  
王苗, 李华. CCD立靶测量系统目标捕获性能研究 [J]. *光子学报*, 2009, **38**(6): 1539~1542
- 6 Nie Shouping, Wang Ming, Liu Feng. Image segmentation algorithm study for low contrast image [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(1): 89~91  
聂守平, 王鸣, 刘峰. 低对比度图像分割算法研究 [J]. *中国激光*, 2004, **31**(1): 89~91
- 7 Li Kai, Yao Hongping. Study on capture process control technology of opto-electronic tracker [J]. *Laser & Infrared*, 2009, **39**(5): 518~520  
李楷, 姚红萍. 光电跟踪仪目标捕获过程控制技术研究 [J]. *激光与红外*, 2009, **39**(5): 518~520
- 8 R. L. Espinola, E. L. Jacobs, C. E. Halford *et al.*. Modeling the target acquisition performance of active imaging systems [J]. *Opt. Express*, 2007, **15**(7): 3816~3832
- 9 Li Zhihong, Lei Meirong, Zhou Xueyan *et al.*. Measurement and calibration of contrast base on CCD [J]. *J. Changchun University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2008, **31**(1): 22~24  
李志宏, 雷美容, 周学艳等. 基于 CCD 的目标与背景对比度测量与实验校正 [J]. *长春理工大学学报(自然科学版)*, 2008, **31**(1): 22~24
- 10 Liu Yang, Yu Hao, Di Xu. Reseach on contrast measurement and its correction based on digital image processing [J]. *J. Changchun University of Science and Technology(Natural Science Edition)*, 2009, **32**(4): 550~552  
刘扬, 于浩, 邸旭. 用数字图像实现对比度测量及其矫正方法研究 [J]. *长春理工大学学报(自然科学版)*, 2009, **32**(4): 550~552
- 11 Ye Lu, Gu Lishan, Shen Xiangheng. Design of adjustable contrast optical target [J]. *J. Appl. Opt.*, 2010, **31**(5): 681~684  
叶露, 谷立山, 沈湘衡. 可调对比度光学无穷远目标源设计 [J]. *应用光学*, 2010, **31**(5): 681~684

栏目编辑: 何卓铭