

· 光电工程系统技术 ·

## 光电跟踪仪作用距离分析

赵建川<sup>1</sup>, 姜润强<sup>2</sup>, 王伟国<sup>2</sup>

(1. 海军驻哈尔滨汽轮机厂有限责任公司军事代表室, 黑龙江 哈尔滨 150046; 2. 中科院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

**摘要:** 光电跟踪仪电视系统的作用距离是其重要指标之一, 在系统设计过程中, 应进行必要的计算、分析和研究. 详细探讨了影响电视跟踪系统作用距离的主要因素, 分析了目标成像尺寸、目标和天空背景在电视像面的照度和对比度, 建立了标准大气条件下, 电视系统作用距离的数学模型, 提出采用光学和信号处理手段相结合的方法可有效提高电视系统的作用距离, 利用计算探测距离的公式可估计系统的作用距离, 进而为设计提供参考.

**关键词:** 电视系统; 作用距离; 对比度; 光谱滤波

**中图分类号:** TN941.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-1255(2009)03-0015-02

## Analysis of Effective Distance of Electro-Optic Tracker

ZHAO Jian-chuan<sup>1</sup>, JIANG Run-qiang<sup>2</sup>, WANG Wei-guo<sup>2</sup>

(1. Office Resided at Harbin Turbine Company Limited, Harbin 150046, China;

2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Changchun 130033, China)

**Abstract:** The effective distance of TV system in electro-optic tracker is one of the key performances, which must be calculated, analyzed and studied when the system is designed. The factors affecting the effective distance of the system are discussed, the target imaging size on TV, the luminance and contrast of targets and sky background on the imaging surface of TV are analyzed. A mathematic model of effective distance of TV under the standard atmosphere condition is established. The approach of combining the optics and signal process is capable of increasing the effective distance of TV system, the calculation formula of detection distance can be used to estimate the effective distance of the system and provide references for design.

**Key words:** TV system; effective distance; contrast; spectral filtering

电视系统对目标进行可靠的提取跟踪, 通常要求系统同时满足 3 个条件: (1) 目标的表面光谱辐射能量经过大气传输, 到达接收光学系统 CCD 像面的照度要大于探测器像面的最小照度; (2) 目标经望远镜在 CCD 摄像机靶面上所成像的尺寸应满足电视跟踪器提取目标的要求; (3) 目标和背景在探测器像面的对比度应大于信号检测所需要的最小对比度要求.

### 1 系统作用距离分析

#### 1.1 目标成像尺寸

由于探测器电路中存在散粒噪声和坏点, 电视

处理器要进行必要的中值滤波, 因此为保证电视处理器可靠提取目标, 要求目标在 CCD 摄像机靶面上成像最少像素大于 2 个像元<sup>[1]</sup>. 由于在实际跟踪过程中, 目标由于受大气传输、仪器振动、光学衍射等因素的影响, 目标成像弥散. 目标在 CCD 像面上成像尺寸应以弥散尺寸计算. 目标覆盖 CCD 摄像机尺寸可由下述公式计算

$$\sigma = \left( \sum_{i=1}^4 \sigma_i^2 \right)^{1/2} \times \alpha \quad (1)$$

式中,  $\sigma_1$  为目标在 CCD 靶面上的几何张角;  $\sigma_2$  为光学镜头衍射角弥散;  $\sigma_3$  为大气抖动的均方值;  $\sigma_4$  为跟踪不平稳误差造成的像点扩散;  $\alpha$  为单位角目标

的成像尺寸.

$$\alpha = \frac{\pi}{180} \times \frac{1}{3600} \times f \quad (2)$$

以 98% 概率计算的参数值如下

$$\sigma_1 = 2 \sqrt{A/\pi} \cdot 1/R \cdot \frac{1}{2.3} \alpha \quad (3)$$

式中,  $A$  为目标有效反射面积, 取  $1 \text{ m}^2$ .

$$\sigma_2 = \frac{1}{2.3} \times 1.22 \lambda / d \times \alpha \quad (4)$$

式中, 取  $\lambda = 0.6 \mu\text{m}$ ,  $d = 120 \text{ mm}$ .

取中等大气条件下的大气湍流抖动,  $\sigma_3 = 3''$ .

跟踪不平稳造成的像点扩散令其为正态分布  $\sigma_4$

$$\sigma_4 = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \Delta V \times \Delta t \times 3600 \quad (5)$$

式中,  $\Delta V$  为像点相对靶面的运动速度;  $\Delta t$  为 CCD 积分时间. 取  $\Delta V = 0.05^\circ/\text{s}$ , CCD 采样周期  $\Delta t$  为  $0.018 \text{ s}$ . 将上述计算结果代入目标覆盖 CCD 像机像元数计算公式(1), 可求得一定距离时目标尺寸.

## 1.2 CCD 靶面照度计算

CCD 靶面的照度为

$$E' = \frac{1}{4} E \tau \left(\frac{D}{f}\right)^2$$

式中,  $E'$  为靶面照度;  $E$  为天空背景入瞳照度;  $\tau$  为光学系统的总透过率.

白天天空背景的照度变化为  $10^2 \sim 10^5 \text{ Lux}$ , 以背景照度为  $100 \text{ lx}$  (阴天, 太阳高角为  $0^\circ$ ) 计算<sup>[2]</sup>, 光学系统的相对孔径为  $1:8$ , 取透过率  $\tau = 0.6$ , 此时 CCD 靶面的照度为  $0.17 \text{ Lux}$ , CCD 靶面的灵敏度高于  $0.1 \text{ Lux}$  即可满足成像要求, 因此, CCD 白天都能满足最低照度要求.

## 1.3 目标与背景成像在 CCD 靶面上对比度计算

目标与背景成像在 CCD 摄像机靶面上的对比度应大于许用对比度, 目标才能被提取探测, 一般对比度大于  $0.04$ .

空中目标亮度主要由两部分组成, 一是目标直接被太阳照射所获得的反射亮度, 二是目标在天空中被大气散射的漫反射光照射所获得反射亮度, 这部分漫反射能量占目标亮度的五分之一. 光学系统的光谱滤波设计采用  $600 \text{ nm}$  前截止滤光片, 这可有效抑止背景亮度, 提高目标与背景的对比度, 按此条件进行计算如下.

目标在 CCD 摄像机靶面上辐照度为

$$E_m = \frac{\pi}{4} \left(\frac{D}{f}\right)^2 \tau_0 [\tau_m \tau_a L_m + \tau_b (1 - \tau_a) L_b] \times k \quad (5)$$

天空背景在 CCD 摄像机靶面上的辐射度为

$$E_b = \frac{\pi}{4} \left(\frac{D}{f}\right)^2 \tau_o \cdot \tau_b \cdot L_b \quad (6)$$

则目标和天空背景在 CCD 靶面上的对比度为

$$C = \frac{E_m}{E_b} = \left[ \frac{\tau_m}{\tau_b} \times \tau_a \times \frac{L_m}{L_b} + (1 - \tau_a) \right] \times k \quad (7)$$

式中,  $D/f$  为光学镜头相对孔径;  $\tau_o$  为光学镜头透过率;  $\tau_m$  为光谱滤光片对目标的滤光系数  $0.6$ ;  $\tau_b$  为光谱滤光片对背景的滤光系数  $0.3$ ;  $L_m$  为目标光亮度;  $L_b$  为天空背景光亮度;  $K$  为像点弥散系数;  $\tau_a$  为目标至电视传感器的大气透过率, 采用式(8)计算

$$\tau_a = e^{-K_a \cdot \alpha_m \cdot R} \quad (8)$$

式中,  $K_a$  为水平面上大气衰减系数;  $\alpha_m$  为目标大气斜程衰减修正系数,  $R$  取  $21 \text{ km}$ , 则  $\tau_a$  为  $0.45$ .

目标的亮度取决于太阳高角、目标反射面积、反射特性等因素, 由太阳辐射和背景散射引起的目标平均亮度为

$$L_m = E_s \cdot A \cdot \rho \cdot \cos \theta / (\pi \cdot 10^4) \quad (9)$$

式中,  $E_s$  为太阳高角  $15^\circ$  时, 为  $1.86 \times 10^4 \text{ lux}$ ;  $\rho$  为目标反射率, 取  $\rho = 0.4$ ;  $\theta$  为目标反射面与观测方向夹角, 以  $45^\circ$  计算.

计算得目标亮度为  $L_m = 0.034 \text{ sb}$ , 加上背景散射亮度  $L_m = 0.04 \text{ sb}$ .

天空背景亮度  $L_b$  值在天空不同部位差别较大, 晴朗天气, 在偏离太阳  $40^\circ$  的天空, 天空背景亮度  $0.1 \sim 0.6 \text{ cd/cm}^2$ , 太阳高角  $15^\circ$  时, 取  $L_b = 0.15 \text{ sb}$ .

由对比度公式<sup>[3]</sup>(10)计算.

$$C = \left[ \frac{\tau_m}{\tau_b} \times \tau_a \times \frac{L_m}{L_b} \times (1 - \tau_a) \right] \times k \quad (10)$$

## 2 影响系统作用距离因素分析

目标与背景的对比度直接影响系统的作用距离. 由对比度计算公式可知, 对比度与  $D/f$ ,  $\tau_o$  等参数无关, 要提高对比度, 重要途径之一是提高目标和背景的透过率差, 即提高  $\tau_m/\tau_b$  比值. 因此, 需综合考虑目标光谱、背景光谱和 CCD 响应光谱<sup>[3,4]</sup>.

非发光目标为漫反射体, 其光亮度主要来自对太阳光的反射, 由太阳光谱和背景光光谱曲线如图 1 可知, 天空背景的光谱峰值范围在  $0.3 \sim 0.55 \mu\text{m}$

(下转第 43 页)

大.另外,当  $n_3$  在 1.0~1.1 范围内时,谐振波长的偏移比较缓慢,敏感度不高.而  $n_3$  在 1.1~1.458 的范围内谐振波长的偏移则比较显著,所以用此类长周期光纤光栅测量环境折射率位于 1.1~1.458 范围内的未知物质的折射率以确定其化学构成或组成元素的变化是可能的.

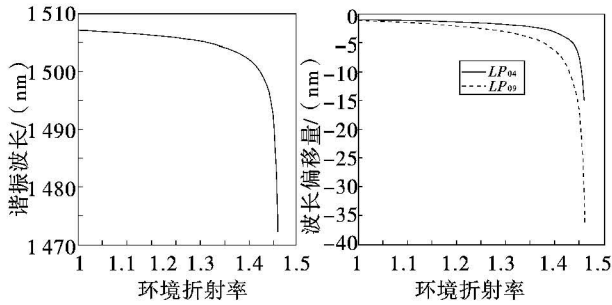


图 6 谐振波长与外界折射率的关系 图 7 环境折射率与谐振波长偏移量的关系

## 2 结 束 语

从理论上分析了环境折射率对长周期光纤光栅谐振波长的影响,详细模拟计算了不同谐振波长的波导色散因子与包层模阶次数的关系,这是因为波导色散因子  $r$  符号存在一个由正到负的“转折点”,

选择“转折点”附近的包层模,会得到较高的灵敏度.最后模拟了在环境折射率小于光栅包层折射率的情况下,长周期光纤光栅谐振波长随环境折射率变化的规律,这对于长周期光纤光栅的封装以及在传感中的应用具有指导意义.

## 参考文献

- [1] A M Vengsarkar, P J Lemair, J B Judkins, et al. Long-period fiber gratings as band-rejection filters[J]. J. Lightwave Technol., 1996, 14(1): 58-65.
- [2] T Erdogan. Fiber grating spectra[J]. J. Lightwave Technol., 1997, 15(8): 1277-1294.
- [3] T Erdogan. Cladding-mode resonances in short- and long-period fiber grating filters[J]. J. Opt. Soc. Am. A, 1997, 14(8): 1760-1773.
- [4] X Shu, L Zhang, I Benion. Sensitivity characteristics of long-period fiber gratings [J]. J. Lightwave Technol., 2002, 20(2): 255-266.
- [5] A Cherin. An Introduction to optical fibers[M]. McGraw-Hill, Singapore, 1989.
- [6] K S Chiang, Y Liu, M N Ng, et al. Analysis of etched long-period fiber grating and its response to external refractive index[J]. Electron. Lett., 2000, 36(17): 966-967.

(上接第 16 页)

之间,而目标的光谱范围集中在  $0.6\sim 0.85\ \mu\text{m}$ ,通过光谱滤波后,可使目标和天空背景的对比度明显提高.探测器光谱响应曲线如图 2 所示,其峰值响应曲线在  $0.5\sim 0.55\ \mu\text{m}$ .  $0.6\sim 0.8\ \mu\text{m}$  是空间目标相对于天空背景最强的波段,因此光谱滤波应选择在  $0.6\ \mu\text{m}$  以上. CCD 本身也是一个光谱滤波器,其对不同频段的光谱具有不同的量子效率<sup>[5]</sup>. 因此选择光谱滤波时要考虑 CCD 的光谱响应特性.采用  $0.6\ \mu\text{m}$  前截止光谱滤波试验证明可显著提高目标背景的对比度.

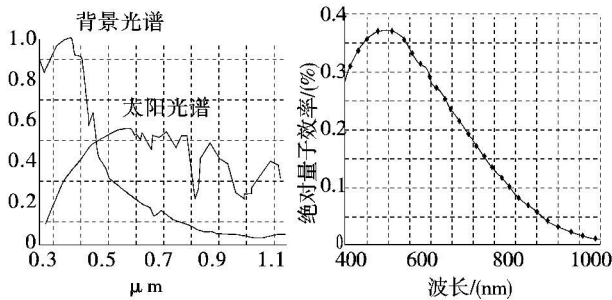


图 1 太阳光谱和背景光谱曲线图 图 2 探测器光谱响应曲线

降低目标成像的弥散系数同样提高了目标光强度,增加对比度.提高电视处理系统的弱信号处理能力,采取相关和背景抵消技术,降低信号提取的信噪比也可增加电视系统作用距离.因此,可采用光学和信号处理手段相结合的方法提高电视系统的作用距离.

## 参考文献

- [1] 吕超全,蓝邦固.提高电视跟踪系统作用距离的方法探讨[J].光电工程,1992,19(6):38-48.
- [2] 郁道银,谈恒英.工程光学[M].北京:机械工业出版社,1999.
- [3] 王家骥.光学仪器总体设计[R].长春:中科院长春光学精密机械研究所,1998.
- [4] 朱著祥,谢谦.利用光谱滤波技术提高 CCD 对天空微弱目标的探测能力[J].飞行器测控技术,1989,12(1).
- [5] 江月松.光电技术与实验[M].北京:北京理工大学出版社,2000.