

文章编号: 0253-2239(2009)04-0937-07

# 周视搜索系统对点目标的作用距离分析

贾庆莲<sup>1,2</sup> 乔彦峰<sup>1</sup> 邓文渊<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130031; <sup>2</sup>中国科学院研究生院,北京 100039)

**摘要** 提出了影响周视搜索系统对点目标的作用距离的具体参数,从目标特性、大气背景特性及系统本身光机电特性等角度推导了作用距离的数学公式,针对点目标,分别基于靶面照度、靶面对比度、探测概率、虚警率及系统带宽等参数推导了一定目标、大气及系统特性条件下周视搜索系统的作用距离的计算公式。该公式分析表明目标辐射强度与作用距离呈近似上升抛物线关系,大气消光系数与作用距离呈下降段抛物线关系,系统焦距与作用距离呈正比关系,目标固有对比度与作用距离呈非线性关系。针对给定虚警率的特定搜索任务,系统信噪比与作用距离呈近似下降段抛物线关系,系统驻留时间则与作用距离呈近似正比关系。最后通过仿真实验证明,当目标辐射强度值达  $70 \text{ J}/(\text{s} \cdot \text{sr})$ ,目标固有对比度达到 4 以上且大气消光系数在 0.1 以内时,500 mm 焦距的周视可见光搜索系统对点目标的作用距离达 100 km 以上,周视红外搜索系统对点目标的作用距离达 60 km 以上。

**关键词** 光学测量; 搜索; 点目标; 作用距离

中图分类号 TN215 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS20092904.0937

## Analysis for Point-Target Detection Range of Panoramic Searching System

Jia Qinglian<sup>1,2</sup> Qiao Yanfeng<sup>1</sup> Deng Wenyuan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130031, China  
<sup>2</sup> Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

**Abstract** The maximum detection range equations of the infrared panoramic searching system are investigated, based on the focal plane irradiance distribution, the minimum resolved contrast, detection probability, false alarm probability and the bandwidth. The main factors including the target characteristics, atmosphere background, and the optical, mechanical and electrical characteristics of the systems are analyzed. In the equation of detection range based on the irradiance distribution, the results show that the radiation propagation intensity of target has approximate ascending parabola relation with detection range, atmosphere extinction coefficient has descendent parabola relation with detection range, the system focus has direct proportion with detection range, and the inherent contrast of the target has ascending parabola relation with detection range. Given the definite false alarm probability, the signal noise ratio has approximate descendent parabola relation with detection range, while detector dwell time has approximate direct proportion relation. The system detection distance under the above factors are simulated, and the results show that the detection range of panoramic visible light searching system can achieve more than 100 km, panoramic infrared searching system can achieve more than 60 km with the target radiation propagation intensity of  $70 \text{ J}/(\text{s} \cdot \text{sr})$ , the connatural contrast of more than 4, atmosphere extinction coefficient of less than 0.1 and the system focus of 500 mm.

**Key words** optical measurement; searching; point target; detection range

收稿日期: 2008-06-17; 收到修改稿日期: 2008-10-06

作者简介: 贾庆莲(1976—),女,助理研究员,博士研究生,主要从事目标搜索与光电测控方面的研究。

E-mail: jqlian@sohu.com

导师简介: 乔彦峰(1962—),男,研究员,博士生导师,主要从事光电测量与控制等方面的研究。

E-mail: YanfengQiao@ciomp.ac.cn

## 1 引 言

周视搜索系统又称周视预警系统<sup>[1]</sup>,或红外全方位警戒系统,用以在方位 360°范围内,对目标进行搜索、探测并提供预警信号。在长距离目标探测过程中,空中目标成像在探测器靶面上多为几个像元大小,这种目标称为点目标。点目标的探测对光电制导、光电预警等许多领域有重大意义。影响点目标探测的因素主要有目标背景对比度、目标在像面的照度、大气传输特性、探测器波段及系统带宽等<sup>[2]</sup>。这些因素对系统性能参数的影响综合表现在系统作用距离的大小。长期以来,研究红外探测系统作用距离的文献很多<sup>[3~5]</sup>。但这些理论分析在推导公式时都只考虑了某一个因素,比如文献[3,5]不考虑太阳及光学系统点扩散的影响,文献[4,5]不考虑探测概率的影响,文献[3,4]不考虑信号处理的影响,造成了其理论分析结果与实际系统性能相脱离。本文首先建立了个周视搜索系统的模型,并针对该模型从四个方面分析了影响实际成像质量的多种因素,并推导了作用距离的公式。最后用仿真实验进行了验证,计算结果比较接近实际搜索试验。

## 2 搜索模型

建立一个搜索模型必须考虑到系统的性能参数,如视场、转速、搜索范围、目标数量、目标大小、单次凝视的探测概率及探测时间等。美国 NVESD (美国夜视和电传感器管理局)提出的搜索模型<sup>[6]</sup>,是一种最通用的搜索模型。这个模型预测了用光电成像器在搜索视场内对单个目标定位的总体概率,既可以用于可见光又可用于红外波段的搜索过程。这个模型基础上采用线阵探测器<sup>[7]</sup>设计了一种周视搜索系统,其基本组成原理如图 1 所示<sup>[8]</sup>。

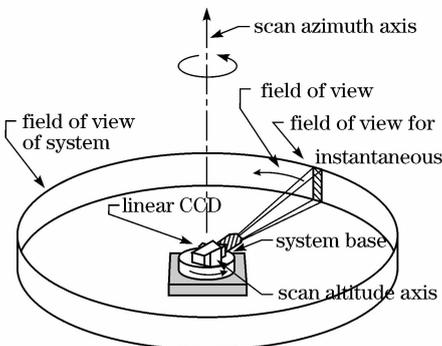


图 1 周视搜索系统模型

Fig. 1 Model of infrared panoramic searching system

## 3 影响周视搜索系统作用距离的因素

周视搜索系统不同于跟踪系统,它在成像靶面上所观察的目标一般为点目标,对于目标的判别大多限于探测与定位,而不是去获知目标的具体细节。影响目标探测与定位的因素主要有靶面目标的照度<sup>[9]</sup>、对比度、本次任务的探测概率、虚警率及系统信号处理的水平<sup>[10]</sup>。因此从下面四个方面推导周视搜索系统的作用距离公式。

### 3.1 基于照度的分析

点目标在距离系统  $R$  的入瞳处,目标产生的辐照度为

$$E'_t = I_t \tau_a(R) \cos \theta_t / R^2 \quad (1a)$$

式中  $\tau_a(R) = \exp(-\sigma R \sec Z)$ <sup>[11]</sup> 为传输路径中的大气透过率值。其中  $\sigma$  为大气消光系数。 $Z$  为太阳天顶角。 $\theta_t$  为目标入射光线和受照面的法线方向夹角。

经过光学系统后,目标在探测器像面上产生的辐照度为

$$E_t = \frac{\pi D_0^2}{4} K_0 E'_t \tau_0 / A_s' =$$

$$\frac{\pi}{4} K_0 I_t \cos \theta_t \exp(-\sigma R) \tau_0 \left(\frac{D}{R}\right)^2 / n d_0^2 \quad (1b)$$

式中  $n$  为目标所占像元数, $d_0$  为像元大小, $K_0 = \sigma_t^2 / \sigma_s^2$  为光学系统的点扩散引起的衰减<sup>[12]</sup>,其中  $\sigma_t$  为目标等效直径对探测器靶面张角的均方根值, $\sigma_t = \frac{d_t}{(\sqrt{3} \cdot R)} \cdot 2 \times 10^5$ , $\sigma_s$  为系统所允许的最大象

点弥散均方根值: $\sigma_s = \left(\sigma_1^2 + \sum_{i=1}^6 \sigma_i^2\right)^{1/2}$  式中  $\sigma_1$  为大气抖动造成的像点弥散的均方根值, $\sigma_1 = \delta$ ( $\delta$  为大气抖动值,一般取为  $2''$ ); $\sigma_2$  为光学系统衍射效应所形成的衍射斑的均方根值, $\sigma_3$  为光学系统象差所产生的弥散的均方根值, $\sigma_4$  为跟踪误差在帧积分时间内所产生象移的角弥散的均方根值, $\sigma_5$  为在积分时间内系统振动所造成角弥散的均方根值, $\sigma_6$  为探测器象元尺寸所固有的角弥散。

要探测到目标,必须满足<sup>[13]</sup>

$$E_t \geq E_{\min} \quad (1c)$$

式中  $E_{\min}$  为探测器像面的最小可用照度。

对于点目标,将(1b)式代入(1c)式得

$$R^2 \exp(\sigma R) \leq \frac{\pi K_0 I_t \tau_0 \cos \theta_t D_0^2}{4 n d_0^2 E_{\min}} \quad (1d)$$

### 3.2 基于对比度的分析

经过大气传输距离  $R$  处,目标的表现对比度为

$C_R$ 。对于可见光有

$$C_R = \frac{L_{tR} - L_{bR}}{L_{bR}}$$

其中  $L_{tR}$  和  $L_{bR}$  分别为目标经过大气传输距离  $R$  后的表观亮度和背景经过大气传输距离  $R$  后的表观亮度,其表达式分别为

$$L_{tR} = L_t \exp(-\sigma R) + L_H [1 - \exp(-\sigma R)] L_{bR} = L_b \exp(-\sigma R) + L_H [1 - \exp(-\sigma R)]$$

式中  $L_H$  为目标距观察者方向上的天空亮度。

经过大气传输距离  $R$  后的天空表观亮度为

$$L_{HR} = \int_0^R L_H \sigma \exp(-\sigma R) dx = L_H [1 - \exp(-\sigma R)]$$

设目标未经大气传输的固有对比度  $C_0$ ,对可见光探测器有  $C_0 = (L_t - L_b)/L_b$ 。

则由上述分析得到

$$C_R = C_0 \frac{1}{1 + L_H/L_b [\exp(\sigma R) - 1]} \quad (2a)$$

其中  $L_H/L_b$  为天空背景亮度比。

表 1 为不同情况下的天空背景亮度比<sup>[14]</sup>。

表 1 天空背景亮度比

Table 1 Luminance ratio of sky and background

Sky	Background	Luminance ratio
Sunshine	Sky	1
	Snow	1.2
	Desert	1.4
	Mountain forest	5
Cloudy	Sky	1
	Snow	1
	Desert	7
	Mountain forest	25

要探测到目标,除了必须满足:  $E'_t \geq E_{\min}$  外,还需要满足

$$C_R \geq C_{\min}(\text{可见光}) \quad (2b)$$

式中  $C_{\min}$  为探测器像面最小许用对比度<sup>[13]</sup> ( $C_{\min} = 0.02 \sim 0.1$ )

对于可见光,将(2a)式代入(2b)式得

$$\exp(\sigma R) \leq \frac{L_b}{L_H} \left( \frac{C_0}{C_{\min}} - 1 \right) + 1 \quad (2c)$$

当系统搜索到点目标时,目标像并未充满探测器靶面,仍有部分面积接收背景辐射,设  $\phi$  为系统瞬时立体视场角,则  $\phi = A_d/f^2$  ( $A_d$  为探测器有效靶面大小),目标对系统所张立体角  $\phi_d = A_t/R^2$  ( $A_t$  为目标面积),并设目标的入射光线和受照面的法线方向平行。

在探测器靶面上的辐射功率<sup>[4]</sup>为

$$P_{tR} = P_{t1} + P_{l1} + P_{b1} \quad (3a)$$

其中  $P_{t1}$ 、 $P_{l1}$  和  $P_{b1}$  分别是来自目标的辐射、来自目标所张立体角  $\omega_t$  内的大气辐射和来自目标所张立体角外 ( $\omega - \omega_t$ ) 的天空辐射。

$$P_{t1} = \frac{\pi}{4} \left( \frac{D}{R} \right)^2 K_0 \tau_0 L_t A_t \exp(-\sigma R) \quad (3b)$$

$$P_{l1} = \frac{\pi}{4} D^2 K_0 \tau_0 L_{tR} \omega_t \quad (3c)$$

$$P_{b1} = \frac{\pi}{4} D^2 K_0 \tau_0 L_H (\omega - \omega_t) \quad (3d)$$

此处,  $L_{tR} = L_H [1 - \exp(-\sigma R)]$  为目标至探测器传输路径上任意位置的路径辐亮度<sup>[8]</sup>。

当视场内只有背景时,系统探测器靶面上的辐射功率为

$$P_{bR} = \pi/4 D^2 \tau_0 L_H \omega \quad (3e)$$

对红外探测器有

$$C_R = \frac{P_{tR} - P_{bR}}{P_{bR}} \quad (3f)$$

令  $C_0 = (K_0 L_t - L_H)/L_H$ , 将(3a)~(3e)式代入(3f)式得到红外探测器靶面上的对比度为

$$C_R = \frac{A_t}{A_d} \left( \frac{f}{R} \right)^2 \exp(-\sigma R) C_0 \quad (3g)$$

在探测器靶面上目标的对比度最理想的状态是达到固定值  $C_0$ , 因此有

$$R^2 \exp(\sigma R) \leq \frac{A_t}{A_d} f^2. \quad (\text{红外}) \quad (3h)$$

### 3.3 基于探测概率和虚警率的分析

探测概率  $P_d$  和虚警概率  $P_{fa}$  常作为衡量探测系统性能的主要指标。一个理想的探测系统当目标信号出现时探测概率应该最大,没有目标信号时虚警概率应该最小。但是探测概率和虚警概率不可能同时达到最佳值。能做到的只是保持虚警概率为某个许可值,而使相应的探测概率尽可能的大。

在信号和噪声同时输入系统的情况下,信号加噪声的幅值的概率密度分布服从零阶第一类变形贝塞尔函数<sup>[15]</sup>,其表达式为

$$p(x) = \frac{x}{V_\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 - V_s^2}{2V_\sigma^2}\right) J_0\left(\frac{xV_s}{V_\sigma^2}\right) \quad (4a)$$

式中,  $J_0(x)$  为以  $x$  为变量的零阶变形贝塞尔函数值;  $V_s$  为信号电压幅值;  $V_\sigma$  为噪声电压均方根值

$$V_s = P_t R(\lambda) = \frac{\pi}{4} \left( \frac{D}{R} \right)^2 K_0 \tau_0 \cdot J_t \exp(-\sigma R) \cdot R(\lambda) \quad (4b)$$

式中  $R(\lambda)$  为探测器响应度,对红外探测器  $R(\lambda) = (D_\lambda^* V_\sigma) / (A_d \Delta f)^{1/2}$ 。

因此有

$$V_s = P_t R(\lambda) = \frac{\pi}{4} \left( \frac{D}{R} \right)^2 K_0 \tau_0 \cdot$$

$$J_1 \exp(-\sigma R) \cos \theta_1 \cdot \frac{D_\lambda^* V_\sigma}{(A_d \Delta f)^{1/2}} \quad (4c)$$

式中  $\Delta f$  为等效噪声带宽,  $D^*(\lambda)$  为探测器的比探测率。

在假定系统噪声是呈高斯分布的白噪声为主时, 探测概率与虚警概率的表达式如下

$$P_d = 1 - \int_{-\infty}^{V_{th}} p(v) dv =$$

$$1 - \int_{-\infty}^{V_{th}} \frac{v}{V_\sigma^2} \exp\left(-\frac{v - v_s}{2V_\sigma^2}\right) J_0\left(\frac{v v_s}{V_\sigma^2}\right) dv =$$

$$\exp\left(-\frac{v - v_s}{2V_\sigma^2}\right) \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{v_{th}}{v_s}\right)^n J_n\left(\frac{v_{th} v_s}{V_\sigma^2}\right) \quad (4d)$$

$$P_{fa} = P(v_{th} < v_n < \infty) =$$

$$\int_{V_{th}}^{\infty} \frac{v}{v_\sigma^2} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{v_n}{v_\sigma}\right)^2\right] dv =$$

$$\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{v_{th}}{v_\sigma}\right)^2\right] \quad (4e)$$

设  $N_{SNR} = v_s/v_\sigma$  是系统工作要求的极限信噪比。 $N_{TNR} = v_{th}/v_\sigma$  ( $v_{th}$  为阈值) 是阈值噪声比。

当用目标与背景的亮度对比度  $C_R$  表示时, 探测概率服从韦伯分布, 其概率密度为  $p(C_R) = \lambda m C_R^{m-1} \exp(-\lambda C_R^m)$ , 式中  $\lambda$  为尺度参数,  $m$  为形状参数。实践表明, 这种分布更接近实验数据<sup>[16]</sup>。

当给定系统的虚警概率  $P_{fa}$  时, 由(4e)式可以确定  $N_{TNR}$ , 从而由(4d)式可以求出  $N_{SNR}$ 。则有

$$R^2 \exp(\sigma R) \leq \frac{\pi K_0 I_t \tau_0 D_\lambda^*}{4 N_{SNR} (A_d \Delta f)^{1/2}} D_0^2 \quad (4f)$$

### 3.4 基于系统带宽的分析

设目标在一帧时间  $T_f$  内为静态目标, 即在一帧时间内无明显位移, 这样经过光学系统后系统输出的信号将是一个辐射脉冲, 经过信号处理后就得到一个电脉冲信号, 这种脉冲一般为矩形脉冲, 相应带宽接近无穷, 为减小噪声的影响, 通常取有限宽的频带信号, 但实际系统带宽是有限的, 当矩形脉冲通过有限带宽的电路时, 信号的某些频率成分被滤掉, 受到损失, 其损失的度量用信号衰减因子  $\delta$  表示,  $\delta = V_s/V'_s$ ,  $V'_s$  为搜索脉冲信号峰值幅度值,  $V_s$  为信号处理后, 在探测器驻留时间  $\tau_d$  内系统输出的矩形脉冲的峰值幅度值。

对扫描成像搜索系统<sup>[1]</sup>

$$\tau_d = \frac{\eta_{sc} n_p \omega T_f}{\Omega O_s}$$

其中  $\Omega$  为系统总视场,  $T_f$  为帧时,  $n_p$  为探测器并联元数,  $\eta_{sc}$  为扫描效率,  $O_s$  为过扫比。

对焦平面凝视阵列搜索系统<sup>[1]</sup>, 有  $\tau_d = t_{int} \cdot t_{int}$  为探测器积分时间。

由文献[5]可以知道, 经过信号处理单元后的系统电压信噪比为

$$N_{SNR} = \frac{V_s}{V_\sigma} = \frac{\sqrt{2\pi} \left(\frac{D_0}{R}\right)^2 \text{Si}(n\pi) I_t \cdot \exp(-\sigma R) \tau_0 \cdot \frac{D_\lambda^*}{\sqrt{A_d 2\pi f_h}}}{\sqrt{A_d 2\pi f_h}} \quad (5a)$$

其中  $\text{Si}(n\pi)$  为正弦积分函数。

经过信号处理后, 为了获得系统能达到的最大信噪比, 必须满足  $n = f_h \cdot \tau_d \approx 0.68$ <sup>[5]</sup>, 即  $\text{Si}(n\pi) \approx 1.65$ 。由(5a)式得

$$N_{SNR} \leq \frac{1.65 \left(\frac{D_0}{R}\right)^2 I_t \exp(-\sigma R) \tau_0 \cdot \frac{D_\lambda^* \sqrt{\tau_d}}{\sqrt{0.68 A_d}}}{\sqrt{0.68 A_d}} \quad \text{即}$$

$$R^2 \exp(\sigma R) \leq \frac{I_t \tau_0 D^*(\lambda) \tau_d^{1/2}}{4 N_{SNR} (0.68 A_d)^{1/2}} D_0^2 \quad (5b)$$

## 4 实 验

### 4.1 实验条件

设空中目标为一个喷气式飞机, 该机临界尺寸为 2.4 m, 其辐射强度为 35 J/(s·sr), 给定虚警概率为 10 小时一次。周视搜索系统扫描速率为 240°/s, 且有两个探测器: 可见光探测器和红外探测器。设可见光系统通光口径为 200 mm, 红外系统通光口径为 100 mm, 点扩散引起的衰减为 0.2, 光学系统透过率为 0.55, 其中可见光探测器像素数为 1024 pixel×1024 pixel, 像元尺寸 16 μm。红外探测器像素数为 320 pixel×256 pixel, 像元尺寸为 30 μm, 比探测率( $D^*$ )为  $3 \times 10^{11}$  (cm·W<sup>-1</sup>·Hz<sup>-1</sup>)。设大气温度为 15 °C, 已知当太阳高角为 20°~40°时, 天空亮度达到最大值, 约为  $0.2 \sim 0.6 \times 10^4$  J/(s·m<sup>2</sup>·sr), 背景亮度为  $0.5 \times 10^4$  J/(s·m<sup>2</sup>·sr), 按国际标准并考虑到电路处理噪声及背景的不均匀等因素, 取  $C=0.1$ 。天气良好状态下大气消光系数为 0.1。

### 4.2 实验结果及分析

取目标辐射强度变化值为 20~70 J/(s·sr), 则由(1d)式计算出的作用距离与目标辐射强度的关系如图 2 所示。

由图 2 可以看出, 随着目标辐射强度值变大, 系统的作用距离呈抛物线形增长, 但增长速率在逐渐降低。在目标辐射强度值在 20~70 J/(s·sr) 范围内时增大了 3 倍, 但作用距离增长量却并不大。当

目标辐射强度值超过  $45 \text{ J}/(\text{s} \cdot \text{sr})$  时,目标作用距离值增长较快,当目标辐射强度值达  $70 \text{ J}/(\text{s} \cdot \text{sr})$  时,目标作用距离已大于  $130 \text{ km}$ 。该结果与某一项目在靶场实验时的取值较为吻合。

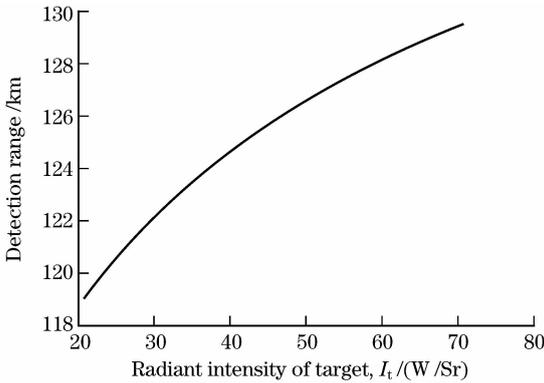


图 2 作用距离与目标辐射强度的关系

Fig. 2 Relation of detection range and intensity of radiation propagation of target

设系统光机电参数与图 2 的设置相同,当目标固有对比度变化时,由公式(2c)计算得到的系统作用距离的变化如图 3 所示。从图中可以看出,当目标固有对比度较小时,由公式(2c)计算随着其值的增大,系统作用距离迅速增大,但当目标固有对比度达到 4 以上时,系统作用距离值变化越来越缓慢。

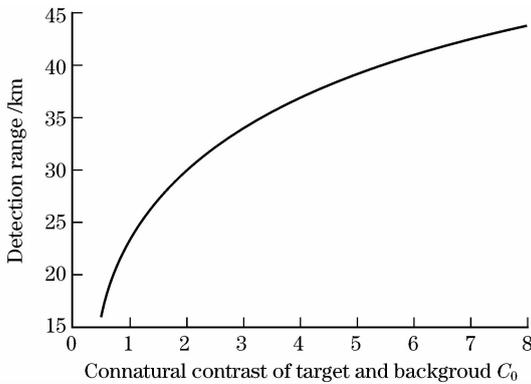


图 3 作用距离与目标固有对比度的关系

Fig. 3 Relation of detection range and inherent contrast of target

设系统光机电参数与图 2 的设置相同,由公式(3h)计算得系统焦距与作用距离的关系如图 4 所示。从图中可以看出,系统作用距离与焦距几乎呈线性递增关系。所以要想看清更远的目标,增加系统焦距是一个选择,但受相对口径的影响,系统焦距增加,口径也会变大,这会增加系统的体积,造成系统转动惯量增大,对提高系统的搜索速率非常不利。

由图 5 可以看出,当系统信噪比增大时,作用距离越来越小,当信噪比变化 5 倍时,目标作用距离减小 2

倍左右。但在实际系统信号处理时,提高系统的信噪比要求有良好的信号处理能力,要降低系统的噪声,因此在电子学处理过程中需要增加多个信号处理环。

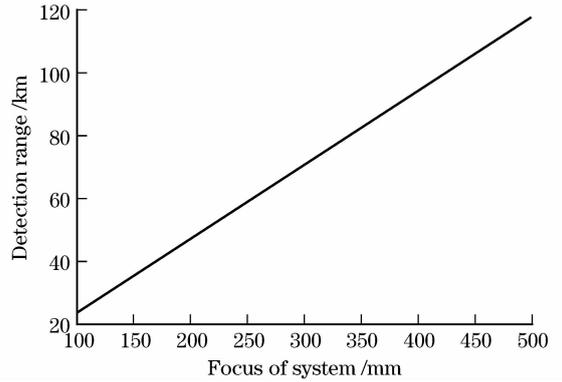


图 4 作用距离与系统焦距的关系

Fig. 4 Relation of detection range and system focus

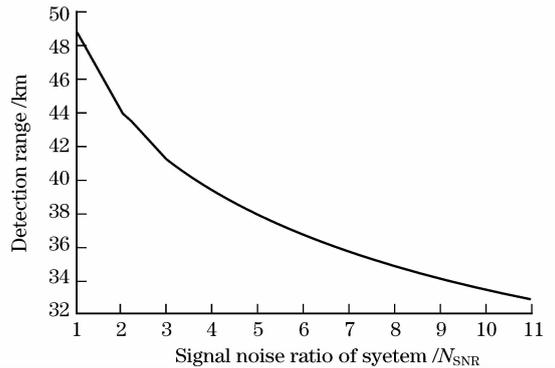


图 5 作用距离与系统信噪比的关系

Fig. 5 Relation of detection range and signal noise ratio of system

当周视搜索系统采用光机扫描方式时,系统扫描速率不同,则系统驻留时间不同,相应的作用距离也不同,其变化规律如图 6 所示。从图中可以看出,当系统驻留时间提高 3 倍左右时,系统的作用距离提高并不是很多。而同时要想提高系统的驻留时间,必须提高系统的扫描速率,因此单纯从提高系统的作用距

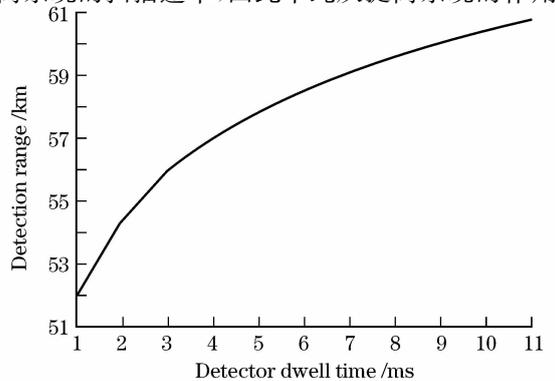


图 6 作用距离与系统驻留时间的关系

Fig. 6 Relation of detection range and detector dwell time

离性能来说,提高系统的驻留时间意义不大。

设太阳天顶角为  $20^\circ$ , 大气消光系数变化范围为  $0.05 \sim 0.3$ , 则系统作用距离变化曲线如图 7 所示。从图中可以看出, 大气消光系数对系统的作用距离影响很大, 即大气透过率越大, 系统的作用距离有明显的提高。因此论证系统的作用距离时, 必须指明大气透过率。

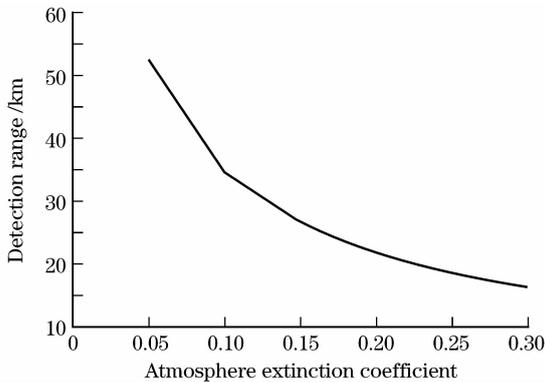


图 7 作用距离与大气消光系数的关系

Fig. 7 Relation of detection range and atmosphere extinction coefficient

比较图 2~图 7 可以看出, 大气透过率、系统信噪比、系统焦距及目标固有对比度对作用距离的影响较大, 而目标辐射强度及系统驻留时间对系统作用距离的影响较小, 因此对上述 5 个作用距离公式进行不同权值的拟合, 其中影响较小的因素取较小的权值, 影响较大的因素取较大的权值, 最后可以得到周视搜索系统的作用距离公式。

对于周视可见光搜索系统, 其作用距离公式为

$$R = k_1 R_1 + k_2 R_2 + k_3 R_3$$

对于周视红外搜索系统, 其作用距离公式为

$$R = k_3 R_3 + k_4 R_4 + k_5 R_5$$

其中  $R_i (i=1 \sim 5)$  分别为由 (1) 式~(5) 式求解到的作用距离,  $k_i (i=1 \sim 5)$  分别为针对 (1) 式~(5) 式设定的权值。

经多次实验发现,  $k_1 = 0.1 \sim 0.3$  时, 取  $k_3 = 3k_2$  时, 周视可见搜索系统可达到最大作用距离。当  $k_5 \leq 0.25$  时, 取  $k_3 = 3k_4$  时, 周视红外搜索系统可达到最大作用距离。

## 5 结 论

本文综合考虑了靶面照度、靶面对比度、探测概率及系统带宽等影响因素推导了周视搜索系统的作用距离公式。详细分析了影响上述因素的目标特性、大气背景特性及系统光机电特性。仿真实验过

程中采用迭代求解法得出了作用距离与各影响因素的曲线关系图, 并仔细分析了各曲线的意义。试验结果证明周视搜索系统的作用距离随目标辐射强度的增加呈抛物性形增长, 随目标固有对比度呈非线性增加, 与系统焦距的增长呈线性增长, 随系统信噪比呈非线性下降, 随系统驻留时间的增长呈近似抛物线形增长, 随大气透过率的增加呈非线性的增加。实验过程中给出了一定的目标特性、大气背景特性及系统特性的前提下, 系统作用距离的数据。与此前报道的某实际靶场实验的结果<sup>[17]</sup> 相比, 该数据非常接近, 因此本文的研究将为未来周视搜索系统的项目论证提供有益的参考及可靠的数据支持。

## 参 考 文 献

- Gao Zhiyun, Gao Yue, Zhang Kaihua. *Serve electro-optical systems* [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1996
- 高雅允, 高岳, 张开华. 军用光电系统 [M]. 北京理工大学出版社, 1996
- Ekstrand B. Approach to estimation of infrared point-target range [J]. *Appl. Opt.*, 2000, **39**:3495~3503
- Li Runshun, Yuan Xiangyan, Fan Zhigang *et al.*. Operating range prediction of infrared imaging system [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2001, **30**(1):1~3
- 李润顺, 袁祥岩, 范志刚等. 红外成像系统作用距离的估算 [J]. *红外与激光工程*, 2001, **30**(1):1~3
- Wang Gang, Yu Bingxi. Approach to estimate infrared point-target detection range against sky background based on contrast [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, **10**(3):276~280
- 王刚, 禹秉熙. 基于对比度的空中红外点目标探测距离估计方法 [J]. *光学精密工程*, 2002, **10**(3):276~280
- Chen Rujun, Liu Xiande, Shi Dinghe *et al.*. The effect of signal processing on detection distance of IR searching system [J]. *J. Infrared Millim. Waves*, 1993, **12**(3):207~212
- 陈汝钧, 刘贤德, 石定河等. 信号处理对红外搜索系统作用距离的影响 [J]. *红外与毫米波学报*, 1993, **12**(3):207~212
- Dudzik M C. *Electro-Optical Systems Design, Analysis, and Testing* [M]. USA Infrared Information Analysis Center, Environmental Research Institute of Michigan and SPIE Optical Engineering Press, 1993
- Lili Ai, Feng Yuan, Zhenliang Ding. Measurement of spatial objects exterior attitude based on linear CCD [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2008, **6**(7):505~509
- Gerald Kerbyson. High-resolution full-panoramic imaging surveillance system [C]. *SPIE*, 2002, **4708**:173~183
- Qu Enshi, Zhang Hengjin, Cao Jianzhong *et al.*. Discussion of illuminance formula in optical design [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(7):1364~1368
- 屈恩世, 张恒金, 曹剑中等. 对光学设计中照度计算公式的讨论 [J]. *光学学报*, 2008, **28**(7):1364~1368
- Ma Zongfeng, Zhang Chunxi, Zhang Zhaoyang *et al.*. Signal-noise ratio in optical heterodyne detection [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(5):889~892
- 马宗峰, 张春喜, 张朝阳等. 光学外差探测信噪比研究 [J]. *光学学报*, 2007, **27**(5):889~892
- Zhao Wencai. Some links affecting the working distance of a tracking and measuring television system [J]. *Optics and Precision Engineering*, 1994, **2**(5):28~34
- 赵文才. 影响电视作用距离的几个环节 [J]. *光学精密工程*,

- 1994, 2(5):28~34
- 12 Zhao Wenqian, Rao Changhui, Geng Zexun. Myopic image deconvolution of point source based on joint estimation of object and point spread function[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, 27(1): 52~57  
赵文倩, 饶长辉, 耿则勋. 基于目标和点扩展函数联合估计的点源目标图像近视解卷积[J]. *光学学报*, 2007, 27(1):52~57
- 13 Gerald H. *CCD Arrays, Cameras, and Displays* [M]. Second Edition, Bellingham, Washington, USA: SPIE, 1998, 57:351~359
- 14 Wang Jiaqi. *Optical instrument general design* [M]. Jilin: Graduate department of changchun institute of optics, Fine Mechanics and Physics, 2003, 4  
王家骥. *光学仪器总体设计* [M]. 吉林, 长春光机所研究生部, 2003, 4
- 15 Jeffrey S. Myers, Richard L. Miller, Optics airborne remote sensing[A]. *Remote Sensing of Coastal Aquatic Environments* [A]. *Nether lands: R. L. Miller et al.*, 2005, 51~67
- 16 Liu Shunli, Zhu Xunping, Wang Yusheng. *Antiaircraft forces battle simulation* [M]. Beijing: PLA Publishing House, 2000  
刘顺利, 朱雪平, 王玉生. *防空兵作战仿真* [M]. 北京: 解放军出版社, 2000
- 17 S Homan Roger, Robert M Headley. Seaborne electro-optical sensors and their technologies[C]. *SPIE*, 3698, 1999:12~20

## 《中国激光》“全固态激光技术”专题征稿启事

全固态激光技术是目前我国在国际上为数不多的从材料源头到激光系统集成拥有整体优势的高技术领域之一,随着全固态激光器件与材料研究的迅速发展,对激光先进制造技术、激光显示技术和激光医疗等领域的发展产生了巨大的推动作用,已取得大量研究成果。《中国激光》计划于2009年6月正刊上推出“全固态激光技术”专题栏目,现特向国内外广大读者以及作者征集“全固态激光技术”方面原创性的研究论文和综述,旨在集中反映该方面最新的研究成果及研究进展。

征稿范围包括:

- 激光二极管抽运固体激光器
- 光纤激光器
- 半导体激光器及相关技术
- 晶体材料及相关技术
- 光学薄膜技术
- 其他

截稿日期:2009年3月31日

投稿方式以及格式:通过网上投稿系统(<http://www.opticsjournal.net/zgjg.htm>)直接上传稿件(主题标明“全固态激光技术”投稿),也可直接将稿件电子版发至邮箱:zhgjg@mail.shcnc.ac.cn(主题标明“全固态激光技术”投稿),详情请参见中国光学期刊网:www.opticsjournal.net。本专题投稿文体不限,中英文皆可,其电子版请使用MS-word格式,有任何问题请发邮件至zhgjg@mail.shcnc.ac.cn询问。

《中国激光》编辑部