

文章编号 1004-924X(2009)04-0720-07

# 多基地周视红外搜索系统的目标定位与精度分析

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

- (1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘要:**针对周视红外搜索系统对目标的搜索定位问题,提出了一种新的目标定位模型,推导了定位误差公式。在建立这种目标定位模型的推导过程中,分析了影响目标搜索定位的主要因素,如搜索站站址误差,各站对目标定位的方位角误差、俯仰角误差以及目标距离等。采用矩阵分析并利用提高数据冗余的方法推导了目标的三维坐标及相对各搜索基地的距离值的表达式,由此加快了计算目标定位误差的处理速度。最后,通过仿真试验并利用定位误差的三维几何分布(GDOP)图分析了三站、正方形四站、菱形四站及五站模式的周视搜索系统对目标的定位误差及分布规律。结果表明,针对周视红外搜索系统,这种新的算法中正方形四站模式与其它几种模式相比具有最高的精度。

**关键词:**周视红外搜索;目标定位;定位精度;坐标转换;布站

**中图分类号:** TN216; TH745 **文献标识码:** A

## Target location and accuracy analysis of multi-station infrared panoramic searching system

JIA Qing-lian<sup>1,2</sup>, QIAO Yan-feng<sup>1</sup>, DENG Wen-yuan<sup>1</sup>

- (1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130031, China;*
2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

**Abstract:** A new algorithm model for target location was proposed to increase the detecting capability of infrared panoramic searching systems and a location error formula was also deduced. In the new algorithm model, the effects of the distance a target, measurement errors of azimuth and elevation and the measurement errors of longitude and latitude for receivers on the detection precision of target location were investigated. The formulae for the 3D coordinate and distance of the target were obtained by a matrix analytical method. The location errors of target in four different methods including three-station method, square-station method, rhombic-station method and five-station method were analyzed and compared using the Geometrical Dilution of Precision (GDOP) graphs. Analyzed results show that the GDOP distributing order of five-station is similar to that of the square-station, but the error values are higher than that of the square-station. The error distribution of rhombic-station is different from that of the square-station, and the location behavior is worse than that of the square station. The

收稿日期:2008-05-26;修订日期:2008-07-23.

基金项目:国家 863 高技术研究发展计划资助项目

results show that the location error of square station is the smallest among the four different models mentioned above.

**Key words:** infrared panoramic searching system; target location; location accuracy; coordinate conversion; distribution method

## 1 引言

红外搜索系统一般分为两类<sup>[1-2]</sup>:一类是经常与跟踪系统一起组成的搜索跟踪系统,常用在导弹或飞机的前方,可以实现在载机的一定左右舷角范围内搜索并跟踪目标;另一类为周视搜索系统,又称红外全方位警戒系统,用于对来袭目标进行搜索、探测并提供预警信号。对这类系统的要求是视场大,多目标探测及采用多元探测器,因此一般要求红外周视搜索系统的方位角为 $360^\circ$ ,俯仰角几十度不等。在这类系统中,单站红外搜索系统仅能提供目标的角度位置信息,要获得目标的距离信息,需要采用多波段或多基地搜索。在特定的环境条件下,当目标只对一个波段的信号响应较大时,多波段搜索会受到限制,而多基地搜索就不存在这种情况,因此研究多基地布站以获得目标的距离信息就非常必要。

近年来针对红外三维定位模型及精度的研究得到了快速发展<sup>[3-6]</sup>,但这些文献介绍的方法有的采用迭代法,计算过程实时性很差;有的采用目标的辐射信息,由此提高了对搜索设备的性能要求;有的实时性较强,但目标定位精度较差。针对这种情况,本文提出了一种新的目标定位模型,利用多基地的目标方位、俯仰角信息,并采用矩阵分析法联合求解以提高数据冗余从而较精确地得出目标的位置信息。同时,也推导了四站模式下的目标距离计算公式及目标定位误差的分布公式。最后仿真实验分析了4种不同定位模式下的目标定位误差的三维几何分布规律。

## 2 多基地搜索系统模型

多基地红外周视搜索系统的基本构成如图1

所示<sup>[2]</sup>,搜索系统视轴绕着系统方位轴作周向搜索扫描,视场内的目标及背景通过光学系统成像在探测器上。周视搜索原理如图2所示。

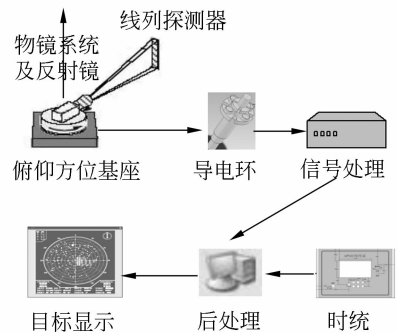


图1 周视红外搜索系统模型

Fig. 1 Model of infrared panoramic searching system

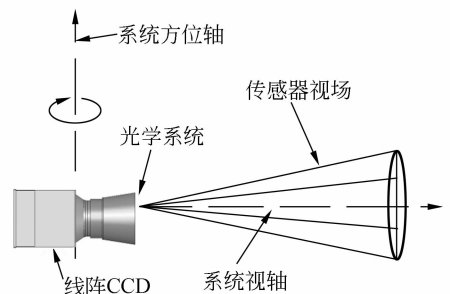


图2 搜索扫描原理图

Fig. 2 Scanning and searching principle

## 3 多基地交汇搜索模型

为了提高定位精度及防止在三站测量定位中某一站出问题,采用四站或更多测量站的定位更加合理<sup>[8]</sup>。如图3所示,以地球质心为原点建立直角坐标系 $O-XYZ$ ,四基地原点的大地坐标分别为 $O_1(L_1, B_1, R_1)$ 、 $O_2(L_2, B_2, R_2)$ 、 $O_3(L_3, B_3, R_3)$ 、 $O_4(L_4, B_4, R_4)$ ,在地球坐标系中的直角坐标为 $(X_i, Y_i, Z_i)$  ( $i=1\sim 4$ )。

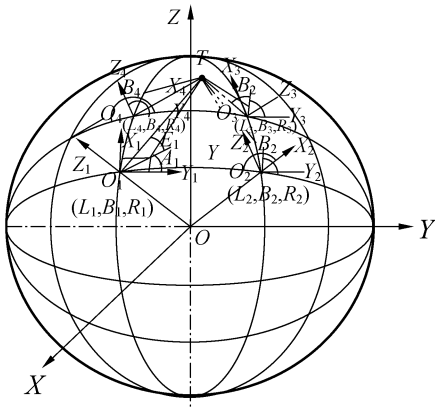


图 3 四站搜索模型

Fig. 3 Searching model of four station method

设目标在地球直角坐标系中的坐标为  $(X, Y, Z)$ , 在四基地中的坐标分别为  $(x_1, y_1, z_1)$ 、 $(x_2, y_2, z_2)$ 、 $(x_3, y_3, z_3)$ 、 $(x_4, y_4, z_4)$ , 其在四基地中的方位角、俯仰角分别为  $\alpha_i (i=1\sim 4)$ 、 $\beta_i (i=1\sim 4)$ . 设由坐标系转换到坐标系的转换矩阵为  $M_i$ , 则:

$$[X \ Y \ Z \ 1]' = M_i [x_i \ y_i \ z_i \ 1]', \quad (1)$$

其中:

$$M_i = M_{i1} M_{i2} M_{i3}, \quad (2)$$

$M_{i1}$ 、 $M_{i2}$ 、 $M_{i3}$  分别为  $O_i$  坐标系绕  $z_i$  轴旋转  $(180^\circ - L)$ 、绕  $Y_i$  轴旋转  $(90^\circ - L)$  及沿  $z_i$  轴平移  $-R_i$  后的坐标变换矩阵。并有:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin B_i \cos L_i & -\sin L_i & \cos L_i \cos B_i & R_i \cos B_i \cos L_i \\ -\sin L_i \sin B_i & \cos L_i & \sin L_i \cos B_i & R_i \sin L_i \cos B_i \\ \cos B_i & 0 & \sin B_i & R_i \sin B_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_i \cos \alpha_i \cos \beta_i \\ r_i \sin \alpha_i \cos \beta_i \\ r_i \sin \beta_i \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

对于式(4), 令:

$$g_i = \cos B_i \cos \alpha_i \cos \beta_i + \sin \beta_i \sin B_i,$$

$$k_i = -\sin L_i \sin B_i \cos \alpha_i \cos \beta_i + \cos L_i \sin \alpha_i \cos \beta_i + \sin L_i \cos B_i \sin \beta_i,$$

$$j_i = \cos B_i \sin L_i,$$

$$h_i = \cos B_i \cos L_i,$$

$$p_i = -\cos L_i \sin B_i \cos \alpha_i \cos \beta_i - \sin L_i \sin \alpha_i \cos \beta_i + \cos L_i \cos B_i \sin \beta_i,$$

在 4 个搜索站中任取两个搜索站  $(m, n)$  进行联立方程求解, 共有  $C_4^2 = 6$  种组合的目标的  $X, Y, Z$

$$M_{i1} = \begin{bmatrix} \cos(180^\circ - L_i) & -\sin(180^\circ - L_i) & 0 & 0 \\ \sin(180^\circ - L_i) & \cos(180^\circ - L_i) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2a)$$

$$M_{i2} = \begin{bmatrix} \cos(90^\circ - B_i) & 0 & \sin(90^\circ - B_i) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(90^\circ - B_i) & 0 & \cos(90^\circ - B_i) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2b)$$

$$M_{i3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & R_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2c)$$

式中,  $L_i, B_i$  分别为  $i$  站的经纬度值;  $R_i = N_i + H_i$  为  $i$  站卯酉圈半径  $N_i$  与该站大地高程  $H_i$  之和.  $N_i = a / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B_i}$ ,  $a$  为地球椭球长半轴,  $b$  为地球椭球短半轴,  $e$  为第一偏心率,  $e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$ .

由坐标转换关系, 得:

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_i \cos \alpha_i \cos \beta_i \\ r_i \sin \alpha_i \cos \beta_i \\ r_i \sin \beta_i \end{bmatrix}, \quad (3)$$

将式(2)(3)代入(1)中得到经  $i$  测站得到的目标在地球坐标系中的坐标为式(4)。

值及其在各测量站中的距离  $r_i$  值。

在方程(4)中取:

$$i = m, n (m \neq n, m < n, m = 1, 2, 3, 4, n = 1, 2, 3, 4)$$

可解得 3 组测量站  $m, n$  的目标距离值为:

第一组:

$$r_m^1 = \frac{1}{3} \sum_{n>m=1}^4 \frac{R[(j_n - j_m)g_n - (\sin B_n - \sin B_m)k_n]}{g_n k_m - g_m k_n},$$

$$r_n^1 = \frac{1}{3} \sum_{n \neq m=1}^4 \frac{R[(j_n - j_m)g_m - (\sin B_n - \sin B_m)k_m]}{g_n k_m - g_m k_n},$$

第二组:

$$r_m^2 = \frac{1}{3} \sum_{n>m=1}^4 \frac{R[(h_n - h_m)g_n - (\sin B_n - \sin B_m)p_n]}{g_n p_m - g_m p_n},$$

$$r_n^2 = \frac{1}{3} \sum_{n \neq m=1}^4 \frac{R[(h_n - h_m)g_m - (\sin B_n - \sin B_m)p_m]}{g_n p_m - g_m p_n},$$

第三组:

$$r_m^3 = \frac{1}{3} \sum_{n>m=1}^4 \frac{R[(h_n - h_m)k_n - (j_n - j_m)p_n]}{k_n p_m - k_m p_n},$$

$$r_n^3 = \frac{1}{3} \sum_{n \neq m=1}^4 \frac{R[(h_n - h_m)k_m - (j_n - j_m)p_m]}{k_n p_m - k_m p_n},$$

在每一组解中  $r_m$  或  $r_n$  有 3 个值,取其均值后,再 3 组求和取平均,最后得出  $r_i$ 。

则目标在地球坐标系中的直角坐标为:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_i & h_i \\ k_i & j_i \\ g_i & \sin B_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_i \\ R_i \end{bmatrix}, \quad (5)$$

### 4 多站定位精度分析

根据误差测量理论,目标三维坐标的偏差可用坐标表达式进行微分得到,对此微分值进行矩阵相乘就可得到其方差值。对式(5)进行微分并化简后得:

$$\begin{bmatrix} \delta X \\ \delta Y \\ \delta Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_i & r_i & 0 & 0 & R_i & 0 & 0 & h_i \\ k_i & 0 & r_i & 0 & 0 & R_i & 0 & j_i \\ g_i & 0 & 0 & r_i & 0 & 0 & R_i \cos B_i & \sin B_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta r_i \\ \delta p_i \\ \delta k_i \\ \delta g_i \\ \delta h_i \\ \delta j_i \\ \delta B_i \\ \delta R_i \end{bmatrix}, \quad (6)$$

其中,

$$\delta p_i = -\cos(L_i + B_i) \cos \alpha_i \cos \beta_i - \cos \beta_i \sin(L_i + \alpha_i) + \cos L_i \sin B_i \sin(\alpha_i + \beta_i) + \cos B_i \cos(L_i + \beta_i) - \cos L_i \sin B_i \sin \beta_i + \sin L_i \sin \alpha_i \sin \beta_i,$$

$$\delta k_i = -\sin(L_i + B_i) \cos \alpha_i \cos \beta_i + \cos \beta_i \cos(L_i + \alpha_i) + \sin L_i \sin B_i \sin(\alpha_i + \beta_i) + \cos B_i \cos(L_i + \beta_i) - \sin L_i \sin B_i \sin \beta_i - \cos L_i \sin \alpha_i \sin \beta_i,$$

$$\delta g_i = -\sin B_i \cos \alpha_i \cos \beta_i + \sin(\beta_i + B_i) - \cos B_i \sin(\alpha_i + \beta_i),$$

$$\delta h_i = -\sin(L_i + B_i),$$

$$\delta j_i = \cos(L_i + B_i),$$

设目标的方位角、俯仰角的测量为独立的,站址的经纬度值测量也为独立的,取一阶近似,则目标位置的方差为:

$$\sigma_X^2 = E(\delta X)^2 - (E(\delta X))^2 = \frac{1}{144} \sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^4 (p_i^2 (\delta r_i^k)^2 + (r_i^k)^2 (\delta p_i)^2),$$

$$\sigma_Y^2 = \frac{1}{144} \sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^4 (k_i^2 (\delta r_i^k)^2 + (r_i^k)^2 (\delta k_i)^2),$$

$$\sigma_Z^2 = \frac{1}{144} \sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^4 (g_i^2 (\delta r_i^k)^2 + r_i^k (\delta g_i)^2), \quad (7)$$

目标定位误差的三维几何分布(GDOP)为  $(\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sigma_Z^2)^{1/2}$  [9]。

由以上分析可以看出,GDOP 的大小与搜索基地与目标的相对位置、搜索基地的经纬度值、站址误差及测向误差有关,目标距离搜索探测器越远,定位误差越大。

### 5 仿真分析

#### 5.1 仿真实验

设搜索系统的测角误差为  $\sigma_\alpha = 1^\circ, \sigma_\beta = 1^\circ$ ,站址经纬度值测量误差为  $\sigma_L = 0.002 \text{ mrad}, \sigma_B = 0.002 \text{ mrad}$ 。在每种布站模式中,都假定各探测器做严格同步的搜索运动。在第一种布站模式中,设四基地成正方形分布,如图 3 所示,站址位置分别为  $O_1(30^\circ, 30^\circ, 300), O_2(45^\circ, 30^\circ, 300), O_3(45^\circ, 45^\circ, 300), O_4(30^\circ, 45^\circ, 300)$ ,其 GDOP 图如图 4 所示。若四基地成菱形布站,  $O_1(-45^\circ, 30^\circ, 300), O_2(30^\circ, 30^\circ, 300), O_3(45^\circ, 55^\circ, 300), O_4(-30^\circ, 55^\circ, 300)$ ,其 GDOP 图为图 5,若在正方形四

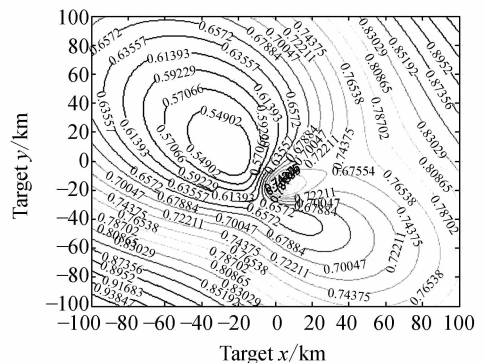


图 4 正方形四站 GDOP 等高线图  
Fig. 4 GDOP contour map of square station method

基地分布的基础上,再增加一站  $O_5(50^\circ, 55^\circ, 300)$ ,其 GDOP 图为图 6,若在四菱形分布基础上去掉一站  $O_4(45^\circ, 55^\circ, 300)$  并成三站,其 GDOP 图如图 7 所示。

定位误差越大,在上述 4 种布站方式中,三角形布站的定位误差最大,而正方形布站的定位误差相对最小。在正方形布站基础上再增加一站的五站搜索定位模型的定位误差要优于菱形布站。从图 4 可以看出,在目标距离 60 km 时,目标定位误差值约为 0.6 km 左右,这个精度要高于文献[10-11]中所得到的数据。

对比图 4 和图 7 可以看出,三角形布站(图 7)和正方形布站的定位误差变化规律明显不同。在正方形布站中,目标定位误差大致呈对角线方向变化,而在三角形布站时其定位误差呈水平变化。在三角形布站中,其中一个站的定位误差值较小,可以达到 1 km 以下,而另两站的定位误差在局部很小的范围内  $<1$  km,此后迅速增大,在目标距离 40 km 时已达到 1.6 km 左右。

试验中多次改变三站及正方形四站的站址数据,均发现其 GDOP 数据分布规律基本不变。经分析发现针对本文提出的两站组合求解,并通过增加数据冗余以提高定位精度的算法而言,三角形布站计算过程中的两两组合再取均值的计算将 GDOP 等高点大致固定在一个水平线性的规律中,而正方形布站的两两组合共有 6 个解,再取均值的计算将会产生接近四边形的 GDOP 等高点分布。

从图 5 可以看出,针对本文提出的算法,菱形布站模式的定位误差分布规律明显不同于正方形布站模式,其定位误差值呈 X-Y 对角线方向增大,目标距离 20 km 时的定位误差值已超过正方形布站模式下的目标距离 100 km 时的值。

从图 6 可以看出,在正方形布站基础上再增加一站进行搜索定位,其定位误差曲线变化规律不会变,但定位误差绝对值在目标距离  $<20$  km 时变化不大,目标距离越远定位误差增加越迅速,在目标距离达到 100 km 时,五站定位模式比正方形四站模式的定位误差已增加近一倍。分析其原因可以发现,在五站搜索模式下,目标相对每一站的距离值在求解过程中会由于数据处理的原因,在距离值求和平均过程中误差绝对值增大,导致对距离值微分得的目标定位误差值也相应增大,由此造成了 GDOP 值的增大。当目标距离相对较小时,距离值对误差的影响也较小,因此在距离  $<20$  km 时,五站模式的定位误差相比正方形模式的定位误差变化不大,而在距离较大时,其相

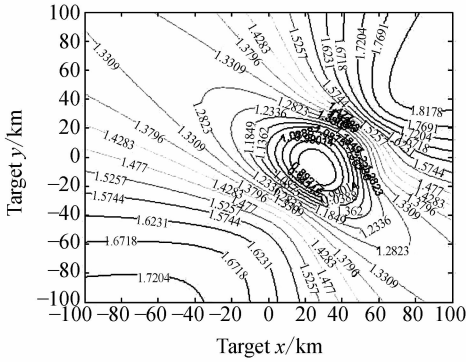
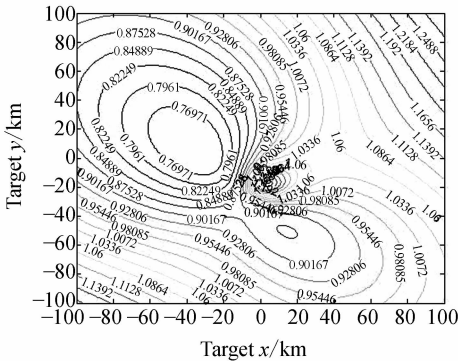


图 5 菱形四站 GDOP 等高线图

Fig. 5 GDOP contour map of rhombic station method



应的定位误差迅速增大。

## 6 结 论

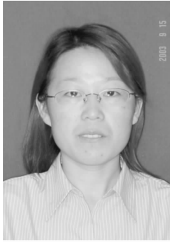
针对周视红外搜索系统对目标的搜索定位问题,本文提出了一新的算法:基于搜索站址的经纬度值及搜索设备对目标的方位、俯仰角值,通过坐标转换及多站联合定位的原理得出目标在各个搜索站的距离值,通过对目标位置微分及取一阶近似的方法,得出目标定位的三维误差值。这种算法在推导出了计算公式后,后续计算量不大,实

时性较强。采用 GDOP 分布规律图比较了正方形布站、菱形布站、三角形布站及正方形基础上再增加一站的五站定位模式下目标位置的三维误差分布值。仿真实验证明,针对本文提出的算法,正方形布站的目标定位误差值最小,在目标距离 60 km 时,目标定位误差值约为 0.6 km 左右。在实际红外系统对目标搜索定位时,系统对目标的方位角值、俯仰角值都存在一定的误差,这一因素对目标定位误差的影响将有待继续研究,但本文的研究将为多基地目标搜索定位提供一种新的理论依据及数据参考。

## 参考文献:

- [1] 宋丰华. 现代空间光电系统及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2004.  
SONG F H. *Modern Space Photoelectric Systems and Applications* [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2004. (in Chinese)
- [2] 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.  
GAO ZH Y, GAO Y, ZHANG K H. *Military Photoelectric System* [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1996. (in Chinese)
- [3] WIGREN C. A generic IRST detection performance model[J]. *SPIE*,2000,4030:206-217.
- [4] KERBYSON G. High-resolution full-panoramic imaging surveillance system [J]. *SPIE*, 2002, 4708: 173-183.
- [5] ROZOVSKII B, PETROV A. Optimal nonlinear filtering for track-before-detect in IR image sequences [J]. *SPIE*,1999,3809:1-12.
- [6] 曹正文,赵健,高宝建. 基于加权最小二乘法的红外多站定位的研究[J]. *光子学报*,2005,34(7):1001-1004.  
CAO Z W, ZHAO J, GAO B J. The research of location about the infrared multi-sites system based on the weighted least square method[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, 34(7):1001-1004. (in Chinese)
- [7] 艾莉莉,袁峰,丁振良. 应用线阵 CCD 的空间目标外姿态测量系统[J]. *光学精密工程*,2008,16(1):161-165.  
AI L L, YUAN F, DING ZH L. An exterior attitude measurement system for spatial object based on linear CCD[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008,16(1):161-165. (in Chinese)
- [8] 孙宏伟,宋金安. 多站测距定位观测几何若干理论问题的证明[J]. *人造卫星观测与研究*,1994(1):17-25.  
SUN H W, SONG J A. Prove of several geometry theory questions for distance measurement and orientation in multi-station [J]. *Observation and Research of Satellite*,1994(1):17-25. (in Chinese)
- [9] 孙仲康,等. 单多基地有源无源定位技术[M]. 北京:国防工业出版社,1996.  
SUN ZH K, et al.. *Active and Passive Orientation Technology Based on Single and Multiple Stations* [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1996. (in Chinese)
- [10] 刘晶红,孙辉,张葆,等. 航空光电成像平台的目标自主定位[J]. *光学精密工程*,2007,15(8):1305-1310.  
LIU J H, SUN H, ZHANG B, et al.. Target self-determination orientation based on aerial photoelectric imaging platform [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007,15(8):1305-1310. (in Chinese)
- [11] 李晓光,王兆楠,王智,等. 一种目标位置解算方法[J]. *光学精密工程*,2006,14(6):1076-1081.  
LI X G, WANG ZH N, WANG ZH, et al. Research on location compute method of object[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006,14(6):1076-1081. (in Chinese)

## 作者简介:



贾庆莲(1976—),女,山东莒县人,助理研究员,博士研究生,主要从事光电测控的研究工作。E-mail: jqlian@sohu.com



邓文渊(1974—),男,江西赣州人,助理研究员,博士研究生,主要从事光学薄膜的研究。E-mail: dwy101@yahoo.com.cn

## 导师简介:



乔彦峰(1962—),男,吉林长春人,研究员,博士生导师,主要从事光电测量与控制方面的研究。E-mail: YanfengQiao@ciomp.ac.cn

## ●下期预告

## 延迟膜光谱分析测试系统及应用

沈 奕<sup>1</sup>,王勇竞<sup>2</sup>,姜言森<sup>3</sup>,陈绍源<sup>1</sup>

- (1. 汕头超声显示器有限公司,广东 汕头 515041;2. Display Photonics, Inc, 美国洛杉矶;  
3. 汕头大学 物理系,广东 汕头 515063;4. 总装备部装备指挥技术学院,北京 101416)

介绍了一个可以测试延迟膜不同波长下的延迟量的方法。在测量晶体相位延迟量  $1/4\lambda$  波片法的基础上,用分光光度计代替其中的光源,滤色片,以及光电探测器,并且对样品进行了测试,利用所得数据,对样品的延迟量进行光谱分析。结果表明:延迟膜的色散效应相对较小,且由同种材料制作的具有不同延迟量的延迟膜其色散曲线极为相似,为分析延迟膜的色散效应对彩色液晶显示所带来的影响提供依据。根据其测试原理,光强的波动以及与光强有关的误差在此系统中可以忽略,且  $1/4\lambda$  波片对多波长测试的误差很小,故此测试系统有很高的精度和可靠性,可以测试其精度范围内的任意小延迟量,亦可对其他光学相位延迟器件进行光谱分析。