

· 光电探测 ·

## 基于玫瑰扫描目标探测与识别的研究

王小英, 王 静

(中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300000)

**摘要:**针对“毒刺”导引头双色探测系统,介绍了玫瑰扫描原理,分析目标探测与识别方法,建立了目标探测与识别模型。讨论非重叠图像扫描信息转化为二维图像的过程,提出了重叠图像映射方法及目标识别方法的应用策略。最后基于VC建立仿真平台,并结合红外弹的数学模型分别验证在红外弹投放瞬间,目标与红外弹分离时玫瑰扫描结果及目标识别应用策略。

**关键词:**玫瑰扫描;目标探测;目标识别

中图分类号:TN219;O235

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2014)-05-0034-04

## Research on Target Detection and Recognition Based on Rosette Scanning

WANG Xiao-ying, WANG Jing

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300000, China)

**Abstract:** Based on two-color detection system of “Sting” missile seeker, rosette scanning principle is introduced. The methods of target detection and recognition are analyzed to establish the model of target detection and recognition. The process for non-overlapped image scanning information transferred to two-dimensional image is discussed and application tactics of overlapped image mapping and target recognition methods are introduced. At the end, the simulation platform based on VC is established and rosette scanning results and target recognition application tactics when the IR flares dispensing and away from the target is tested respectively with IR flares mathematical model.

**Key words:** rosette scanning; target detection; target recognition

玫瑰扫描红外寻的技术是一种常用的导弹红外自动寻的技术,通过单元探测器的玫瑰形运动覆盖整个视场来探测目标位置和图像信息。它因实现简单、抗干扰能力强、能区分多个目标等优点而成为具有重要应用价值的低成本红外寻的技术之一。美制“毒刺”导弹是采用该技术的典型代表<sup>[1]</sup>。但是,公开的文献报道仅提及基本工作原理及相关分析。因此,文中从毒刺导弹工作原理出发,分析其技术指标,建立目标探测与识别模型,提出了重叠图像映射方法及目标识别方法的应用策略并结合红外弹的数学模型<sup>[2]</sup>实现仿真验证。

### 1 玫瑰扫描原理

#### 1.1 玫瑰扫描的数学描述

玫瑰扫描通过两个反向旋转的偏斜光学元件以一定的频率旋转形成似玫瑰花瓣的扫描轨迹。则扫描轨迹以时间为函数的方程为

$$\begin{cases} x(t) = \frac{R}{2}(\cos 2\pi f_1 t + \cos 2\pi f_2 t) \\ y(t) = \frac{R}{2}(\sin 2\pi f_1 t - \sin 2\pi f_2 t) \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $R$  为整体视场半径;  $f_1$ 、 $f_2$  是主次镜的旋转频率。

两镜的旋转频率 $f_1$ 和 $f_2$ 决定了玫瑰扫描的完成速度和形状,如花瓣数量、交点位置等。设 $f$ 是 $f_1$ 和 $f_2$ 的最大公约数,当

$$N_1 = \frac{f_1}{f}, N_2 = \frac{f_2}{f} \quad (2)$$

$N_1$ 、 $N_2$ 都是正整数时,扫描形成一个封闭的图像。

一个周期扫描图案的花瓣数为

$$N = N_1 + N_2 = \frac{f_1 + f_2}{f} \quad (3)$$

每个花瓣间的宽度随 $\Delta N = N_1 - N_2$ 的增大而增加,当 $\Delta N < 3$ 时花瓣间将无重叠。当目标不在视场中心时,脉冲形式不再具有周期性,但是根据脉冲和时间的关系,只要记录了脉冲产生的时间,根据玫瑰扫描轨迹的方程可计算坐标,即可以计算出目标的位置<sup>[3]</sup>。

## 1.2 玫瑰扫描瞬时视场与整体视场

玫瑰扫描的一个重要的优点是瞬时视场小,但是瞬时视场下界的自然约束是瞬时视场扫描完成后应覆盖整体视场。因此需要建立玫瑰扫描的瞬时视场与整体视场之间的关系。花瓣宽度简称“瓣宽”,这里定义任一花瓣与其两侧瓣相交点的弧长为瓣宽 $w'$ ,并由相应的矢径 $r$ 反映花瓣之间的交叠,如图1所示。

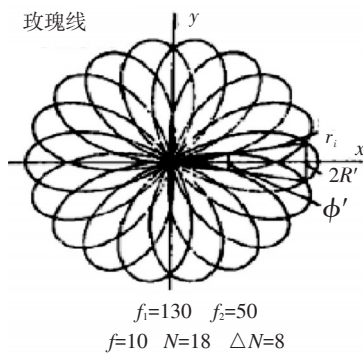


图1 瞬时视场与瓣宽的关系

设相邻花瓣相交点的矢径为 $r_i$ ,则沿半径为 $r_i$ 的圆每一花瓣所对的角度应为 $\varphi = \frac{2\pi}{N}$ ,自基准点开始,扫描到第一瓣与邻瓣交点的时刻为 $t_i$ ,则由玫瑰扫描的极坐标方程可得该点所对应的极角为半个花瓣所对应的角度为 $\frac{\varphi}{2}$ 或 $\frac{\pi}{N}$ ,代入极坐标方程,则

极角可表示为

$$\theta(t_i) = \frac{\varphi}{2} = \frac{\pi}{N} = \frac{\pi(f_1 - f_2)t_i}{T} \quad (4)$$

由此求出下式

$$t_i = \frac{T}{N(f_1 - f_2)} \quad (5)$$

代入极坐标方程,该点对应的极径为

$$r_i = r(t_i) = R \cos\left(\frac{\pi(f_1 + f_2)t_i}{T}\right) = R \cos\left(\frac{\pi(f_1 + f_2)}{T} \cdot \frac{T}{N(f_1 - f_2)}\right) \quad (6)$$

则极径为

$$r(t_i) = R \cos(\pi(N_1 + N_2)) \cdot \frac{1}{N(N_1 - N_2)} = R \cos\left(\frac{\pi}{\Delta N}\right) \quad (7)$$

用弦长表示瓣宽,则瓣宽可表示如下

$$w' = r_i \varphi = R \cos\left(\frac{\pi}{\Delta N}\right) \frac{2\pi}{N} \quad (8)$$

若以确定瞬时视场半径 $R' = \frac{w'}{2}$ ,并以此瞬时视

场用于沿玫瑰线的图形扫描,则在图形内部将无余隙但有重叠,但在 $r=r_i$ 至 $R'$ 间的图形外部仍可能有余隙。实际上,式(8)只在 $\Delta N > 3$ 时才适用。 $\Delta N$ 越大, $r_i$ 也相应增大,图形的重叠就越多且图形外的余隙就越小。从实际应用考虑,一般应取 $\Delta N \geq 7$ ,此时图形外的余隙可以忽略。

取瞬时视场半径 $R' = \frac{w'}{2}$ ,可得

$$2R' = R \cos\left(\frac{\pi}{\Delta N}\right) \frac{2\pi}{N} \quad (9)$$

因此得到瞬时视场半径与整体视场半径的比为

$$\frac{R'}{R} = \cos\left(\frac{\pi}{\Delta N}\right) \frac{\pi}{N} \quad (10)$$

瞬时视场半径和整体视场半径的比值也等于瞬时视场角与整体视场角之比,所以得到瞬时视场与整体视场相互制约的关系式为

$$\frac{R'}{R} = \frac{\theta'}{\theta} = \cos\left(\frac{\pi}{\Delta N}\right) \frac{\pi}{N} \quad (11)$$

其中, $\theta$ 、 $\theta'$ 分别表示瞬时视场角和整体视场角。

瞬时视场越小则抗干扰能力及识别精度就越高<sup>[4]</sup>。根据瞬时视场与整体视场的关系,瞬时视场变小整体视场也会变小。但是从导弹锁定目标的能力来看,则整体视场越大越好。因此要确定瞬时视场的大小,要在这两者之间寻求一个平衡。整体视场既要保证对最远距离目标有较好的分辨率,又要保证对中近距离目标有较好的锁定能力,因此整体

视场角  $\theta$  要适当取值。依据上述分析,当  $f_1=160$ ,  $f_2=70$ ,  $N=23$ , 瞬时视场及整体视场理想值分别为  $0.006 \text{ rad}$  和  $0.05 \text{ rad}$ 。在上述频率下,玫瑰扫描有 23 瓣,既能够很好地覆盖整个视场,又不至导致太多的冗余采样点。同时这样的瓣数决定的瞬时视场和整体视场的大小,能够较好地满足抗干扰能力和目标的锁定能力。

## 2 目标探测方法

当导弹和目标距离 1 500 m 时,瞬时视场距离为 9 m。因此对于大小为 10 m 左右的目标,其探测结果是多个点的组合。当距离更近时,随着瞬时视场变小,对目标的反射点会更多,因此得到关于目标的信息会更丰富,根据这些信息可以得到关于目标的大小甚至形状等信息。随着探测技术的发展,出现了各种恢复探测信息的方法,用来计算不同目标的位置和形状等信息<sup>[5]</sup>。

其中一种比较重要的方法是将扫描信息转化为二维图像的方法<sup>[6]</sup>。假设玫瑰扫描的花瓣间无重叠,设玫瑰扫描中花瓣总数为  $N$ ,由于玫瑰扫描的同一个花瓣扫描时间不连续,因此需要将一个花瓣分为两部分进行处理。设在半个花瓣上的采样点个数为  $2^k$ ,将一个扫描花瓣的顶点取在极坐标的极轴上,并将上半个花瓣设为第一个,然后将每半个花瓣按照其空间位置的逆时针顺序排列,将其上的采样点排列为一行,则这些采样点可以形成一个  $2N \times 2^k$  的矩阵,且采样点数为:  $N_r=2N \times 2^k$ ,数据排列和其在空间中的真正相对位置关系一致,根据采样数可得采样时间间隔为

$$\Delta t = \frac{T}{N_r} = \frac{1}{fN_r} \quad (12)$$

根据采样点的位置,其所在的行  $i$  可由下式确定

$$\begin{cases} i = \left[ \frac{\theta(t)N}{n} \right] + 1 & \theta(t) \geq 0 \\ i = \left[ \frac{(\theta(t) + 2n)N}{n} \right] + 1 & \theta(t) < 0 \end{cases} \quad (13)$$

其中,  $\theta(t)$  是采样点在极坐标下的极角。当点所在行确定之后,需要确定该点所在的列  $j$ ,  $1 \leq j \leq 2^k$ 。由于每一个花瓣的两部分的扫描方向分别是中心向边缘和从边缘向中心。根据这个规律,以及点在一维序列中的位置  $N_j=1,2,\dots,N_r$ ,可由下式确定点所在的

列  $j$  为

$$\begin{cases} j = (1 + D) \cdot 2^k - N_j + 1 & \text{if } D \text{ is odd} \\ j = N_j - D \cdot 2^k & \text{if } D \text{ is even} \end{cases} \quad (14)$$

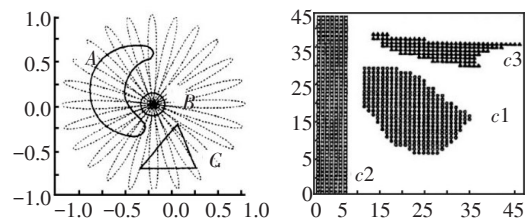
其中,  $D = \lfloor \frac{N_j}{2^k} \rfloor$ 。

根据式(13)和式(14),一个扫描周期中的采样点可以依次映射到一个二维空间。如果某位置探测到目标,则其值取为 1,否则值为零。对扫描过程和目标,假设  $k=5$ ,可以得到一个二维矩阵,其中包含非零数据的局部如图 2 所示。

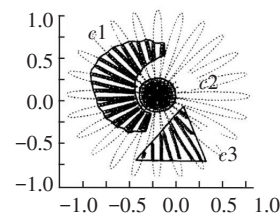
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

图 2 二维数据

图 2 中的“1”和图 3 中目标的采样点是一一对应的。虽然图 2 中“1”构成的形状不能表示图 3 中目标的真实形状,但图 2 和图 3 的图像间有着重要的联系。图 3 分别是视场中目标的真实形状、探测信号处理后的存储图像和还原后的图像。



(a) 视场中目标真实形状 (b) 探测信号处理后的存储图像



(c) 还原后的图像

图 3 目标扫描存储与识别过程

通过图 3 可知,在图 3a 中连通的图像区域在图 3b 中仍然保持连通。当一个扫描周期内探测到多个不同的目标时,在对应的二维空间中不为零的点

会形成几个不同的连通区域。其次,映射过程保持原来图像的边缘和内部不变,而且边界点的相对位置关系也保持不变。

上面讨论了非重叠的扫描图像映射问题,而实际应用中多使用重叠的扫描图像。其映射过程也很容易实现,用射线将图像分为 $2N$ 个互不相交的区间,将每一个区间内的采样点对应一行。由于在每一个区间内,不同采样点离中心的距离不同,所以不同分区内采样点数量相同。虽然这些采样点不在同一个瓣上,但是根据它们离中心距离不同,可以利用式(14)来确定采样点所在的列。对于采样点所在的行,直接计算该点的极坐标角度所属区间,从而可以确定采样点所在的行。

如果空间中有多目标,在映射后的二值图像中就会对应着不同的区域。只需使用图像处理中简单的图像分割方法就可以完成目标的分类。这些点所表示的形状虽然不是空间目标的真实形状,但将不同类中的点映射回扫描空间,即可得到目标的真实形状。在探测过程中导弹使用如图3所示的方法将空间中的全部目标进行分类。

### 3 目标识别方法

“毒刺”在完成目标探测后,若视场内有多个目标,则需要通过目标识别策略对目标和红外弹进行区分。通常采用双波段检测技术、幅度检测技术及脉冲宽度检测技术<sup>[7]</sup>。

第一种方法是双波段检测技术。由于红外弹与飞机目标的燃烧和辐射温度存在差别,可以根据红外弹与飞机目标在两个波段内的辐射特性的差异来区分目标和干扰<sup>[8]</sup>。其抗干扰的基本原理和信号处理过程为,当双色探测器的瞬时视场扫过绝对温度相同的辐射源时,同时获得红外与紫外光谱信号强度,则红外与紫外信号强度比值如下式

$$\frac{U_{IR}}{U_{UV}} = \frac{\lambda_{IR}^5 \left[ e^{C_2/\lambda_{IR}T} - 1 \right]}{\lambda_{UV}^5 \left[ e^{C_2/\lambda_{UV}T} - 1 \right]} \quad (15)$$

其中, $U_{IR}$ 为目标红外辐射强度; $U_{UV}$ 为目标紫外辐射强度; $T$ 为目标绝对温度; $\lambda_{IR}$ 为红外辐射波长; $\lambda_{UV}$ 为紫外辐射波长; $C_2$ 为第二辐射常数。红外信号强度与紫外信号强度之比随温度单调变化,对于给定的某物体温度这个比值是一个常数。如果飞机

尾流温度作为检测标准 $T_D$ ,由此产生的信号比作为给定门限,则当红外弹进入双色探测器视场时,根据双色探测器输出信号电平的比值是否超过给定门限,判断目标是飞机还是红外弹。该方法主要优点是可以利用目标与红外弹光谱辐射特征差异来检测导引头视场中是否存在红外弹干扰,检测红外弹的概率较高。同理,也可以区别目标和其他背景。

第二种方法是幅度检测技术。为了把红外导弹迅速引开,达到保护飞机自身的目的,载机投放的红外弹的辐射强度一般要比飞机的辐射强度大得多,约为十几倍。在飞机辐射能量不变的情况下,导引头接收到飞机的红外辐射信号强度的变化应该是有规律且连续增长的。投放出红外弹后,导引头视场内接收的红外能量变化规律将被打破,可利用能量突跳检测技术检测到信号强度急剧增加,以此判别视场内是否存在红外弹干扰。当红外弹和目标分离后,可以根据脉冲信号的幅度大小来检测目标和干扰,即大脉冲是干扰,小脉冲是目标,不受红外弹干扰的欺骗,始终跟踪目标。

第三种方法是脉宽检测技术。由于目标在体积上是要大于红外弹的,当导弹和目标的距离满足一定条件时,玫瑰扫描可以得到关于目标面积大小的更多信息,玫瑰扫描得到的目标脉冲宽度要大于红外弹脉冲宽度,因此可以通过检测到的脉冲宽度来识别红外弹和飞机。

### 4 仿真与分析

玫瑰扫描的探测与识别仿真,利用VC软件实现了模型求解,并建立仿真平台。仿真参数设定为:主镜扫描频率 $f_1=160$ ,次镜扫描频率 $f_2=70$ ,花瓣数 $N=23$ ,瞬时有半视场角 $\theta'=0.0022$  rad,整体半视场角 $\theta=0.03$  rad,导弹与目标之间距离 $d=3$  km,红外弹的参数根据仿真需求设置。依据上述仿真参数,验证了飞机在发射红外弹瞬间及目标与红外弹分离时玫瑰扫描结果及识别策略,并验证了当采用较小间隔连续投放红外弹时导引头脉宽检测技术失效。

经原理分析与仿真验证,“毒刺”主要采用双模检测技术进行目标识别,但随着红外弹技术的发展,红外弹在频谱方面和目标会越来越相似,双波段检

(下转第59页)

度和方向控制策略,实现稳定导航;以激光检测模块对跑道两边树木和跑道中隧道进行检测,实现精准测量;以光电编码器实现小车的可靠速度闭环控制和隧道长度的高精度测量。根据多次行走测试,车速能有效稳定在2 m/s,红色“树木”测量精准,隧道长度误差在1.5%以内。测试任务的成功给日后无人驾驶智能车的导航和检测提供了一种指导思路,能有效促进无人驾驶的发展。

## 参考文献

- [1] LENG Chong-jie, XIANG Hui-yu, YANG Dong-xuan. Study on the intelligent vehicle model based on photoelectric sensor. Proceedings of 2010 The 3rd International Conference on Power Electronics and Intelligent Transportation System [C]// 2010:6.
- [2] LIU Qiu-xia. Design of the multifunctional sensor system for intelligent car[J]. Sensors & Transducers, 2013, 161(12):518-523.
- [3] 雷霖霖,梁志毅. 基于CMOS传感器OV7620采集系统设计[J]. 电子测量技术, 2008(12).
- [4] 师树恒,赵斌,郭朋彦,等. 基于MK60N512的智能循迹小车设计[J]. 机床与液压, 2014(2):91-93,96.
- [5] 刘守义,杨宏丽. 单片机应用技术[M]. 成都:电子科技大学出版社:276.
- [6] 刘文耀. 数字图像采集与处理[M]. 北京:电子工业出版社, 2007.
- [7] 和文娟. CMOS图像传感器的噪声分析及图像处理[D]. 武汉:华中科技大学, 2011.
- [8] 童立靖,张艳,舒巍,等. 几种文本图像二值化方法的对比分析[J]. 北方工业大学学报, 2011(1):25-33.
- [9] 曾星星. 基于摄像头的路径识别智能车控制系统设计[J]. 湖北汽车工业学院学报, 2008(2).
- [10] 吴斌华,黄卫华,程磊,等. 基于路径识别的智能车系统设计[J]. 电子技术应用, 2007(3).
- [11] 张红涛,闫林,徐晓辉,等. 基于单片机PID算法的无刷直流电机控制系统的研究[J]. 现代电子技术, 2007(10).
- [12] 杨晓岚. PID算法在智能车中的应用[J]. 实验科学与技术, 2010(4).
- [13] 赵桂钦. 电路与电子技术[M]. 北京:清华大学出版社, 2010:292.978-7-5121-0090-9.
- [14] 侯崇升. 基于旋转编码器的长度测量系统设计[J]. 微计算机信息, 2009(19).
- [15] 李园,宋艳霞,邢磊. 红外探测技术的应用[J]. 科技信息, 2011(22).

(上接第37页)

测措施会逐渐失去作用,因此需多种方法结合使用。当导引头探测为点目标,并且目标和红外弹已经分离,采用脉冲幅值序列检测法和双波段检测法;当导引头探测为面目标,采用脉冲宽度序列检测法和目标特征相结合的方法识别。在红外弹抛出的初始时刻,如果目标和红外弹的距离小于当时瞬时视场的直径,则导弹无法区分目标和红外弹。但是随着目标和红外弹的分离,当目标和红外弹的距离大于当时瞬时视场的直径时,在扫描过程中目标脉冲和红外弹的脉冲有时间间隔,可以采用上述识别方法区分目标和红外弹。

## 5 结论

基于“毒刺”导引头分析了玫瑰扫描原理、目标探测及识别方法,建立仿真模型并实现了仿真验证。提出了重叠图像信息映射方法及目标识别方法

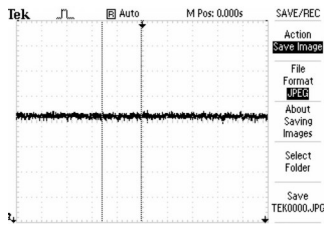
的应用策略,为进一步研究“毒刺”导引头探测与识别方法奠定基础。

## 参考文献

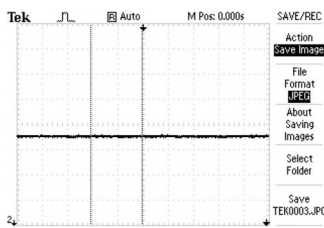
- [1] 周鼎新. 对美国第三代肩射红外防空导弹(Stinger Post)导引头特色的分析[J]. 红外与激光技术, 1984, 13(3):1-3.
- [2] 杨东升. 机载红外弹运动特性仿真技术研究[J]. 西北工业大学学报, 2009, 29(7):781-784.
- [3] 何国经,张建奇,徐军. 玫瑰扫描亚成像系统的性能分析[J]. 光子学报, 2004, 33(9):1127-1128.
- [4] 王卫华,黄宗福,何艳,等. 一种基于线阵扫描成像的红外搜索跟踪一体化系统设计[J]. 信号处理, 2010, 26(9):1312-1313.
- [5] Jahng S G, Hong H K, Choi J S. Clustering method for rosette scan images. U.S. Patent[P]. US6807307 B2, 2004.
- [6] Soltanizadeh H, Shokonhi S B. Increasing accuracy of tracking loop for the rosette scanning seeker using improved ISODATA and intelligent center of gravity[J]. Jour-

(下转第72页)

试得输出电压的范围为29.2~31.6 V,输出电压均值为30.4 V,纹波为600 mV,可以满足设计要求。



(a) 未接滤波电路输出



(b) 接入滤波电路输出

图9 有无滤波电路的实验结果

## 5 结论

文中研究和设计了固态光电倍增管的前置放大电路和电源电路,并进行了仿真和实验验证。仿真结果表明,设计的电路可以实现2 000倍的放大功能,输出电压的范围为29.2~31.6 V,输出电压均值为30.4 V,纹波为600 mV,可以满足设计要求。

另外在电路设计中,采用单电源运放,减少供电电源,利于电路小型化。

## 参考文献

- [1] 梁创,廖静,梁冰,等. 硅雪崩光电二极管单光子探测器[J].光子学报,2000,29(12):1142-1147.
- [2] 潘保武,郝晓剑,李伟,等. SSPM在蓝宝石光纤黑体腔瞬态高温传感器中的应用[J].中北大学学报,2011(5):622-624.
- [3] 陈森,张师平,吴疆,等. 光电倍增管光谱特性实验设计[J]. 大学物理实验,2013,26(1):27-29.
- [4] 赵文锦.光电倍增管的技术发展状态[J]. 光电子技术,2011,31(3):145-148.
- [5] 黄敏敏,朱兴龙.硅光电探测器的发展与应用[J]. 机械工程与自动化,2011,6(169):203-205.
- [6] 崔婷.瞬态表面超高温传感其技术研究[D]. 山西:中北大学,2010.
- [7] 海燕. 低噪声大动态范围前置跨阻放大器的研制[D]. 重庆:重庆邮电大学,2006.
- [8] 唐立田,张海英,黄清华,等. 一种高增益低噪声低功耗跨阻放大器设计与实现[J].电子器件,2009,32(3):566-569.
- [9] 张智河,李延玲,曲典.双极输出光电倍增管高压电源设计与实验研究[J]. 中国医疗设备,2013,28(3):31-33.
- [10] 李岩峰,郝晓剑,周汉昌.SPM光电探测技术及应用[J]. 电子质量,2013(12):41-44,50.

(上接第59页)

- nal of Applied Sciences 2008, 8 (7): 1159-1161.
- [7] 顾宪辉,鲍其莲. 红外成像寻的器技术研究[J]. 应用光学,2007,28(3):309-312.

- [8] 王卫华,黄宗福,何艳,等. 一种基于线阵扫描成像的红外搜索跟踪一体化系统设计[J]. 信号处理,2010,26(9):1312-1317.

### 欢迎利用期刊网站浏览本刊已发表文章

为了满足读者对《光电技术应用》期刊文章的快速、方便、阅读需求,《光电技术应用》期刊网站(网址为:<http://www.gdjsyy.com>),为读者提供了《光电技术应用》期刊2009~2014年已发表文章的在线浏览。读者可在过刊目录下,查阅2009~2013年期刊各期目录,点击文章题目或摘要,阅读文章全文。欢迎广大读者登陆期刊网站,及时了解《光电技术应用》期刊已发表文章的最新信息。

《光电技术应用》编辑部