

全向凝视红外多目标处理系统

李刚 闫宗群 何永强 陆旭光

(军械工程学院光学与电子工程系, 河北 石家庄 050003)

摘要 针对大视场红外多目标实时侦察和跟踪的急需,提出了一种基于红外鱼镜头的全向凝视型多目标跟踪和处理系统。采用红外鱼镜头和 512 pixel×512 pixel 硅化铂焦平面探测器组件实现对威胁目标的“全空域包容”和“全时域实时”侦测。设计双数字信号处理器系统的红外多目标处理系统硬件,实时进行多目标识别和跟踪算法的数据处理,给出了读出电路和逻辑框图。对某型机动目标进行了多目标的跟踪实验,采集到包含目标 1、目标 2 的序列红外图像。两目标的理论运行轨迹和实际解算出的运行轨迹比较,验证了系统工作的有效性和多目标跟踪的实时性。

关键词 传感器;红外鱼眼光学;多目标跟踪;凝视红外成像;硅化铂红外探测器;双数字信号处理器系统

中图分类号 TN219 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP48.062201

Omnidirectional Infrared Multiple Target Processing System

Li Gang Yan Zongqun He Yongqiang Lu Xuguang

(Department of Optics and Electric Technology, Ordnance Engineering College,
Shijiazhuang, Hebei 050003, China)

Abstract An omnidirectional staring multi-target tracking and processing system based on infrared fish-eye lens is proposed to satisfy urgent requirements of large-viewing-field infrared multi-target real-time reconnaissance and tracking. Utilizing infrared fisheye lens and 512 pixel×512 pixel PtSi thermal detector modules, the system can detect threat targets with the whole space-domain capacity and the whole time-domain real-time capability. The hardware of the infrared multi-target processing system based on dual-digital signal processor system is designed to implement data processing for multi-target recognition and tracking algorithms. The read-out circuit and the logical block diagram are presented. The multi-target tracking experiment for some motor targets is carried out, and infrared image sequences including targets 1 and 2 are acquired. Theoretical and experimental tracks of the targets are compared, and availability of the system and real-time capability of multi-target tracking are validated.

Key words sensors; fish-eye optics; multiple target tracking; fixation thermal imaging; PtSi thermal detector; dual-digital signal processor system

OCIS codes 220.3620; 260.3060; 100.2980

1 引言

一个性能优异的目标识别和跟踪系统必须要设法检测到来自任何方向不同目标的威胁,要想实现全向空间的实时探测,必须增大侦测系统的视场^[1~4]。目前扩大侦测视场的主要手段有三类:1)采用小视场扫描;2)视场拼接;3)超大视场全向凝视^[5,6]。小视场扫描技术要求方位和俯仰的双向扫描,扫描机构的存在不仅增大了系统规模,还引入更多干扰,降低系统可靠性。此外,低的重复频率还限制了对目标动态信息的侦测概率。视场拼接技术采用多个探测器,各自针对不同空域,以相互交迭模式覆盖侦测空间。同时要求后期图像处理时首先要完成场景的缝合,受边缘场景畸变所限,缝合处理效果往往差强人意。

收稿日期: 2010-10-26; **收到修改稿日期**: 2011-02-22; **网络出版日期**: 2011-04-19

基金项目: 军械工程学院科学研究基金(YJJXM08016)资助课题。

作者简介: 李刚(1973—),男,硕士,讲师,主要从事军用光电装备性能智能化检测和红外图像信息处理技术等方面的研究。E-mail: ligangopt@sina.com

随着大面阵红外探测阵列的发展,超大空域凝视红外目标跟踪和识别系统迅速发展。相对小视场扫描和多镜头拼接技术的制约因素,单机超大空域凝视无疑是代表着发展方向的实用技术。我国在超大空域凝视型光学系统研究方面居较高水平,尤其是长波和中波红外“鱼眼”镜头的研制成功,使得单光学通道能覆盖半球空域,可实现对威胁目标的“全空域包容”和“全时域实时”侦测^[7]。但与窄视场相比,超大空域凝视型系统要把更大的空域映射到相对较小的探测器面阵,图像分辨率大大下降,进入视场的场景也更加复杂以及光学系统的畸变等因素都加大了目标检测的难度。本文在解决这些难点问题基础上,提出了一种基于红外鱼眼镜头的多目标跟踪和处理系统,通过对某型机动目标进行了多目标的跟踪实验,验证了系统工作的有效性和多目标跟踪的实时性。

2 鱼眼镜头

通常的红外侦测系统瞬时视场都很小,为了扩大视场常采用光机扫描机构。扫描机构的引入无疑使系统结构复杂化。同时,由于扫描速率的限制,红外侦测系统不能充分发挥其实时响应特长,还会造成目标动态信息的丢失。为了克服这种缺点,不断设计出大视场的红外鱼眼镜头。通常认为当视场角在 60° 以上者为广角系统或叫大空域成像系统。而视场角在 100° 以上者为超广角系统。当视场角接近或者超过 180° 时就成为“鱼眼”透镜^[8]。

红外“鱼眼”透镜在设计时和普通镜头相比要遇到较多的困难。因透红外波段的材料少,像差设计的难度明显加大;同时透红外的材料折射率高,设计时会经常造成光线在折射面的全反射“溢出”;鱼眼镜头的视场角又要求特别大,在提高像面照度的均匀性时会遇到更多的问题。目前所能获得的红外焦平面阵列器件有效元尺寸都比较小,因此镜头的焦距必须很小,而同时要兼顾系统接收更多的红外辐射,入瞳孔径要足够大。所以,红外鱼眼镜头的 F 数(相对孔径的倒数)很小而视场角很大(接近或超过 180°)。

借助于 Aitkin 插值、调整系统结构参数,解决了传统红外鱼眼透镜自动优化中总是反复出现的光线溢出现象。借助于大量的光阑彗差,使物空间轴外斜光束的截面宽度大于轴上点光束,即利用像差渐晕改变像面照度的均匀性。通过对超大空域凝视红外系统的自动最优化设计,所使用的中远红外鱼眼透镜能凝视半球空域,且相对孔径大于 $3/4$,满足多目标处理系统的设计要求^[9,10]。

3 硅化铂探测器

随着肖特基技术和 CCD 技术的发展,硅化铂(PtSi)红外探测器发展迅猛,是目前发展最快的红外探测器,也是目前能制成像元最多的红外探测器。PtSi 红外探测器的响应范围是 $1\sim 6\ \mu\text{m}$,虽然有报道采用一些特殊工艺,可把波长响应范围扩大到 $7\ \mu\text{m}$ 或更长,但目前通用的 PtSi 红外探测器都工作在 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 中波红外波段。它的缺点是量子效率低,只有百分之几,而 HgCdTed, InSb 系列探测器的量子效率可高达 $50\%\sim 70\%$ 。但它的优点是成熟的硅平面工艺兼容,利于大规模生产,易于降低成本;而且它的响应均匀性很好,可达到 $0.3\%\sim 2.0\%$,而使用 HgCdTed 和 InSb 阵列时,焦平面响应像元间的不均匀性可高达 30% ,必须做大量的信号处理后方可获得修正图像^[11~13]。

采用 $512\ \text{pixel}\times 512\ \text{pixel}$ PtSi 焦平面探测器组件,该探测器动态范围大、灵敏度高、噪声低、透雾能力强,适于近红外成像和探测。PtSi 红外焦平面器件在用于全向凝视红外多目标处理系统时具有以下特点:

- 1) 能够把红外探测器有效地、高密度地封装在焦平面上,提高系统的空间分辨率;
- 2) 以凝视方式工作,可除去光机扫描结构,减少系统的体积和重量,降低功耗和费用,提高工作的可靠性;
- 3) 高度的光响应均匀性和信噪比;
- 4) $1/f$ 噪声不明显。

其主要技术参数如表 1 所示。

表 1 PtSi 焦平面探测器性能参数

Table 1 Performance parameter of PtSi detector array

Performance	Parameter
Detector array /pixel	512×512
Image element dimension / μm	30×30
Spectral response range / μm	1~4.7
Response heterogeneity /%	<2
Read out noise level /mV	<1
Average peak detectivity / $(\text{cm}\cdot\text{Hz}^{1/2}\text{W}^{-1})$	>1×1010

PtSi 探测器的输出时序关系如图 1 所示,读出电路工作流程如图 2 所示。

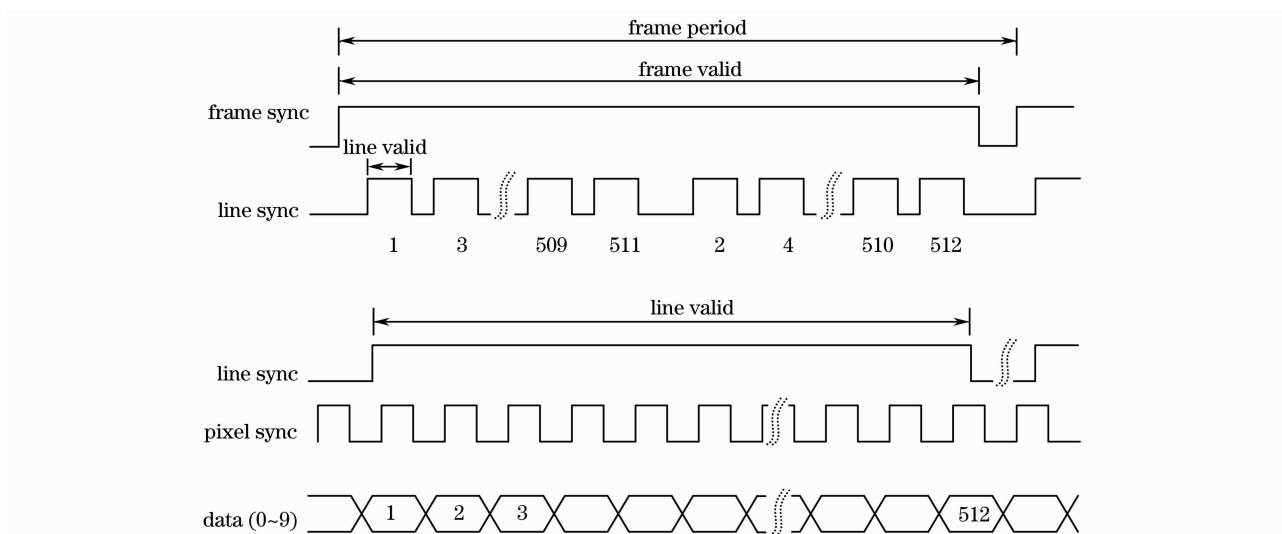


图 1 PtSi 探测器数据输出时序关系

Fig. 1 Output sequential relationship of PtSi detector

4 红外多目标处理系统硬件

凝视红外鱼眼多目标处理系统采用致冷型 PtSi 焦平面探测器组件,在探测器前端处理后的数字图像进入红外系统硬件电路进一步处理,得到多目标的航路、方位和速度等信息,并对威胁等级进行排序。如图 3 所示,系统硬件由图像采集模块 EPM7256、图像存储模块 IDT72LV235、图像处理模块 TMS320C6416T、逻辑控制模块 S3C2440、CAN 总线、级联模块和输出模块组成^[14~17]。系统工作时,由 PtSi 探测器送来的红外图像通过输入接口送至现场可编程门阵列(FPGA),逻辑判断后读取有效数据,然后送入缓存先入先出(FIFO)。FIFO 在 FPGA 的控制下对图像数据进行不间断存储。每场图像大小为 512 pixel×512 pixel×16 pixel 位,同步动态随机存储器(SDRAM)可以存储 100 场以上的红外数字图像。数据处理的算法存储在闪存(FLASH)中,数字信号处理器(DSP)复位/启动后从片外存储空间加载代码,然后执行程序,进行 DSP 的初始化以及算法的实现。多目标提取、识别、定位和排序等算法都在 DSP 中实现。多目标识别的处理结果通过 CAN 总线驱动器送给外部执行机构。采集到的原始图像中待处理的目标个数多时,单板系统满足不了系统快速反应的时间要求。为提高同步处理的速度,采取多级级联的方式,对多目标图像并行

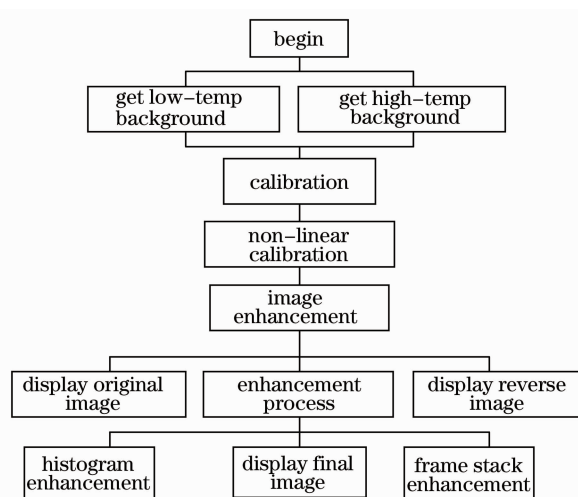


图 2 PtSi 探测器读出电路工作流程图

Fig. 2 Process chart of PtSi detector output circuit

流水处理,相对于传统的单级 DSP 处理系统^[11],提高了图像处理的速度和多目标跟踪的实时性。

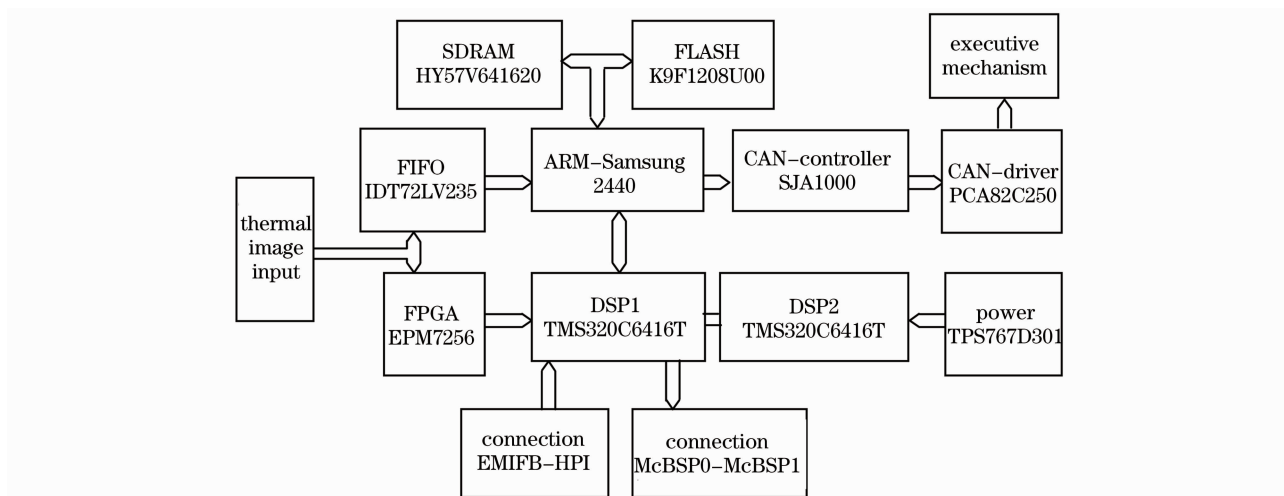


图 3 红外多目标识别系统硬件框图

Fig. 3 Hardware block diagram of infrared multi-target identifying system

5 多目标跟踪实验

在系统调试完成后,对某型机动目标进行了多目标的跟踪实验。采集到包含目标 1、目标 2 的序列红外图像,截取间隔 200 frame 包含目标 1 进入视场、目标 1 和 2 同时进入视场以及目标 1 偏离视场的三幅图像,如图 4(a)~(d)所示。

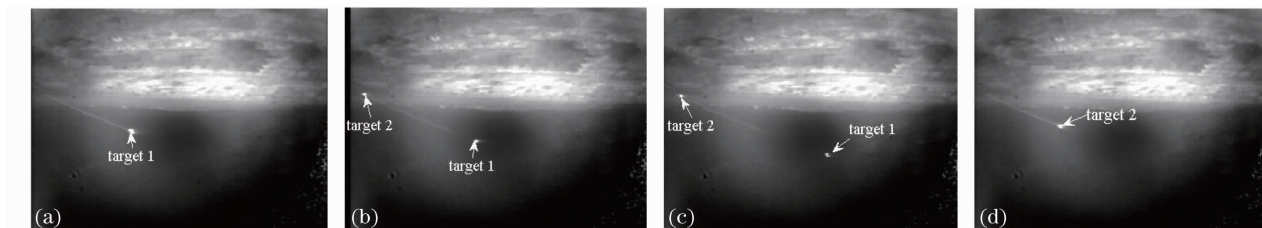


图 4 多目标实验红外采集图。(a)第 600 frame,(b)第 800 frame,(c)第 1000 frame,(d)第 1200 frame

Fig. 4 Infrared image of multi-target assay. (a) No. 600 frame, (b) No. 800 frame, (c) No. 1000 frame, (d) No. 1200 frame

其跟踪过程如下:全向红外凝视跟踪系统进入实时搜索目标状态,分别从视场的左上方搜索到目标 1 进入视场。目标 1 在全向跟踪视场内运行 5 s 之后,目标 2 由左上方进入视场内,多目标跟踪程序启动。在多目标系统作用 3 s 后,目标 1 方向偏离视场,同时目标 2 继续朝向红外凝视系统。

按照采集到多目标的位置信息,用拟合法做出目标 1,2 的理论运行轨迹,和实际全向红外凝视鱼眼跟踪

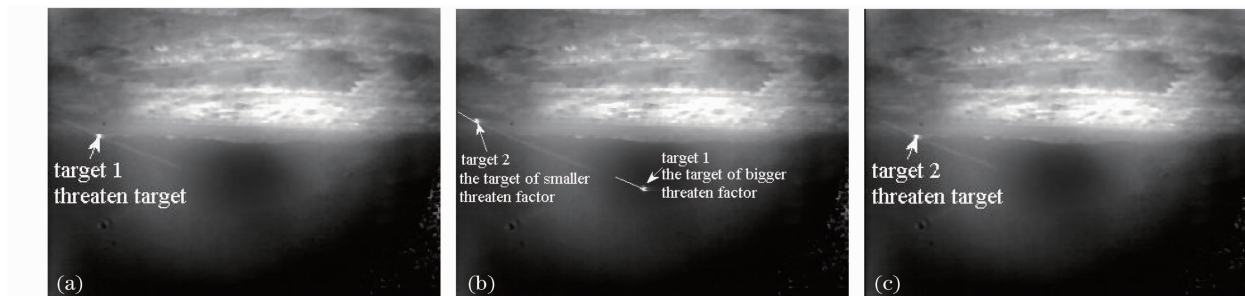


图 5 多目标跟踪轨迹。(a)目标 1 跟踪起始,(b)多目标同时跟踪,(c)目标 2 跟踪起始

Fig. 5 Motion trace of multi-target assay. (a) track initiation for target 1, (b) simultaneous track for multi-target, (c) track initiation for target 2

系统解算出的运行轨迹比较。在目标运行的初始段,跟踪开始采集到的离散数据较少,导致理论和实际相差较大。但随着跟踪时间增加,采集样本数增多,理论和实际轨迹逐步接近,最后随着目标偏离出视场,跟踪结束。系统解算出两目标的实际运行轨迹如图 5(a)~(c)所示,两目标的理论轨迹和实际轨迹的比较分别如图 6(a)~(c)所示。

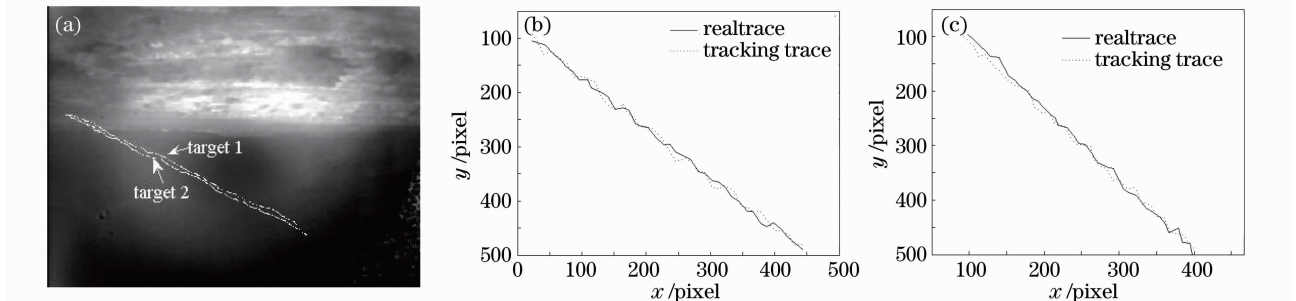


图 6 目标运动轨迹对比。(a)多目标轨迹,(b)目标 1 测试和理论轨迹比较,(c)目标 2 测试和理论轨迹比较

Fig. 6 Comparison of targets motion trace. (a) multi-target track, (b) experimental and theoretical tracks of target 1, (c) experimental and theoretical tracks of target 2

6 结 论

设计了可以全向凝视型工作的红外多目标处理系统,该系统采用红外鱼镜头和 PtSi 探测器采集全向空间的红外目标,通过双 DSP 系统的红外多目标识别系统硬件进行多目标识别和跟踪算法的数据处理。基于此系统,可实现对全向空间多目标的识别、航迹判断,多目标跟踪的实验证明该系统工作的有效性和多目标跟踪的实时性。

参 考 文 献

- 1 Luo Huan, Yu Lei, Liao Jun *et al.*. Tracking framework for small infrared multi-target in complex background[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(6): 1536~1541
罗 寰, 于 雷, 廖 俊 等. 复杂背景下红外弱小多目标跟踪系统[J]. *光学学报*, 2009, **29**(6): 1536~1541
- 2 Zhang Hui, Zhao Baojun, Tang Linbo *et al.*. Infrared object tracking based on adaptive multi-features integration[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(5): 1291~1296
张 辉, 赵保军, 唐林波 等. 基于自适应多特征整合的红外目标跟踪[J]. *光学学报*, 2010, **30**(5): 1291~1296
- 3 Liang Min, Liu Guixi. Multi-object tracking algorithm based on adaptive mixed filtering[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(9): 2554~2561
梁 敏, 刘贵喜. 基于自适应混合滤波的多目标跟踪算法[J]. *光学学报*, 2010, **30**(9): 2554~2561
- 4 Liu Danping, Zhang Lei, Guo Xiaoliang *et al.*. Novel approach for tracking accuracy enhancement in infrared spot image [J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(1): 186~189
刘丹平, 张 磊, 郭晓亮 等. 提高红外光斑图像跟踪定位精度的新方法[J]. *中国激光*, 2010, **37**(1): 186~189
- 5 Wang Yongzhong. Fish Lens Optics[M]. Beijing: Science Press, 2006. 7
王永仲. 鱼镜头光学[M]. 北京: 科学出版社, 2006. 7
- 6 Wang Yongzhong. Biomimetic staring infrared imaging omnidirectional detection technology[J]. *Chinese Science Bull*, 2010, **55**(19): 1859~1865
王永仲. 模仿生物视觉的凝视红外成像全向感知技术[J]. *科学通报*, 2010, **55**(19): 1859~1865
- 7 Sun Lihui. Infrared Small Target Detection Technology on Ultra-Wide-Fov Staring System[D]. Shijiazhuang: Ordnance Engineering College, 2007. 1~6
孙立辉. 超大空域凝视系统的红外小目标检测技术研究[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2007. 1~6
- 8 Wang Yongzhong, Zhong Qin, Liu Ju. Automatic optimization of IR fisheye lenses[J]. *Infrared Technology*, 1999, **21**(2): 4~6
王永仲, 钟 钦, 刘 菊. 获取超大空域热像信息的凝视光学系统设计[J]. *红外技术*, 1999, **21**(2): 4~6
- 9 Wang Yongzhong. Some key problems about the design of IR thermal imaging fish eye lens[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(7): 1078~1081

- 王永仲. 红外热成像鱼镜头设计中若干特殊问题的处理[J]. 光子学报, 2005, **34**(7): 1078~1081
- 10 Duan Qiqiang, Zhang Yue, Chen Xianya *et al.*. Design of compact infrared panoramic lens[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2010, **47**(2): 1~6
段其强, 张悦, 陈献亚等. 紧凑型红外全景镜头设计[J]. 激光与光电子学进展, 2010, **47**(2): 1~6
- 11 Yan Zongqun, Li Gang. Real-time infrared multi-target image processing system based on double TMS320DM642 processors[J]. *Applied Optics*, 2010, **31**(2): 562~566
闫宗群, 李刚. 基于 TMS320DM642 处理器的实时红外多目标图像处理系统[J]. 应用光学, 2010, **31**(2): 562~566
- 12 Xiong Ping, Zhou Xudong, Deng Guanghua. 512 pixel×512 pixel element PtSi schottky-barrier IR CCD image sensor [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2003, **24**(3): 154~156
熊平, 周旭东, 邓光华. 512 pixel×512 pixel PtSi 肖特基势垒 IR CCD 图像传感器[J]. 半导体光电, 2003, **24**(3): 154~156
- 13 Weng Xuetao, Yi Ping, Tang Zunlie. 128 × 128 PtSi high speed progressive scanning CCD [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2005, **26**(3): 177~179
翁雪涛, 易萍, 唐遵烈. 128×128 PtSi 高速逐行扫描 CCD 器件的研制[J]. 半导体光电, 2005, **26**(3): 177~179
- 14 Zhao Dayong, Dou Zhengwei. Analysis of application ofIRST system on airship[J]. *Infrared*, 2010, **31**(6): 15~18
赵大永, 豆正伟. 红外搜索与跟踪系统在飞艇上的应用分析[J]. 红外, 2010, **31**(6): 15~18
- 15 Du Hui, Guo Lei. A fast multitarget tracking algorithm for infrared targets[J]. *Microprocessors*, 2007, **6**(3): 56~58
杜辉, 郭雷. 一种红外多目标跟踪的快速算法[J]. 微处理机, 2007, **6**(3): 56~58
- 16 Zhang Ke, Liang Min, Zhang Wenluan. A target tracking method for work all-weather[J]. *Infrared Technology*, 2006, **28**(6): 334~338
张科, 梁敏, 张文峦. 一种新的全天候的目标跟踪技术[J]. 红外技术, 2006, **28**(6): 334~338
- 17 Zheng Changyong, Dai Yuehua, Chen Junning. System design of small target detection and tracking in infrared [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2009, **45**(34): 59~62
郑长勇, 代月花, 陈军宁. 红外小目标检测跟踪系统设计[J]. 计算机工程及应用, 2009, **45**(34): 59~62