

·信号与信息处理·

双参数加权的低信噪比面目标检测方法

刘俊杰, 刘哲

(中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300000)

摘要:针对传统恒虚警检测低信噪比情况下面目标性能下降问题,提出了基于均值和方差双参数检测的新方案。首先采用了目标与背景统计特性差异最大化准则,估计出待检测单元的均值和方差,并通过互乘待检测单元的均值和方差获得最终的检测图像,得到了最优均值和最优方差统计特性,再利用全局CFAR检测检测出目标,从而在保证一定检测概率的同时降低虚警概率。仿真结果表明,该方法对低信噪比面目标的检测性能优于传统的恒虚警检测。

关键词:面目标检测;恒虚警率;全局CFAR

中图分类号:TP274

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2015)-02-0052-05

Low Signal Noise Ratio Surface Target Inspection Method of Weighted Two-parameter

LIU Jun-jie, LIU Zhe

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

Abstract: According to the problem of surface targets performances debasing under the condition of traditional constant false alarm rate (CFAR) inspection and low signal noise ratio, a new inspection method based on mean value and variance two-parameter is proposed. Firstly, target and background statistical characteristic difference maximum rule is used to estimate the mean value and variance of the inspected unit. And the final inspection image is obtained through multiplication on the mean value and variance of the inspected unit to obtain the statistical characteristics of the best mean value and variance statistical characteristic. And then, global CFAR inspection is used to inspect targets to guarantee a certain inspection probability and reduce false alarm probability. Simulation results show that the inspection characteristics of the method for low signal noise ratio surface target is better than that of traditional CFAR inspection.

Key words: surface target inspection; constant false alarm rate (CFAR); global CFAR

检测是雷达信号处理器的主要功能,恒虚警检测技术在高分辨率的雷达图像应用非常广泛。在低信噪比时(6 dB以下),文献[1]给出OS-CFAR、CA-CFAR、MACCA-CFAR等几种CFAR检测方法在均匀背景下的检测概率均在0.1以下,因此低信噪比是制约信号检测性能的主要因素。为了达到高的目标发现概率及低的虚警率,常规的方法是多周期积累以提高信噪比^[2]。但由于雷达接收到的目标

回波是时变的,随着积累时间的增加,回波信号不再满足相干条件,所以在距离高分辨应用情况下,这种积累方法不但不能提高检测性能,甚至会导致检测性能的下降。

为了克服以上检测算法的缺点,提出了一种新型的针对低信噪比面目标的检测算法。文中根据均值与方差的统计特性,给出了面目标检测平滑窗尺寸的估计方法。基于平滑窗得出原图像的均值

收稿日期:2015-02-12

作者简介:刘俊杰(1986-),男,山东人,硕士研究生,主要从事电子工程方面的研究。

图及方差图,并将均值图与方差图加权乘积得到最终的检测图像,从而达到了最优均值和最优方差统计特性,因而能在之后的CFAR检测中保证一定检测概率的同时降低虚警概率。

1 信号模型

假设SAR系统有两幅天线同时接收信号^[3],两个通道接收的回波数据经过SAR处理后获得两幅在时间上具有一定延迟且具有相同几何特性的复图像,第 $k(k=1,2)$ 个通道SAR图像像素 y_k 表示如下

$$\left. \begin{aligned} H_0: y_k &= c_k + n_k \\ H_1: y_k &= s_k + c_k + n_k \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

其中, H_0 假设代表没有目标; H_1 假设代表存在目标; c_k 表示第 k 个通道的杂波; n_k 为第 k 个通道的高斯白噪声。设第一个通道的动目标信号为 s_1 ,则第二个通道的动目标信号为 $s_2 = s \times \exp(j\phi(v_r))$ ($\phi(v_r)$ 是径向速度为 v_r 的目标在不同的通道之间产生的相位差)。对均衡后的两幅SAR图像用沿航迹干涉(along-track interferometry, ATI)进行自适应的杂波抑制^[4],理想情况下,杂波干涉相位为零,可将杂波抑制掉。

考虑大多数战术目标(如坦克、战车、船只等)在高分辨合成孔径雷达图像中,每个目标都将占多个分辨单元而成为扩展的面目标。而对于上述刚性运动目标而言,各个分辨单元具有相同的径向速度,两幅SAR图像的干涉相位为^[4]

$$\phi(v_r) = \frac{2\pi}{\lambda} \times 2v_r \times \frac{B}{v_a} \quad (2)$$

式中, v_a 为载机速度; B 为基线长度; λ 为信号波长。由式(2)可得一个面目标内各分辨单元的相位都是相同的,文中主要针对此种类型的面目标进行检测。

2 算法描述

文中方法采用单元平均的方法估计均值平滑窗内像素的数据均值,得到检测图像的均值图。上述运算对同相的目标信号具有相干相加效果,可改善信噪比,从而提高检测概率。考虑信噪比较低,得到的均值图上比较亮的像素,除包含目标像素外,还有一部分来自噪声的像素。为了将面目标检

测出来,同时将亮点的噪声像素有效抑制,文中根据目标信号幅值的方差和背景幅值的方差存在差异,通过利用数据方差与数据均值的加权乘积,使得目标区域的加权高于噪声区域,使SAR图像中目标像素与噪声像素的差异更明显,从而在增加检测概率的同时减少了虚警率。由于两种假设条件下(H_0 、 H_1 假设)平滑窗内数据相干加权后的方差是相同的,因此可将方差平滑窗内像素幅值非相干加权后统计平均的方差作为数据幅值的方差,得到方差图,将方差图对均值图加权乘积得到最终的检测图像。这样就可以在之后的CFAR检测中提高检测概率,降低虚警率。

利用全局CFAR检测^[5-6]算法对最终的检测图像作检测,即将整幅背景场景非相干加权后的均值功率作为杂波功率 Z ,再根据设定的虚警概率求出门限系数 T ,阈值即为 TZ ,比较检测单元幅值与阈值做出检验判决。可以设计出双参数加权的检测算法的实现框图如图1所示。

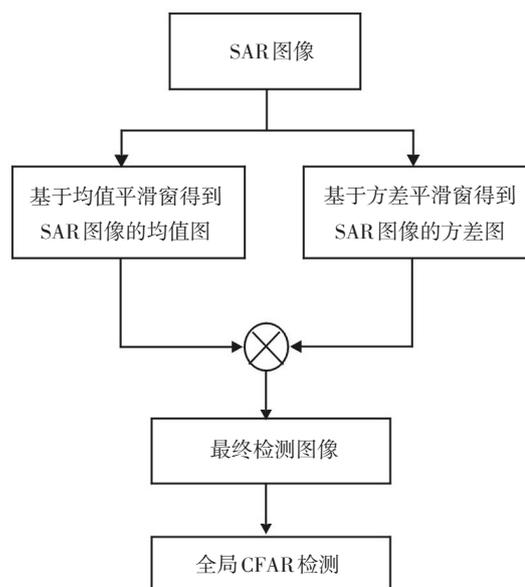


图1 双参数加权检测算法的实现框图

3 参数确定

3.1 均值平滑窗的确定

设以位于 (k,l) (k 代表方位向位置, l 代表距离向位置)处的检测像素为中心的平滑窗内的样本序列为 $\{y_{k,l}(i), i=1,2,3 \cdots N\}$,平滑窗内测试像素的数据

均值为 $z(k, l)$, 它的均值及方差如下

$$m_{z(k,l)} = E\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{k,l}(i)\right) = E\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^P s_{k,l} + n_{k,l}(i)\right] = \frac{P \cdot s}{N} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{z(k,l)}^2 &= \left\{ E\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_{k,l}(i) - E\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_{k,l}(i) \right] \right]^2 \right\} \\ &= \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \{ E[n_{k,l}(i) - E[n_{k,l}(i)]]^2 \} = \frac{\sigma^2}{N} \end{aligned} \quad (4)$$

式中, N 为选定平滑窗的大小; P 为包含在平滑窗内的面目标大小。

在 H_0 假设下 P 为零, 相应的均值为零。则 H_0 、 H_1 两种假设条件下均值存在差异, 而方差一致。由式(3)可得最优均值平滑窗 N 应为面目标大小, 此时可得到两种假设条件下均值差异最大。

现设 $P=9(3 \times 3)$, 给定 $P_f = 10^{-5}$, 噪声为 $\sigma^2 = 1$ 的高斯白噪声。根据文献[10]、文献[13]中提出的检测概率与 SNR 的关系, 由式(3)、式(4)可得, 选取不同平滑窗时得到的 $z(k, l)$ 的 SNR 不同, 因此可得到检测概率与平滑窗的关系。图2给出的是不同信噪比情况下检测概率的性能曲线。横坐标是平滑窗与面目标大小的比值 N/P , 纵坐标是检测概率。

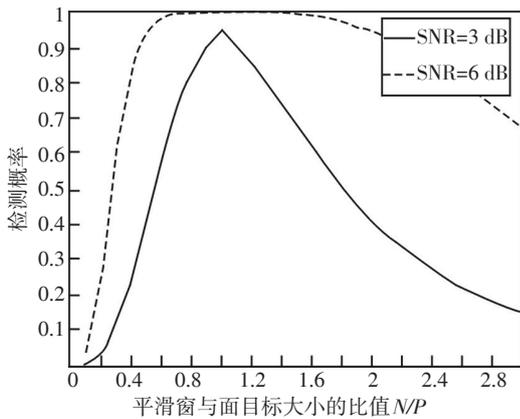


图2 检测概率与 N/P 的关系图

由图2可知, 初始信噪比越大, 均值平滑窗的选值区间就越大, 则均值平滑窗的选取值对检测概率的影响就越小。

3.2 方差平滑窗的确定

设以位于 (k, l) 处的检测像素为中心的平滑窗内的样本序列为 $\{y_{k,l}(i), i=1, 2, 3 \dots N\}$, 平滑窗内像素非相干加权后的统计平均的方差为

$$\begin{aligned} \sigma_{1(k,l)}^2 &= \left\{ E\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_{k,l}(i)| - E\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_{k,l}(i)| \right] \right]^2 \right\} \\ H_1 &= \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \{ E[|y_{k,l}(i)| - E[|y_{k,l}(i)|]]^2 \} = \\ &= \frac{P}{N^2} \{ E[|y_{k,l}(i)| - E[|y_{k,l}(i)|]]^2 \} + \frac{(N-p)}{N^2} \times \frac{(4-pi)}{2} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{0(k,l)} &= \left\{ E\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |n_{k,l}(i)| - E\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |n_{k,l}(i)| \right] \right]^2 \right\} \\ H_0 &= \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \{ E[|n_{k,l}(i)| - E[|n_{k,l}(i)|]]^2 \} \\ &= \frac{1}{N} \times \frac{(4-pi)}{2} \end{aligned} \quad (6)$$

式中, N 为选定的平滑窗的大小; P 为包含在平滑窗内的面目标所占的分辨单元个数。 N/P 值越大, 目标区域的加权相对噪声区域越不明显, 由方差平滑窗的选值原则得 N/P 的比值应选为 1~2 之间即可。图3是方差比值与 N/P 的关系图。由图3可知, 初始信噪比越大, 同样 N/P 条件下, $\sigma_{1(k,l)}^2 / \sigma_{0(k,l)}^2$ 越大, 目标区域获得的加权越大, 检测性能就越好。

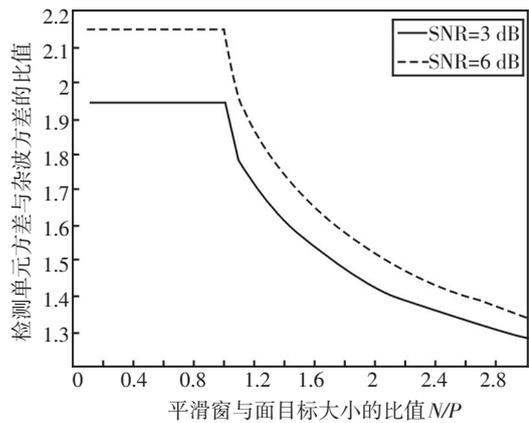


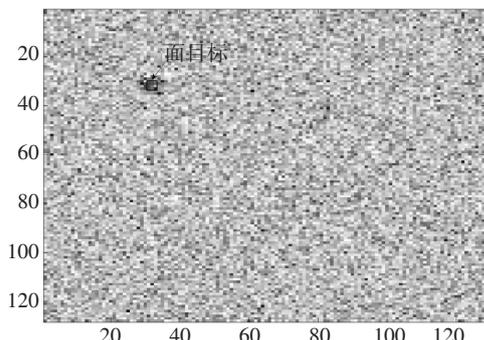
图3 方差比值与 N/P 的关系图

4 仿真结果与性能比较分析

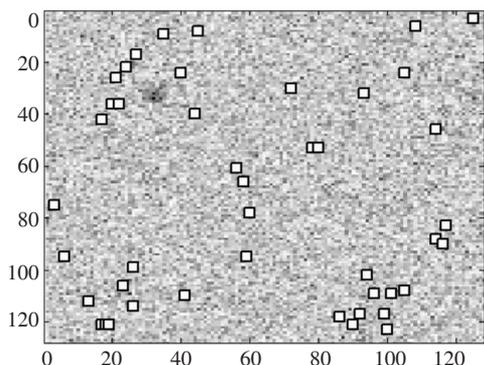
为验证文中所提出的方法对 SAR 图像中低信噪比时面目标检测的有效性, 仿真了若干幅低信噪比的包含面目标的 SAR 图像^[11-12]。用文中提出的方法和 CA-CFAR 检测算法以及位置相关的 SAR 图像中分布式目标检测算法^[9]对 SAR 图像进行目标检测, 并对所得出的结果进行对比分析。图4是一组处理 SAR 图像的检测结果。

图4a是仿真的原始图像。其中包含一个 3×3 的面目标。图像仿真参数如下: 场景大小 $128 \times$

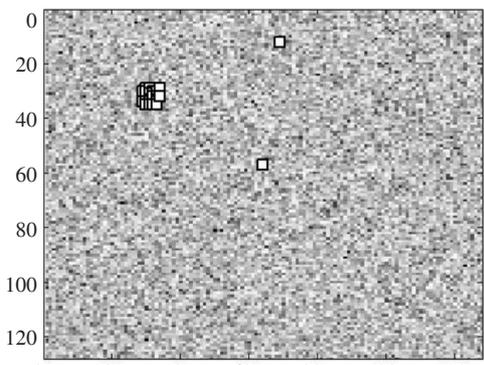
128, SNR 为 3 dB, 噪声为高斯白噪声, 面目标为幅值确定且各点相位一致信号。目标放置在[32, 32]附



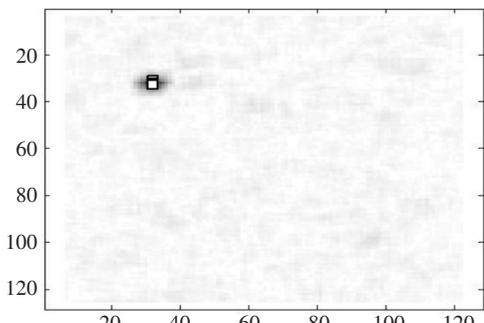
(a)原始图像



(b) CA-CFAR 的检测结果



(c)基于位置相关的检测结果



(d)文中方法的检测结果

图4 一组处理SAR图像的检测结果

近。图4中白框即为用下述方法检测出的目标。图4b为用传统的检测方法CA-CFAR检测的检测结果。由图中可看出,它基本检测不出低信噪比时的面目标。图4c为基于位置相关的面目标的检测结果^[9],虽已经知道面目标的形状参数,它仍存在两个虚警。图4d为文中方法的检测结果。由于文中是采用均值与方差双参数加权乘积的新型检测方法,在面目标占9个分辨单元时,为了达到最佳的检测效果,根据均值与方差的统计特性,选择方差平滑窗长度 $N=9$,均值平滑窗长度 $M=9$ 。由图4d可看出,通过结合了均值以及方差的统计特性,可有效去除强噪声造成的虚警,并将SAR图像中的面目标检测出来。对比图4中几种SAR图像检测算法的检测效果,可看出文中方法明显优越于前两种方法。

图5给出了在SNR=3 dB时不同虚警条件下几种方法的检测性能曲线。其中包括文中方法下的基于均值、基于均值与方差双参数的CFAR检测以及CA-CFAR的检测性能对比。由于输入的信噪比很低(3 dB),所以CA-CFAR的检测结果较差,随着虚警率的提高,此种方法的检测概率都小于0.1。可见在低信噪比时CA-CFAR检测方法性能很低。由图5可知,在同样的虚警概率下,CA-CFAR在三种方法中的检测效果最差。文中基于均值的CFAR检测在性能上虽然与CA-CFAR检测相比有明显的提高,却仍差于文中所提出的双参数加权检测算法的检测效果。表明所提出的双参数加权检测算法是一种针对低信噪比面目标的更有效的方法。

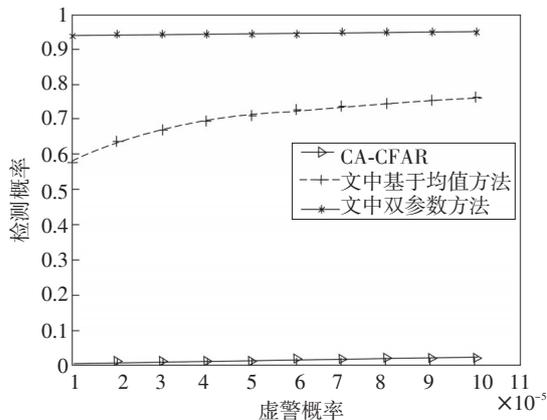


图5 几种检测方法的检测性能曲线

5 结论

根据均值与方差的统计特性,提出了基于均值

和方差双参数加权的新型检测方法。通过将数据均值与数据方差加权乘积得出新的检测图像,再利用全局CFAR的检测方法实现对SAR图像的面目标检测。文中对低信噪比面目标的检测进行了分析研究,从检测结果可知,所采用的检测方法相较于传统的CFAR检测有更好的检测效果。

参考文献

- [1] 曲超,赫程鹏,杨树元.基于自动删除算法的恒虚警检测器[J].数据采集与处理,2008,23(5):516-520.
- [2] 李海.微弱信号长时间积累检测研究[D].北京:北京理工大学,2002.
- [3] 王晓虹.SAR雷达信号处理技术研究[J].商丘职业技术学院学报,2007(5).
- [4] 郑明洁.合成孔径雷达动目标检测和成像研究[D].北京:中国科学院电子学研究所,2003.
- [5] Pham Q H, Brosnan T M, Smith M J T. Multistage algorithm for detection of targets in SAR image data[J]. SPIE, 1997, 3070:66-75.
- [6] Wang Y, Chellappa R, Zheng Q. Detection of point targets

in high resolution synthetic aperture radar images[J]. IEEE, 1994:9-12.

- [7] Finn H M, Johnson R S. Adaptive detection mode with threshold control as a function of spatially sampled clutter level estimates[J]. RCA Review, 1968, 29(3):414-464.
- [8] Rohling H. Radar CFAR thresholding in clutter and multiple target situations[J]. IEEE Trans. on AES, 1983, 19(3): 608-621.
- [9] 方学立,梁甸农,董臻.基于位置相关的SAR图像中分布式目标检测[J].电子与信息学报,2006,28(2):350-353.
- [10] Mark A Richards. 雷达信号处理基础[M].北京:电子工业出版社,2008:220-229.
- [11] 孙寒冰.合成孔径雷达原始信号的模拟方法[J].光电技术应用,2009(2).
- [12] 吕俊颖.雷达信号杂波的仿真与实现[J].现代导航,2012(4).
- [13] 周治平.一种雷达信号的处理检测办法[J].激光与红外,2010(4).
- [14] 黄德双.高分辨雷达智能信号处理技术[M].北京:机械工业出版社,2001:43-60.

(上接第6页)

在载机外部的部分已经大幅降低,不仅可以减少系统的气动阻力,而且也降低了系统的使用环境要求。同时,为了便于战斗机加装,正在开展光控阵技术研究,以使干扰激光在平台进行大机动时仍能稳定干扰导弹导引头。

5 结束语

随着威胁越来越先进,美国陆军、海军和空军的实验室都规划并发布了大量研究技术创新项目,以促进其在装备建设中的应用。在重大技术演示与发展项目上,海军的“联合联盟威胁感知系统”技术发展计划、陆军的“通用红外对抗”技术发展计划及空军的“全能哨兵”技术项目计划将为红外定向对抗装备建设的新发展提供支撑。

在未来10年,新一代红外定向对抗系统将逐渐渗透到世界各种作战飞机市场,红外定向对抗技术将得到进一步的发展。不断发展着的红外定向对抗系统,正向战斗机、大型运输机、预警机以及无人

机、舰船和地面车辆加速扩展。

参考文献

- [1] 孙宏拓,徐锦,王长青,等.定向红外干扰技术的现状与发展趋势[J].舰船电子工程,2006,26(4):13.
- [2] 张冬燕,王戎瑞.高功率中红外激光器的进展[J].激光与红外,2011,41(5).
- [3] 方有培,汪立萍,吕鑫.精确对抗技术的现状及其发展[J].航天电子对抗,2010,26(2).
- [4] 陈德富.国外红外定向对抗技术的发展[J].战术导弹技术,2011,(2).
- [5] 黄庆.红外定向对抗系统构型设计[J].红外与激光工程,2008,37(增刊).
- [6] 沈妮,刘刚,游屈波.模块化开放式系统架构在远程预警系统中的发展[J].电子信息对抗,2011,26(1):51.
- [7] 刘华.开放式系统标准与惯导系统设计[J].航空标准化与质量,2010,4(8).
- [8] 卞进田,聂劲松,孙晓泉.中红外激光技术及其进展[J].红外与激光工程,2006,35(10).

(下转第65页)

4 测试结果

利用上述处理系统,对输入双路图像数据进行了融合处理,使用TI公司的集成开发环境CCS中DSP的定时器技术对DSP1的预处理算法(DSP2预处理算法同DSP1)运行时间和DSP3的融合算法运行时间进行了测试。预处理算法的运行时间为21.2 ms,融合算法的运行时间为26.7 ms,小于40 ms,因此处理系统可以满足实时性要求。

5 结论

采用一种架构实现了对双路图像融合的实时处理系统的设计,采用的架构能够满足系统融合实时处理的需求,达到了设计要求。系统完成了硬件设计以及相关的验证,但为了使图像融合实时处理系统的性能更优,就要对融合算法实施优化设计。随着融合算法的改进,系统的性能将得到更好的发挥。

参考文献

- [1] 宋璞,董武侃,姜卫东. 双色红外图像融合在目标检测中的应用[J]. 现代电子技术,2011,34(16):58-60.
- [2] 舒志猛,陈素华.基于FPGA和DSP的高速图像处理系统[J]. 现代电子技术,2012,35(4):142-144.
- [3] 李秋华,杜鹃.双色红外图像目标多特征决策级融合识别算法[J]. 计算机工程与应用,2010,46(17):171-175.
- [4] 银志军,刘强.基于多DSP与FPGA的实时图像处理系统设计[J]. 光电技术应用,2012,27(1):76-80.
- [5] 陈素华,郭利辉.高速图像处理嵌入式系统的设计[J]. 许昌学院学报,2011,30(5):64-67.
- [6] 张晔,邵涛,严萌.基于DSP和FPGA的高光谱图像处理系统设计[J]. 光电技术应用,2010,25(1):56-60.
- [7] 邢素霞.基于DSP与FPGA的红外与可见光实时图像融合系统硬件设计[J]. 北京工商大学学报,2008,26(6):44-47.
- [8] 刘燕,陈兴文,李敏.基于DSP嵌入式实时图像处理系统的设计与实现[J]. 大连民族学院学报,2013,15(1):76-78.
- [9] 谢明,吉书鹏,段哲民.一种基于高速双DSP的柔性机载实时图像跟踪系统[J]. 激光与红外,2005,35(4):281-284.
- [10] 雷选华,闫森,马治国,等.基于EMIF接口的图像处理系统设计[J]. 光电技术应用,2014,29(3):30-33.
- [11] 郭卓锋,丁艳.基于DSP的实时图像处理系统的设计[J]. 光学技术,2004,30(1):78-80.
- [12] 周渝斌.基于CPLD+DSP的实时数字图像稳定系统[J]. 电子设计工程,2010,18(6):170-173.

(上接第56页)

- [9] 赵霜.红外成像制导及其干扰技术[J]. 红外与激光工程,2006,35(10).
- [10] 丁全心.光电探测与制导技术在机载成像系统中的应用与展望[J]. 红外与激光工程,2007,36(增刊).
- [11] 胡志鹏,李耐和.机载红外对抗系统[J]. 红外,2005(11):31.
- [12] 刘志春.国外先进战斗机的光电自卫系统[J]. 激光与红外,2009,39(1):3.

本刊声明

《光电技术应用》期刊因故通信地址变更为天津市空港经济区纬五道9号,300000。因相关手续正在办理中,现暂用旧的通信地址和邮发代号,即辽宁省锦州市31号信箱19分箱,121000,原邮发代号8-314。特此声明。

《光电技术应用》编辑部