

文章编号: 1001-5078 (2006) 08-0665-03

基于 DSP + FPGA 的红外焦平面像素倍增技术

王利平, 陈 钱, 顾国华, 张保民
(南京理工大学电子工程与光电技术学院, 江苏 南京 210094)

摘 要: 文章讨论了非制冷红外热像系统的总体性能, 分析了影响该热像仪综合性能的主要原因, 提出性能改善的基本方法, 介绍了独特的虚拟电子微扫技术的基本原理及实现方法。针对远处小目标红外图像的有用信息进行了放大处理。采用 DSP + FPGA 的架构在硬件平台上得到了实现。实验证明: 虚拟电子微扫技术有利于识别目标, 效果良好。

关键词: 虚拟电子微扫描; 红外焦平面; 像素倍增; 红外图像
中图分类号: TN215 **文献标识码:** A

Image Pixels Enhancing Technique for IRFPA Based on DSP + FPGA

WANG Li-ping, CHEN Qian, GU Guo-hua, ZHANG Bao-min
(College of Electronic Engineering and Opto-electronic Technique,
Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: In the paper, the capability of the uncooled thermal imaging system is discussed. The primary reason affecting the integrated capability of thermal system and the basic method of increasing the capability are analysed. The basic principle and the realizing method of the original dummy electric micro scanning technique are introduced. The useful information for infrared image of the far small target is zoomed out. The real-time image processing is engaged in by using DSP + FPGA structure. Results show that the dummy electric micro-scanning technique is propitious to recognize target, and the effect is well.

Key words: dummy electric micro-scanning; IRFPA; image pixels enhancing; infrared image

1 引言

非制冷红外焦平面作为一种热探测器, 尽管有成本低、工作可靠等显著优点, 但本质上存在两大技术弱势, 主要是探测率 (D^*) 与时间常数方面均与制冷型红外光子探测器相差大致有几个数量级之多^[1]。

非制冷红外焦平面由于是凝视型工作, 这意味着并行工作的探测元数目很多, 因而尽管 D^* 低, 现在可达到约 0.1K 这么低的 NETD, 但与现代制冷型红外热像仪相比, 仍有相当差距。考虑到非制冷红外焦平面由于探测单元热绝缘要求的结构原因, 面阵单元间距与排布密度受到限制, 空间尼奎斯特频率不够高, 由此而导致真正表达热像仪综合性能

(温度与空间分辨力) 的 MTF 特性, 相对仍比较低。

基于上述原因, 非制冷红外焦平面热像仪目前已有广阔的民用市场, 但在军用上, 主要还只是局限于轻武器近距离应用。本文旨在研究基于非制冷红外焦平面的整机系统技术, 即发展相应的创新技术, 达到进一步改善系统温度与空间分辨力的目的。重点研究了非制冷红外焦平面系统总体技术中的微扫描技术。

基金项目: 国防预先研究项目 (No 40405050303)。

作者简介: 王利平 (1964 -), 女, 博士, 副教授, 主要从事光电子技术, 红外成像与探测等方面的教学与科研, 发表论文 40 余篇。

收稿日期: 2006-03-14; 修订日期: 2006-04-24

2 电子微扫技术

微扫技术由于使红外焦平面的尼奎斯特频率可以成倍增加,而大大有利于提高系统的空间分辨能力。初步研究表明,存在两个主要问题将限制它的军事应用,一是由驱动元件电容导致的电源体积与重量的偏大;二是提高空间分辨能力的同时,如果保持全景帧时间不变,必将相应降低系统的热灵敏度。而恰恰是非制冷红外焦平面本来其热灵敏度就相对较低。为此,我们将在研究机电微扫描技术的基础上,重点发展既可改善系统空间分辨能力,又同时不使热灵敏度下降的电子微扫技术。

该创新技术基于以往我们关于热像二维直方图相邻单元相关特性的定量分析^[2],采用可使尼奎斯特频率提升的双向邻域外推方法^[3],并以硬件电路实时实现。

提出的虚拟微扫技术即电子微扫技术,其实质是以未经微扫的原图像数据为基础,采用焦平面微区的领域双向线性外推方法,基于二维直方图统计分析明确指出的红外图像具有很强的(明显高于可见光图像)相关性,而可以以一定精度获得其真实微扫数据的技术。而通常采用线性内插,甚至采用样条函数法内插,由于都是一种平滑运作,因而不可能实现微扫技术所能够实现的像质改善以及分辨率提高的目的。

虚拟微扫与内插方法的本质区别,在于这种微扫邻域外推技术,不单只是建立在相邻红外探测单元之间的高度相关性,而且考虑到同时体现在领域单元灰度变化趋势相互关联上的图像构成的自然连贯性。因此,内插法提供出的插值数据,与被插值的两相邻单元一起,在约定为探测单元间距尺寸线度的微区,灰度曲线只具有固定一种符号的导数。而虚拟微扫,则可以在这种微区中体现导数符号变异,即可使灰度曲线出现拐点,这意味着,焦平面经虚拟微扫运作,可使入射图像被传输的空间频谱极限提高至原来的两倍。

3 基于 DSP + FPGA 红外焦平面倍增处理系统设计

本文设计的红外焦平面像素倍增处理系统采用 DSP + FPGA 的架构^[4-6],其基本结构如图 1 所示。

红外热像仪输出的视频信号经过集成视频处理 A/D 之后,输出 8 位数字信号和相关的视频时序信号(经过锁相的像素时钟、行同步、场同步以及奇偶信号等)。FPGA 是本系统的核心部分,实现本文提出的算法;SRAM 阵列是存放图像的,用于算法的实

现;FLASH 程序存储器存放 DSP 的运行程序;FPGA 配置 FLASH 存放 FPGA 的配置程序;D/A 及视频合成实现由数字信号向模拟信号转变,并将模拟信号与同步信号进行生成全电视信号。

在对图像进行处理过程中,SRAM 一直都处于读写状态,即在一个像素时钟内完成一次读操作和一次写操作。按照红外焦平面像素倍增处理算法,在像素时钟的高电平期间内从 SRAM 中读取图像数据;读取数据后在 FPGA 中进行移位,每个像素时钟到来时移位一次,再根据公式算出该点的值;在像素时钟的低电平期间向 SRAM 中写入图像数据,完成数据的更新。其中控制逻辑以及 SRAM 的时序通过 FPGA 由 VHDL 语言编程实现。

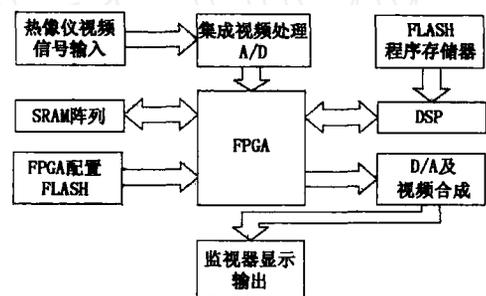


图 1 红外焦平面像素倍增处理系统总体结构框图

Fig 1 the frame of RFPA image pixels enhancing system

4 红外焦平面像素倍增处理结果与分析

对于不同的场景图像,可以不必全部采用整体放大技术,可根据具体的图像特征,针对图像的有用信息进行放大处理。图 2 为远处小目标的像素倍增处理结果。图 2(a)为原始红外图像;图 2(b)为图 2(a)中实线框小目标的像素倍增处理结果;图 2(c)为图 2(a)中虚线框小目标的像素倍增处理结果。



(a)原始红外图像 (b)处理结果 1 (c)处理结果 2

图 2 针对远处小目标的放大处理

Fig 2 zooming of the far small target

双向线性外推像素倍增算法^[3]在硬件平台上得到了实现,由图 2 的红外图像像素倍增处理结果可以得出:

1)对于边缘层次差别比较明显的目标来说,外推放大技术可以大大地减小传统处理方法带来的边缘锯齿效应,使图像的马赛克问题降到最低,图像变得柔和,更容易符合人眼的观察,利于识别目标。当

需要对目标进行多次倍增处理的时候,外推处理技术的优势更加明显;

2)不同的图像和处理目标,处理效果不完全相同。我们主要针对红外热像仪信号进行处理,观察的主要是远方的目标,在这样的基础上对于远处几厘米尺寸比较小的目标,经过像素倍增处理之后可以更详细、更真切地被观察和识别,处理效果明显;

3)任何算法在发挥其作用的同时都有一定的局限性,对于细节比较多的目标来说,本处理方法仍出现了不足之处。那就是由于倍增像素灰度级的存在,图像在变得柔和并贴近自然的同时产生了平滑,部分细节变得模糊,从而影响了目标的识别。对此,我们必须进一步改进算法来减小图像处理中的消极作用;

4)算法改进措施可以从两个方面考虑:一方面是在进行倍增处理之前首先选定一个灰度差别域值,如果相邻像素灰度差别达到这个域值,我们可以选用传统倍增处理方法;另一方面是和图像边缘提取处理配合起来,将会得到更好的效果;

5)像素倍增技术不是孤立的红外焦平面处理技术,它是和其它图像处理技术相互配合共同发挥作用的,诸如:2D - TD 技术、直方图均衡技术、噪声处理技术等。它们共同组成了红外焦平面处理系统,本工作只是针对其中的一个模块。

参考文献:

- [1] 张保民. 成像系统分析导论 [M]. 北京:国防工业出版社, 1992
- [2] Wang Y. Real-time video displaying technique for LLL digital image accumulation [A]. Proc. SPIE, 1998, 3530: 199 - 202
- [3] 顾国华,冯国进,陈钱,等. 自适应虚拟电子微扫描红外焦平面像素倍增技术 [J]. 光电子技术, 2004, 24 (4): 243 - 245.
- [4] 吴豫,孟宪元. Flash编程器的 FPGA 实现 [J]. 半导体技术, 2003, 28 (5): 48 - 51.
- [5] 张少华. 红外焦平面阵列像素倍增技术研究 [D]. 南京:南京理工大学,硕士学位论文, 2003
- [6] Harris J G, et al Minimizing the "ghosting" artifact in scenebased Nonuniformity correction [A]. Proc. SPIE, 1998. 3377: 106 - 113.

(上接第 656页)

表 2 分析结果

灰度值	BP神经网络算法		最小二乘法	
	原始温度	最终温度值	原始温度	最终温度值
66.2	20	20.259	20	21.441
70.6	22	21.672	22	22.726
76.2	24	23.793	24	24.340
83.6	26	26.830	26	26.435
85.8	28	27.696	28	27.049
91.2	30	29.628	30	28.542
100.2	32	32.189	32	30.978
107.6	34	33.891	34	32.933
115.4	36	35.529	36	34.948
132.0	38	38.969	38	39.077
138.0	40	40.242	40	40.516
145.6	42	41.882	42	42.298
152.8	44	43.456	44	43.944
165.0	46	46.143	46	46.641
171.6	48	47.595	48	48.052
183.2	50	50.115	50	50.488
190.6	52	51.688	52	51.921
204.2	54	54.474	54	54.516
211.6	56	55.921	56	55.868
223.2	58	58.074	58	57.899
237.8	60	60.565	60	60.306
243.0	62	61.390	62	61.123
剩余平方和		3.937		19.029
剩余标准差		0.433		0.952

4 结 论

通过所做的实例验证了,采用 BP神经网络算法拟合实验曲线不需要预先知道待拟合曲线的方程形式,只需根据系统的输入值及其对应的输出值即可进行拟合。与最小二乘法拟合相比,BP神经网络算法拟合曲线的过程是全局寻优,拟合结果更加准确,尤其当变量间的非线性关系复杂,用最小二乘法不能拟合实验曲线时,该算法拟合实验曲线的优越性就更加突出了。

参考文献:

- [1] 郝继平,杜成功,黄平华. 红外标定理论计算与应用 [J]. 应用光学, 2004, 25 (2): 36 - 39.
- [2] 乔立山,王玉兰,曾锦光. 实验数据处理中曲线拟合方法探讨 [J]. 成都理工大学学报, 2004, 30 (1): 91 - 95.
- [3] 包健,赵建勇,周华英. 基于 BP网络曲线拟合方法的研究 [J]. 计算机工程与设计, 2005, 26 (7): 1840 - 1842
- [4] Elsken T Even on finite test sets smaller nets may perform better [J]. Neural Networks, 1997, 10 (2): 369 - 385.
- [5] Russell R. Pruning algorithms a survey [J]. IEEE Transaction on Neural Networks, 1993, 4 (5): 740 - 747.