

模块化热图再现技术研究

曾朝阳¹, 戴琼松¹, 郭乐勤², 贾云鹤¹, 吕绪良¹

(1. 解放军理工大学工程兵工程学院伪装工程教研室, 江苏 南京 210007; 2. 西安通信学院, 陕西 西安 710106)

摘要:为解决红外示假技术中的可控性问题,提出了利用模块控温实现热图再现的技术途径。通过类比LED显示技术,指出只要将LED显示单元更改为电热模块,并利用功率控制器件来控制模块的加热功率,就可以再现任意的热图。利用碳纤维增强的高分子复合材料制备了发热模块,并对其物理性能进行了测试,结果表明这种模块完全满足热图再现的技术要求。最后,用64个电热模块、一台笔记本电脑、一台可编程控制器以及24V蓄电池电源构建了热图再现系统。试验测试表明,这样构建的热图再现系统可以清晰再现目标的热图。这些工作对于可控热红外伪装有很好的参考价值。

关键词:电热模;空间分辨率;温度分辨率;热图

中图分类号:TN972+.43 **文献标识码:**A

Investigation on modular reappearing technology for infrared images

ZENG Zhao-yang¹, DAI Qiong-song¹, GUO Le-xun², JIA Yun-he¹, LÜ Xu-liang¹

(1. Engineering Institute for Engineer Corps, PLA Science and Technology University, Nanjing 210007, China;
2. Xi'an Communication Institute, Xi'an 710106, China)

Abstract: For the purpose of controllable IR camouflage, the method reappearing infrared image by temperature controlling modular is presented. By comparing LED display technique, it is pointed out that if the LED display module is changed with electric thermal modules, and the heat power for modules is controlled by programmable power controller, infrared image can be reappeared. The electric thermal module is made of macromolecule material strengthened by carbon-fibre. The experimental test indicates that the module's physical performance satisfies with the infrared image reappearing technique completely. Finally, with 64 electric thermal module, a notebook PC, a PLC controller and 24 V storage battery, the infrared image reappearing system is made. Experimental tests indicate that the system can reappear the infrared image of target vividly. These work will have good referenced sense to controlling infrared camouflage.

Key words: electric thermal module; space resolving rate; temperature resolving rate; infrared image

1 引言

当前红外侦察与红外制导技术对我重要目标的安全构成了严重的威胁,研究有效的对抗措施是红外伪装技术研究的当务之急。红外伪装的特殊之处在于,目标背景的红外特征(主要是温度)总随时间和环境情况而变化,这使得红外伪装技术必须强调可控性^[1-3]。以往的很多研究重点关注红外伪装所用的材料,以及对特定器材进行加热或降温的措施。这些措施旨在把特定目标的空间平均温度控制一定的范围。随着技术的不断进步,红外探测的温度分

辨率和空间分辨率不断提高,迫切要求红外伪装技术对目标的热特性进行更为精细的控制,这既包括对目标温度空间分布的控制,也包括对目标温度的时间变化控制^[2-3]。为应付红外探测带来的挑战,本文提出模块化热图再现的技术。该技术的出发点

基金项目:江苏省无机及其复合新材料重点实验室开放课题(No. Wjjqfhexcl200705)资助。

作者简介:曾朝阳(1967-),男,副教授,从事伪装技术与伪装材料研究工作。E-mail: zengzy1212@hotmail.com

收稿日期:2009-06-25; **修订日期:**2009-08-21

是利用多个模块拼装成发热板,而通过对每个模块加热功率的单独控制,最终再现特定的热图。

2 模块化热图再现的技术思路

利用多个模块形成特定图像在光学上已经是很成熟的技术,比如 LED 显示系统,利用成百上千的发光二极管构成平面,而通过控制每个发光二极管的发光情况,就能够实现光学图像的可控显示。不难想象,如果把发光二极管换成电热模块,通过控制电热模块的温度,就能够得到所需要的热图。基于这样的考虑,可以设想如图 1 所示的热图再现系统。系统由电源、上位电脑、控制器和发热板组成,而发热板(如图 2 所示)包含多个电热模块。具体应用时,通过电脑把需要再现的热图发送给控制器,控制器依据热图像素的灰度来控制相应电热模块的加热功率,最终发热板将再现所发送的热图。

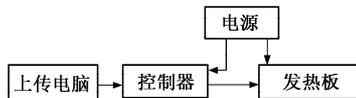


图 1 热图再现系统组成示意图

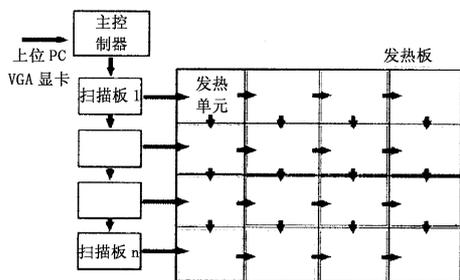


图 2 多模块组成的发热板与控制电路示意图

对于图 1 这样的热图再现系统,其再现的图像由电脑传送,因此原则上它可以再现任意的热图,也就是说系统具有多用性。另外,如果需要再现的热图具有动态特性,则只需要上位电脑在不同时间发送不同的热图即可。比如,事先在上位电脑中存储目标在一昼夜间各时刻的热图,然后按照一定的时间间隔依次发送给控制器,那么发热板就能够再现目标的红外特征变化过程。这种多用性和可控性对于红外伪装而言是非常重要的。

3 电热模块的制备和热特性

3.1 电热模块的制备

通过前面的分析,可知热图再现系统的关键在于电热模块。电热模块的面积和热特性将是决定所再现的热图的逼真度。电热模块的面积是最终系统控制发热板温度的最小区域,因此面积越小,再现的热图的细节越逼真。不过模块面积越小,则发热板中模块的数量也越多,系统的电路复杂性和成本也

因此而增加。所以,电热模块的面积应与红外成像侦查的空间分辨率相适应即可。目前先进的卫星光学探测系统的空间分辨率在 0.1 m 左右,可以肯定红外探测系统的空间分辨率将无法超过这一指标。因此,将红外热图再现模块的尺寸定为 10 cm × 10 cm 是保守而有把握的。

就热特性而言,电热模块的热惯量越低,则对其加热控温所需的功率以及温度稳定的时间就越小,越有利于整个系统的实现。另外,考虑到实际应用,电热模块还应该具有适当的力学性能和耐腐蚀性能。经过反复调研和技术分析,我们认为碳纤维增强的高分子复合材料最为适合,用这种材料制备的电热模块具有密度轻、热惯量低、热辐射效率高、柔软可折叠、电性调整余地大、抗腐蚀性能强等一系列优点。具体制备中,将长的碳纤维随机分布于高分子材料中,并适当添加导电碳浆,经热成型而得到电热模块。成品的模块如图 3 所示,其中碳纤维的分布隐约可见。

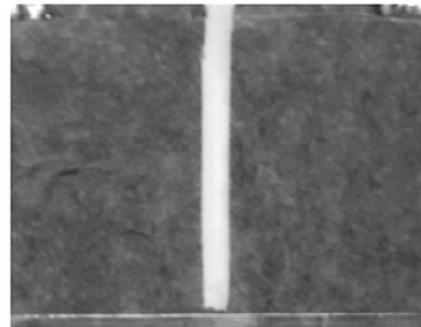


图 3 电热模块的照片

3.2 电热膜的热特性

对样品进行热性能测试,是要考察其热性能是否符合热图再现的要求,考察的主要方面有:

- (1) 模块的加热功率与其辐射温度的关系曲线;
- (2) 在一定加热功率下模块的温度时间关系曲线;

考察加热功率与模块辐射温度的关系,是为理解模块再现时的温度控制精度和范围,因为最终热图再现系统中模块的温度必须要能够模拟真实目标的温度变化,而且温度的控制精度应该满足热红外伪装的要求。考察一定功率下模块温度随时间的变化,则是要了解模块温度的响应速度。

利用测量到的模块的加热功率与辐射温度数据(如图 4 所示),原则上可以分析出模块温度控制的精确性。当环境因素一定时,模块的温度 T 取决于加热功率 P ,即:

$$T=f(P) \quad (1)$$

因此,系统对加热功率的控制精度功率将决定系统中模块温度的控制精度,即:

$$\Delta T = \frac{\partial f}{\partial P} \Delta P \quad (2)$$

式中, $\partial f/\partial P$ 可以从图4所示的测试曲线中得到,而加热功率的控制精度取决于电源和控制器。在我们设想的系统中,控制器能够将电源电压分成255个等级输出,假设电源电压为24V,则电压的控制精度为 $\Delta V = 24/255 \approx 0.1$ V。电热模块的加热功率为

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (3)$$

因此:

$$\Delta P = \frac{2V}{R} \Delta V \quad (4)$$

将式(4)代入式(2),并利用图4中的数据,可以得到 ΔT 的最大值为 0.05 °C。这种精度不仅远远低于红外伪装的常规要求,也远远低于目前最先进的红外热像仪的温度分辨率^[4]。这充分说明利用模块化技术再现热图在温度控制方面完全可以满足伪装要求。

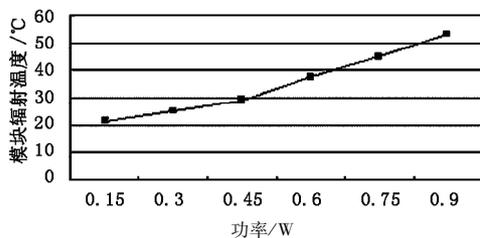


图4 模块的功率温度曲线(室温20 °C条件下)

4 热图再现系统的设计与实现

4.1 再现系统的设计和工作原理

将真实目标的热红外图像经过数字处理后,在上位PC机,即一台通用的个人电脑上显示,上位电脑的VGA显示信号控制发热板上的各发热单元电流的变化,从而产生不同的发热量,再现出原热红外图像。

热图像再现的关键技术在于各发热单元能够按需要发出不同的热量,从而形成热图像。发热量的控制实际上是对通过发热单元上的电流的控制。对电流的控制有两种方法:一是电流的大小,二是电流导通时间的累积长短。后者可以被称为“占空比控制”调节方式。在对可编程控制器的特性进行调研后,我们了解到可编程控制器扫描频率通常远高于加热模块的热响应频率,因此采用占空比的方式不适合用于热图再现系统,除非针对热图再现系统研

制专用的可编程控制器。本方案拟采用电压大小调节的方式,这种方式很容易就可实现对加热电流的调节。发热板的组成和控制电路的基本示意图如图2所示。

4.2 可编程控制器的特点、组成及工作原理

在整个热图再现系统中,控制器是非常关键的硬件设备,它直接依据上位电脑的输入信息对各再现模块所连接的场效应管栅极电压进行控制,从而使得多模块组成的发热板形成所需要的温度分布。控制器的选择将最终决定热图再现系统的电路复杂性程度,同时也决定着系统的工作方式。

为简化系统电路的复杂性和提高热图再现系统的适应性,经过分析研究,我们决定选用可编程控制器(PLC)作为系统的电路控制器件。相对于传统的继电器控制系统,可编程控制器将许多功能交由软件实现,因此电路的复杂度大大降低。又因为软件很容易更新,采用可编程控制器的系统能够适应多种要求,其所承担的任务的弹性也大大提高。可编程控制器从一诞生就把微型计算机的功能完善、机动灵活和继电器系统的简单易懂、操作方便等特点集中在一起,为电气系统功能多样化和结构简单化提供了条件^[5-6]。

PLC采用扫描原理来工作,工作方式采用循环扫描的方式,工作过程一般包括五个阶段:内部处理,与编程器等的通信处理,输入扫描,用户程序执行,输出处理。

4.3 EQUAL LED灰度控制器及其操作软件

EQUAL LED灰度控制器是EQUAL研发并发行的可编程控制系统,广泛应用于LED显示控制。从技术角度看,我们所设计的热图再现系统与目前成熟的LED显示控制系统有很多相似之处,都是通过控制器实现对多个显示单元的独立控制。所不同的是,LED显示技术直接通过控制器就实现对发光二极管的控制,而在我们的热图再现系统中,控制器件控制的是再现模块的功率器件场效应管,再由场效应管是实现模块温度的控制。可是,如果我们把场效应管与再现模块看成一个整体,则热图再现系统与普通的LED显示系统没有本质上的区别。这就是我们选用EQUAL LED灰度控制器的原因。该设备的另一优势是,其配备的软件(名称“EQ一线通”)运行在普通个人电脑或笔记本上,所以针对控制器的操作命令基本上也通过该软件进行,这使得人机界面的友善程度大大提高。图5是EQUAL LED灰度控制器及其转接板的照片,图6是该设备

软件的操作界面。



图5 EQUAL LED 及其转接板



图6 EQUAL LED 软件的操作与显示界面

在电流型的晶体三极管中,基极注入电流的大小,直接影响集电极的电流大小,基极相当于一个电流式的控制极。场效应管的栅极就相当于三极管的基极,构建系统时将栅极与控制器的输出相连。因此,通过控制器对不同再现模块所连接的场效应管发送不同的栅极电压信号,从而影响再现模块的加热功率,进而达到控制再现模块辐射温度的目的。

4.4 热图再现系统的实现

作为热图再现系统的模型,我们选择 64 个再现发热模块、64 个场效应管、24 伏特直流电源、笔记本电脑、EQUAL LED 灰度控制器及其转接板、若干集成电路片(2 片 74HC245、8 片 74HC595),构建了小型的热图再现系统。系统的部件照片如图 7、图 8 所示。



图7 场效应管板与电热模块板的连接



图8 场效应管及其连接电路

热图再现系统的工作过程如下:在笔记本中找到需要再现的真实热图,将其变换到必要的形式,而后利用笔记本上安装的“EQ 一线通”软件,将热图通过串口到发送 EQUAL LED 灰度控制器,设定其扫描方式和翻页方式。控制器通过静态扫描方式依次给每个场效应管输出栅极电压,栅极电压决定着漏极电流,而漏极电流决定着再现模块的加热功率。最终,由于发热板中各模块温度的不同,其辐射能量被热像仪接收,再现的热图就出现在热像仪上。

利用这样的热图再现系统,我们进行了军用卡车热图的再现实验。试验中所用的军用卡车的热图如图 9 所示。由于我们的系统只有 64 个再现模块,而卡车热图的像素数远大于 64,因此,在实验过程中,我们也将卡车的真实热图分割成 24 个小的图像(如图 10 所示),分别发送给控制器,对每个小图像进行再现,再现的热图用热像仪进行记录,最后在将再现的 24 副热图进行拼接。图 11 至图 13 是热图再现系统再现的卡车局部图像,而图 14 是最后得到卡车全图再现结果。通过比较图 9 和图 14,很显然,再现的热图与原热图存在非常大的相似性。这表明我们的实验取得了成功,同时也表明模块化热图再现方法在技术上的可行性。

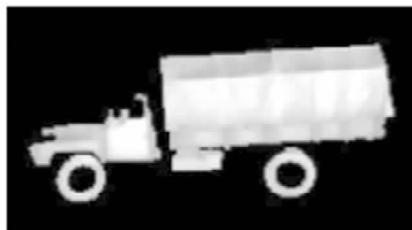


图9 军用卡车真实热图

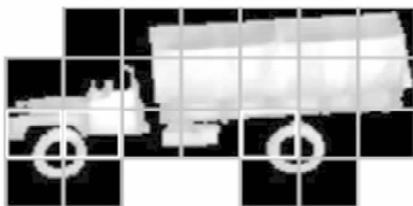


图10 真实热图分割成 24 个小的图像



图11 局部图像 1



图12 局部图像2

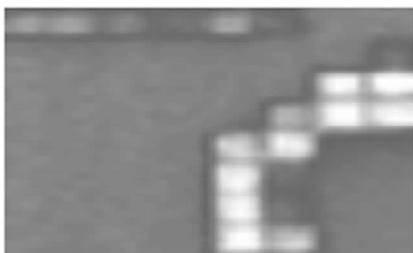


图13 局部图像3



图14 军用卡车模拟热图

5 小结

本文主要对电热膜的制备和热特性进行了阐述,并通过对热图再现系统进行设计,使得电热膜能够逼真地模拟出目标的特性,起到示假的作用。如果根据背景的分布调整电热膜导电层电阻的分布,使电热膜的发热分布与背景一致,也能够模拟背景的特性,形成背景热图。如果将模拟背景的电热膜覆盖在目标上,就能够使目标呈现出与背景相同的特性,起到隐身的作用。

参考文献:

- [1] 张海. 目标与背景红外辐射特征的模拟仿真[D]. 南京:南京理工大学,2002:1-30.
- [2] 陈宏焯,曾朝阳,解文彬,等. 电热膜红外假目标热特性分析[J]. 激光与红外,2007,37(4):335-339.
- [3] 曾朝阳,陈宏焯,陈奎峰. 电热膜红外图像生成技术研究[J]. 激光与红外,2008,38(9):893-896.
- [4] 周立伟,刘玉岩. 目标探测与识别[M]. 北京:北京理工大学出版社,2002:123-124.
- [5] 王晓军. 可编程控制器原理及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2007,13-19.
- [6] 高傅,孟建军. 电气控制基础与可编程控制器应用教程[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2007:56-77.