

基于LabVIEW的可见/红外兼容自适应伪装系统

崔俊婕, 嵇海宁*, 左学桐, 王嘉逵

湘潭大学物理与光电工程学院, 湖南 湘潭

收稿日期: 2022年2月25日; 录用日期: 2022年3月31日; 发布日期: 2022年4月6日

摘要

随着军事侦察技术的不断革新, 隐身伪装技术也在不断地更新换代, 开发能够主动适应环境的伪装系统是伪装技术发展的重要趋势。为实现多波段的自适应伪装, 提高伪装体的存活率, 本文设计并实现了一种基于LabVIEW的可见/红外兼容自适应伪装系统。该系统实时采集可见光信号和周围环境的温度数据, 利用LabVIEW软件开发平台处理数据后通过主控制器myRIO输出控制信号, 使得系统能根据随时变化的背景环境即时改变自身的视觉效应和红外特征。并且现场测试结果表明该系统能迅速响应环境变化, 同环境实现高度融合, 在军事伪装领域具有较高的应用价值。

关键词

自适应伪装, 可见, 红外, LabVIEW, myRIO

Visible/Infrared Compatible Adaptive Camouflage System Based on LabVIEW

Junjie Cui, Haining Ji*, Xuotong Zuo, Jialu Wang

School of Physics and Optoelectronic Engineering, Xiangtan University, Xiangtan Hunan

Received: Feb. 25th, 2022; accepted: Mar. 31st, 2022; published: Apr. 6th, 2022

Abstract

With the continuous innovation of military reconnaissance technology, stealth camouflage technology is also constantly updated. The development of a camouflage system that can actively adapt to the environment is an important trend in the development of camouflage technology. In order

*通讯作者。

文章引用: 崔俊婕, 嵇海宁, 左学桐, 王嘉逵. 基于 LabVIEW 的可见/红外兼容自适应伪装系统[J]. 传感器技术与应用, 2022, 10(2): 106-115. DOI: 10.12677/jsta.2022.102014

to realize multi-band adaptive camouflage and improve the survival rate of camouflage, this paper designs and implements a visible/infrared compatible adaptive camouflage system based on LabVIEW. The system collects the visible light signal and the temperature data of the surrounding environment in real time, uses the LabVIEW software development platform to process the data, and then outputs the control signal through the main controller myRIO, so that the system can instantly change its own visual effects and infrared characteristics according to the changing background environment. And the field test results show that the system can quickly respond to environmental changes and achieve a high degree of integration with the environment, and has high application value in the field of military camouflage.

Keywords

Adaptive Camouflage, Visible, Infrared, LabVIEW, myRIO

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在信息化局部战争中,对武器装备进行伪装隐身是降低其被发现概率和增强其攻击效能的有效方法[1]。随着军事侦察和精确制导技术的广泛应用,用于侦察工作的波段包含可见光、红外和雷达波段,给目标的生存和工作带来巨大威胁。此外,战场背景环境的复杂多变以及时间变化都要求目标需具备良好的环境适应能力[2][3]。传统的伪装技术是静态的,常常因不能适应环境和时间变化从而失去伪装效果,难以满足现实需求,因此自适应伪装应运而生。

早在上世纪90年代,美国就提出了动态红外伪装的概念。近年来很多颜色丰富性能良好的自适应伪装材料相继问世,这些伪装材料得益于自身化学特点而对环境具有自适应性。何士浩等设计的红外双波段自适应控温变色伪装装置可以在近红外和远红外双波段内实现自适应伪装[4]。Huang等人利用人工光子晶体材料的光学特性研制出的自适应伪装材料,可以将手枪伪装成一只猫[5]。郭聚光等设计出一种基于柔性显示技术的主动像质重构自适应伪装方法,这种方法将频谱转移技术和动像质重构技术应用于柔性显示器件,从而使目标表面的光学特征全天候、全过程地与周围环境高度融合起来[6]。然而自适应伪装材料相应地也具有化学材料本身不可避免的缺点,它们对涂抹环境要求复杂,受水滴和灰尘等环境的影响较大,且难以实现多波段伪装。

因此,为了弥补传统伪装涂料的缺陷性,提高伪装体在复杂环境中的自适应能力,本系统应用自动化技术,以NI myRIO平台和LabVIEW为基础建立自适应伪装系统。系统工作过程中会实时采集环境图像和温度数据并实时传输至交互界面进行显示,同时根据周围环境颜色、温度的变化及时调节自身参数,以达到与环境背景的视觉效果、红外特征的高度融合,极大地提升了伪装目标在不同环境中的生存能力,在军事领域具有较高的应用价值。

2. 系统总体设计

基于LabVIEW的可见/红外兼容自适应伪装系统总体设计图如图1所示。该系统实时采集环境参数并输送给上位机,经LabVIEW进行数据处理后,可通过myRIO输出控制信号改变自身颜色及温度。系统以myRIO为主控器件,主要包括监测模块和控制模块。监测模块由温度传感器和USB摄像头构成,

通过串口连接到 myRIO, 实时监测环境温度和图像, 并通过网络传输机制将数据传输给上位机进行显示。控制模块包括灯带、发热片和小风扇, 上位机 LabVIEW 通过 myRIO 向驱动电路输出控制信号, 驱动半导体发热片、小风扇完成温度调节, 控制灯带完成自身颜色变化, 以达到伪装体主动适应环境的目的。

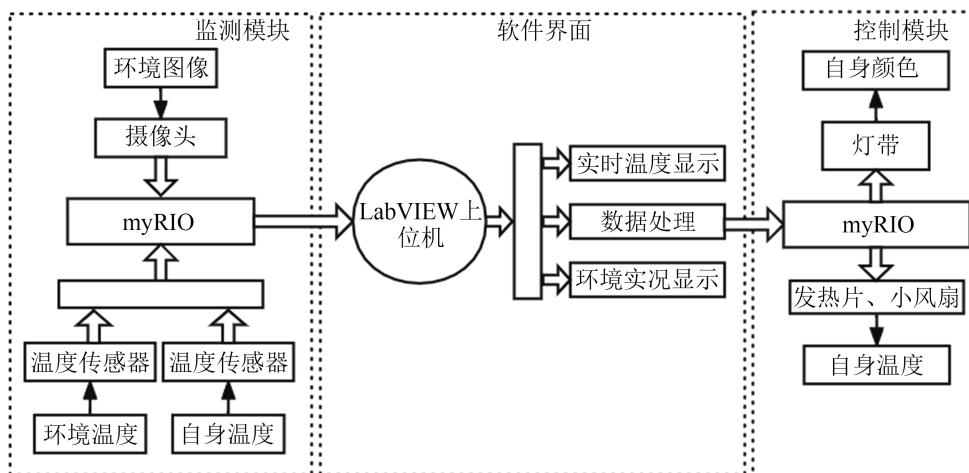


Figure 1. Overall design
图 1. 总体设计图

3. 硬件设计

3.1. 主控器件——myRIO

系统以 myRIO 为控制核心, 它具有 10 个模拟输入通道, 6 个模拟输出通道, 40 路可配置的数字 I/O 通道, 配合 LabVIEW 实现对 myRIO 的图形化编程和各种工具包可快速实现工业控制, 信号处理与分析等功能[7]。myRIO 内置有 LabVIEW FPGA 芯片, 使用时先在 PC 端对其进行编程, 当 myRIO 与 LabVIEW 连接后, 再将 LabVIEW 中的程序下载到芯片中, 这样 myRIO 就可以根据指令完成相应操作, 实现硬件与软件的完美契合。并且考虑到系统需具备实时显示环境背景和温度的功能, 选择使用 LabVIEW 的前面板进行实时监测, 以达到智能化、主动化的伪装效果。

3.2. 监测模块

据图 1 所示, 环境监测模块由摄像头和两个温度传感器构成。温度传感器采用 MLX90614 (GY-906) 非接触式红外线测温传感器, 该种非接触式温度传感器是基于黑体辐射的基本定律, 通过测量目标发射的红外辐射强度计算出物体的表面温度, 测量上限不受感温元件耐温程度的限制, 同时不易干扰被测对象的温度场[8]。并且该传感器温度分辨率为 0.01°C , 具有体积小、性能稳定、精确度高、测温范围广、分辨率高等特点[9]。摄像头选用 USB 摄像头, 通过 USB 端口同 NI myRIO 相连, 具有采集图像方便快捷等优点。

3.3. 控制模块

控制模块以 NI myRIO 为核心, 还包括灯带、发热片和小风扇。上位机通过网络传输机制将控制指令传输给 myRIO, 实现对灯带、发热片和小风扇的控制。

由于人眼对红、绿、蓝三种色光最为敏感, 并且自然界中常见的各种颜色光都可以用这三种颜色的光按不同比例配置而成, 所以系统选用三色灯带来完成颜色的改变; 选择半导体发热片进行温度调节,

体积小且易控制，实现对自身的加热功能；选择小风扇制冷，实现对自身的降温功能。

4. 软件设计

本系统利用 LabVIEW 软件开发平台完成了温度及颜色监控系统的前后面板程序的编写。图形化软件编程使系统界面友好、操作简单，实现了数据文件载入、参数设置、数据采集、输出波形显示及波形数据保存等功能[10]。

温度监控设计结构图如图 2 所示，主要包括系统初始化、温度传感器响应、采集温度、温度实时显示并储存以及增量式 PID 控温。温度监控程序可实现自身温度紧密跟随环境温度变化，使自身与环境红外特征保持一致。

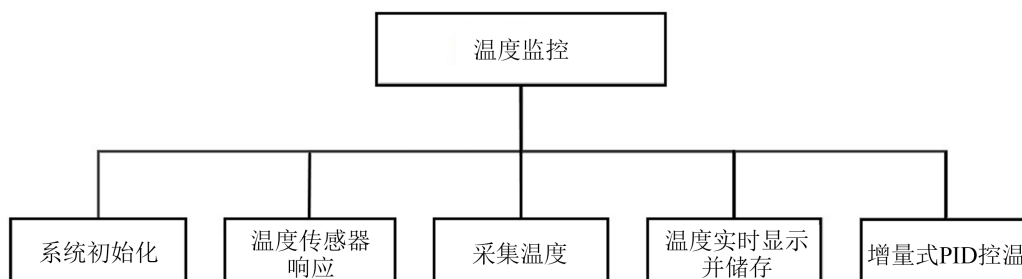


Figure 2. Temperature monitoring design structure diagram

图 2. 温度监控设计结构图

如图 3 所示，图像监控设计结构图主要由 7 部分组成，分别为系统初始化、摄像头响应、采集图像、实时显示图像、储存图像、自动匹配颜色和应用颜色，此结构使得系统具备实时显示环境背景图像、实时改变自身颜色以响应环境变化的功能，提高了伪装体在变化的环境中的伪装能力。

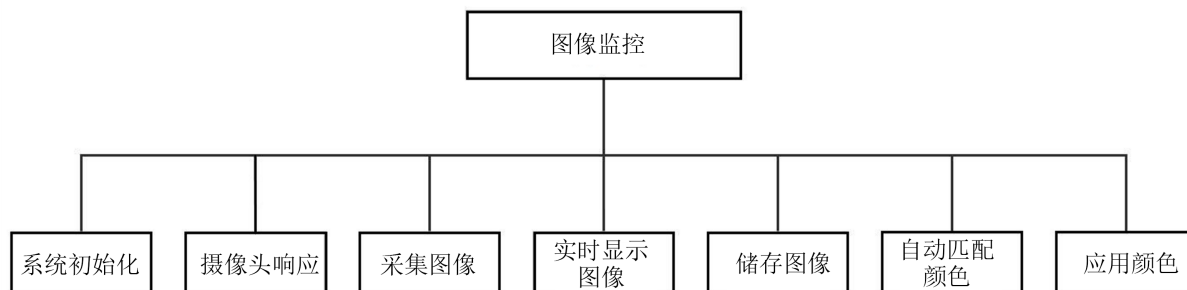


Figure 3. Image monitoring design structure diagram

图 3. 图像监控设计结构图

4.1. 温度监控前面板设计

如图 4 展示了温度监控前面板的设计。温度监控前面板由上至下主要包括温度曲线显示模块、参数设定模块、输出结果显示模块。

4.1.1. 温度曲线显示模块

温度曲线显示模块由一个波形图表组成，在按下“开始检测”按钮后，两个测温模块 GY-906 中 RAM 里的数据被读取，直接显示环境温度值和自身温度值，设定温度增量也在计算后显示出来，三种数据持续更新并显示，使温度值可观化。

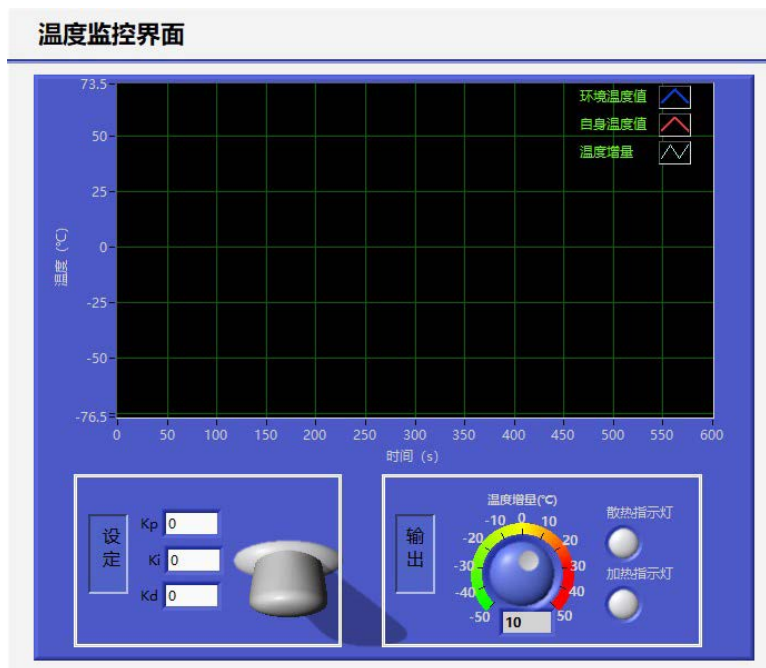


Figure 4. Temperature monitoring front panel design
图 4. 温度监控前面板设计

4.1.2. 参数设定模块

参数设定模块主要包含 K_p 、 K_i 和 K_d 三个 PID 控制规律的参数的设定以及“开始”和“停止”按钮控件。在开始监测前，提前设定好 K_p 、 K_i 和 K_d 三个参数的具体值，再按下“开始监测”按钮进行监测，在完成监测后按下“停止监测”系统便停止。

4.1.3. 输出结果显示模块

输出结果显示模块主要包括“加热”和“散热”两个指示灯以及“温度设定增量”旋钮。在开始监测后，根据增量型 PID 公式计算得到的温度增量会实时显示，并且当程序计算的结果是系统需进行加热时，加热片会通电，同时“加热”指示灯会被点亮，同理，当计算结果是系统需散热时，风扇会被开启，同时“散热”指示灯将会被点亮。此模块中的波形图表显示温度变化，不仅可实时观察温度波动变化，同时起到自动保存温度数据的功能，处理指示灯也可直观反映出该系统此时在进行“加热”还是“散热”的控制操作。

4.2. 温度监控后面板设计

4.2.1. 温度数据采集

测温模块和 myRIO 之间采用 IIC 通讯协议，利用 LabVIEW 中的 myRIO 模块中 IIC 封装函数可以很方便地进行串口通讯。LabVIEW 温度监控系统运行时，会循环检测串口开关按钮的状态。若串口开关处于关闭状态，则程序不断循环等待检测；一旦检测到串口开关处于打开状态，程序会立刻通过 IIC 封装函数向下位机测温模块发送数据请求指令，接着读取测温模块 GY-906RAM 中的内容，而后分为低 8 位 (DataL) 和高 8 位 (DataH) 按式(1)计算公式计算出温度数据 (T ，单位为 $^{\circ}\text{C}$)。

$$T = (\text{DataH} : \text{DataL}) * 0.02 - 273.15 \tag{1}$$

温度数据采集子 VI 程序框图如图 5 所示。

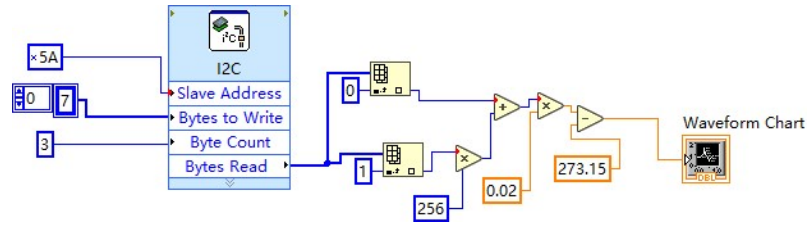


Figure 5. Temperature data acquisition SubVIBlock diagram
 图 5. 温度数据采集子 VI 程序框图

4.2.2. 温度数据处理

温度调节程序框图如图 6 所示。温度处理中主要应用增量式 PID 控制来实现温度的自我调节，增量式 PID 离散处理输入误差，输出控制量对应的是近几次位置误差的增量，而不是对应与实际位置的偏差，没有误差累加且误动作小[11]。首先，系统检测到开关按钮处于打开状态后，分别读取环境温度和自身温度两个子 VI 的输出数据，然后将二者作差处理，差值作为 PID 控制的输入，再依据公式(2)进行编程(其中三个参数已在前面板完成定义)，通过对近 3 次的采样值进行加权处理即可得到控制增量值。当控制增量值大于零时，hot.vi 子 VI 将控制加热片加热使自身温度升高，直至控制增量等于零。而当控制增量值小于零，wind.vi 子 VI 将控制风扇运转使自身温度降低，直至控制增量等于零。从而实现实时自动调节自身温度与环境温度保持一致。

通过 LabVIEW 编程实现对自身温度的增量式 PID 控制，适应性地改变伪装体自身的可见光和红外特征，规避了伪装材料自适应性欠缺的弊端；本伪装系统响应的时间短，赋予了伪装体适应性地与背景融合的生命力。

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (2)$$

式中： $\Delta u(k)$ 是控制器输出的增量； K_p 是比例放大系数； K_i 是积分系数； K_d 是微分系数； $e(k)$ 是这次运行所产生的误差； $e(k-1)$ 是上次的误差； $e(k-2)$ 则是上上次的误差。

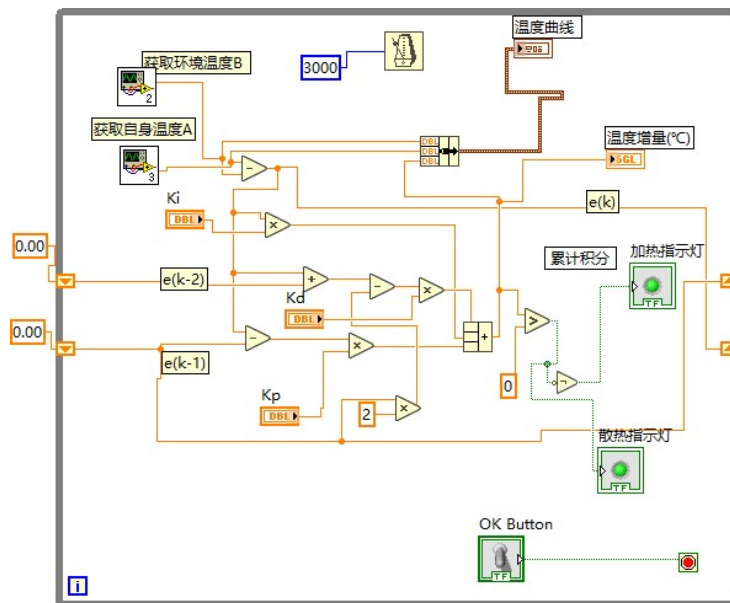


Figure 6. Temperature regulation block diagram
 图 6. 温度调节程序框图

4.3. 图像监控前面板设计

图 7 展示了图像监控前面板。图像监控前面板从上往下主要包括操作模块、图像显示模块和颜色库模块。

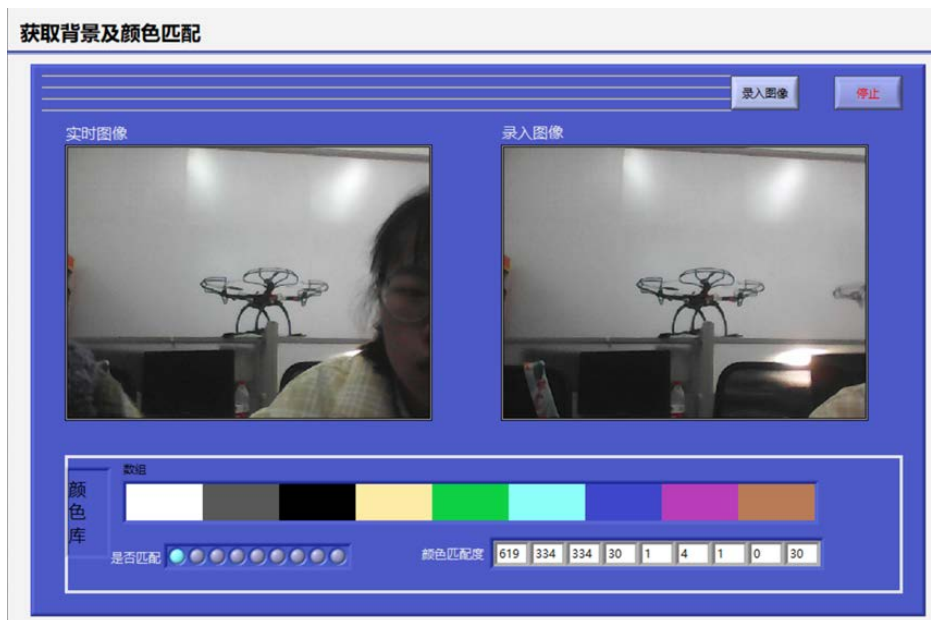


Figure 7. Image monitoring front panel

图 7. 图像监控前面板

4.3.1. 操作模块

操作模块由“录入图像”按键和“停止”按键组成。“录入图像”按键按下时系统将此时采集的图像保存，以便进行后续的图像处理。“停止”按键按下后关闭摄像头，结束此次图像采集，并且此时颜色库模块显示此次储存的图像同各颜色的匹配度，结束本次图像匹配。

4.3.2. 图像显示模块

图像显示模块包括实时图像显示模块和录入图像显示模块，图像采集开始后摄像头开启，实时图像显示模块便开始显示此时环境实况，在观察到合适图像后便可按下“录入图像”按键，系统将保存此时采集的图像，保存的图像显示在录入图像模块中。此模块便于我们对环境地形等状况进行实时了解，同时可选择手动采集并保存所需的图像信息。

4.3.3. 颜色库模块

颜色库模块包括颜色显示模块、布尔灯模块以及匹配度模块。颜色显示模块将颜色库中模块直观地显示出来，使最佳匹配色在前面板便可被观察到。匹配度模块显示所储存的环境图像与颜色库中各颜色的匹配值，当此匹配值大于 600 时，布尔灯模块中此颜色所对应的布尔灯由紫变蓝，即变蓝的布尔灯所对应的颜色为最佳匹配色。

4.4. 图像监控后面板设计

本设计的主要目的是找出环境的最佳匹配色并应用，因此自动匹配颜色的子 VI 设计尤为重要。图像监控后面板设计主要应用 LabVIEW 中的 IMAQ 色彩函数，实现图像空间转换、色彩学习及匹配。为了

使图片的颜色特征向量不受亮度变化的影响，图像处理从 RGB 空间转化至 HSL 空间中进行，以便更精确地找出环境图像的最佳匹配色。系统首先利用 while 循环对颜色库中的颜色图依次进行读取，并用 IMAQ 色彩学习函数对颜色图的色谱进行分析，然后再调用一个 while 循环，通过 IMAQ 色彩匹配函数，将录入图像与颜色库中颜色图像依次匹配，得到匹配度并显示在前面板，匹配度最高的颜色即为最佳匹配色。流程如图 8 所示。

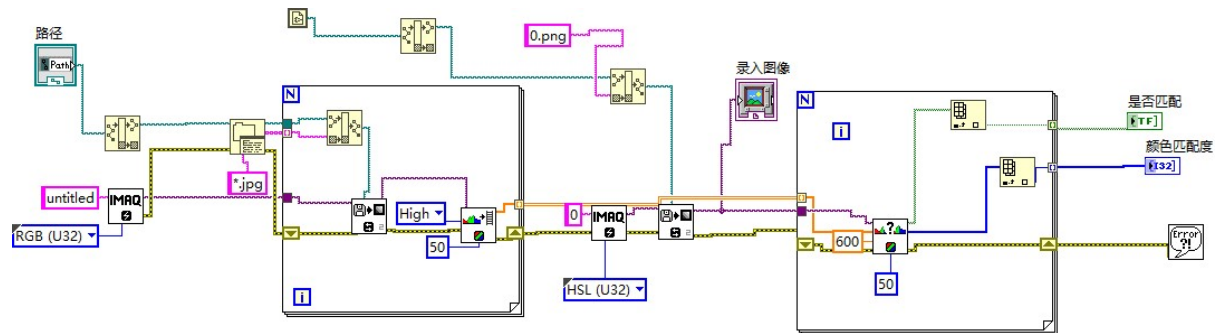


Figure 8. Color matching block diagram

图 8. 颜色匹配程序框图

5. 现场测试结果

图像监控的实时显示图如前图 7 所示，在此我们拍摄了一张环境实况图片，可以看出环境背景大部分被白板占据，系统也准确识别到大背景颜色与颜色库中的第一种颜色最为匹配，并且大于匹配得分阈值 600，则判定背景的最佳匹配色为颜色库的第一种颜色。综上，本系统通过对环境图像颜色的机器学习，自主选出最佳匹配色并应用，同环境背景视觉上达到高度融合，同传统伪装相比，本系统具备同环境相近的自适应视觉伪装，大大降低了伪装体在复杂环境中被发现的概率。

温度监控的实时显示图如图 9 所示，下位机包括两个温度传感器，一个实时测量环境温度值，另一个测量自身温度值，采集的两个温度值显示在波形面板上。其中，所调试的主要参数值 $K_p = 0.2$, $K_i = 0.75$, $K_d = 2.5$ 。

由波形图曲线可知，25~300 S 在测得自身温度值低于环境温度值时，系统依据增量型 PID 控制自动运行，升高自身温度不断趋近环境温度；300 S 时环境温度值突然波动下降，系统也敏感预测到环境温度变化，使自身温度降低，最终不断趋近环境温度值，在环境温度值附近波动。测试结果表明：该系统可实时、准确测得环境及自身温度，并显示在波形图表中，实现数据可视化，且对温度值波动敏感，可依据环境温度波动及时对自身温度值进行调整，能较好地达到预期效果。

6. 结束语

本文所设计的伪装系统以 myRIO 为主控制器，以灯带、发热片和小风扇为从设备，采用串口通信模式实现了主从设备的数据交换，利用 LabVIEW 软件开发平台操控达到可见/红外兼容的自适应多波段伪装的效果，且本系统运行效果良好，能对环境进行侦察，具有较强自适应环境的能力。同传统伪装相比，该伪装系统规避了伪装材料自适应性欠缺的弊端，赋予了伪装体主动与背景融合的生命力，且该系统能实时传输环境图像信息，具有较强的反侦察能力。环境自适应能力和反侦察能力强的特点使得本系统非常适合战场上的目标进行军事伪装，做到全天候、全过程、全时段与周围的自然背景相融合，使其能出色地完成军事作业。

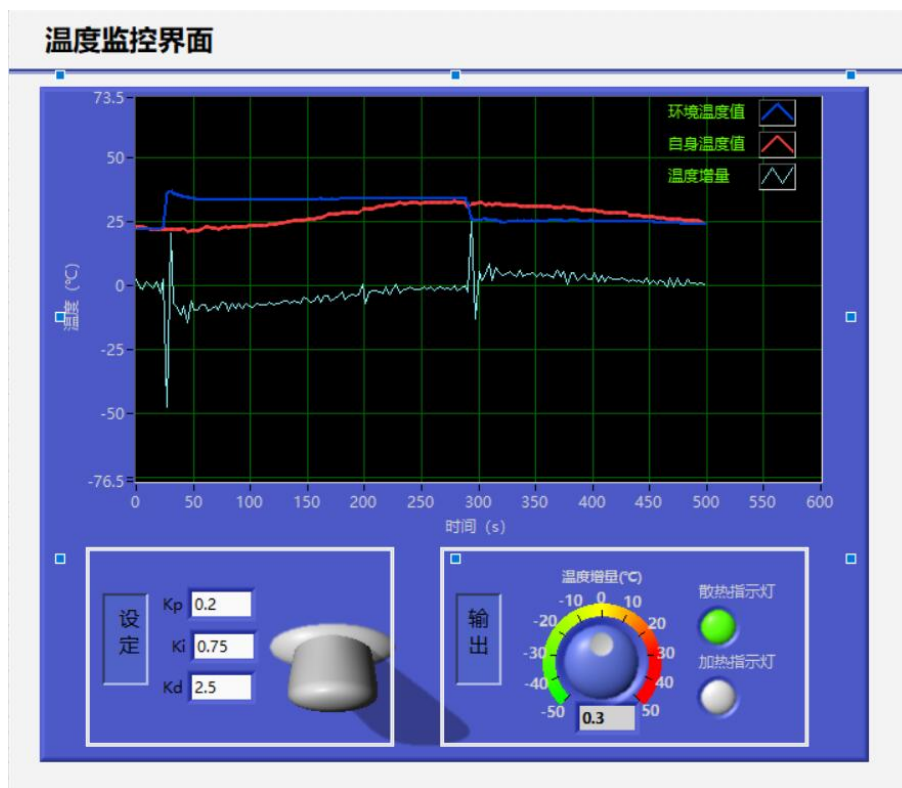


Figure 9. Real-time demo of temperature monitoring
图 9. 温度监控实时演示图

基金项目

湘潭大学 2020 年大学生创新创业训练计划项目(基于 LabVIEW 和 myRIO 的自适应多波段伪装系统设计及实现); 湖南省普通高等学校教学改革研究项目(HNJG-2020-0214); 湘潭大学第十一批教学改革研究项目(“互联网+”背景下雨课堂智慧教学模式在测控专业课程教学中的应用与实践); 湖南省教育科学“十四五”规划课题(课程思政视域下工科专业课程混合式教学模式的建构与实践 ND210737)。

参考文献

- [1] 嵇海宁, 刘东青, 张朝阳, 等. 二氧化钒在红外伪装隐身技术中的应用研究进展[J]. 化工进展, 2017, 36(11): 4099-4105.
- [2] Ji, H.N., Liu, D.Q., Cheng, H.F., *et al.* (2017) Infrared Thermochromic Properties of Monoclinic VO₂ Nanopowders Using a Malic Acid-Assisted Hydrothermal Method for Adaptive Camouflage. *RSC Advances*, **7**, 5189-5194. <https://doi.org/10.1039/C6RA26731A>
- [3] 王义, 刘东青, 周峰, 等. 自适应伪装材料与技术研究进展[J]. 中国材料进展, 2020, 39(5): 404-410.
- [4] 何士浩, 刘剑, 张俊举, 等. 红外双波段自适应伪装装置研究[J]. 红外技术, 2017, 39(9): 855-858.
- [5] Huang, K., Zhao, D., *et al.* (2020) Bio-Inspired Photonic Masquerade with Perturbative Metasurfaces. *ACS Nano*, **14**, 7529-7537. <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c03401>
- [6] 郭聚光, 马勇辉, 张广, 等. 基于柔性显示的主动像质重构应用技术(英文) [J]. 红外与激光工程, 2021, 50(10): 197-201.
- [7] 张虎, 王存磊, 张建龙, 等. 基于 MotoTron 平台的汽油发动机控制器开发[J]. 上海交通大学学报, 2014, 48(6): 845-849.
- [8] 陈金海, 张文远, 罗梦婷, 等. 智能滚动轴承内圈温度监测系统研究[J]. 仪表技术与传感器, 2021(10): 103-108.

-
- [9] 李成勇, 王莎, 刘梓欣. 基于特征学习的身份识别报警系统设计与实现[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(11): 161-165.
 - [10] 黄超, 田锦明, 纪林海, 等. 基于 LabVIEW 的实车四轮轮速信号再现系统[J]. 仪表技术与传感器, 2021(10): 65-69+74.
 - [11] 郭家伟, 谈波, 陈华, 等. 爬壁机器人底盘结构全向移动自主控制设计[J]. 机械设计与制造, 2021, 369(11): 158-161.