

文章编号: 1672-8785(2015)01-0016-05

红外高温目标自动追踪系统的设计

常静敏

(重庆邮电大学信号与信息处理重庆市重点实验室, 重庆 400065)

摘 要: 目前市场上能进行红外高温目标追踪的产品较少且大多只具有测温功能, 远不能满足各种应用需求。提出了一种可对高温目标进行实时跟踪的红外高温目标自动追踪系统, 并详细介绍了其硬件总体设计、软件总体设计和算法原理。测试结果表明, 该系统不仅能够较好地实现红外图像显示, 而且还能对高温目标进行精确测温 and 实时自动追踪。

关键词: 高温目标; 红外测温; 自动追踪

中图分类号: TP277 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2015.01.003

Design of Automatic Tracking System of Infrared High Temperature Target

CHANG Jing-min

(Chongqing Key Laboratory of Signal and Information Processing,
Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Currently, there are few products which can track high temperature targets in the market. Because most of the products in the market only have a temperature measuring function, it is not far enough to meet the different demands in various applications. An automatic tracking system which can track high temperature targets in real time is proposed. Its hardware system design, software design and algorithm principle are presented in detail. The experimental result shows that the system not only can implement the display of infrared images, but also can measure the temperature of the targets accurately and track them automatically in real time.

Key words: high temperature target; Infrared temperature measurement; automatic tracking

0 引言

红外热成像技术利用景物间的热辐射差值进行成像, 具有很强的环境适应能力, 且不受烟雾、尘埃、雾等环境的影响, 因此在国民经济领域得到了广泛应用^[1]。但目前市场上基于红外测温的高温目标追踪产品数量较少, 且现有的大部分产品只具备测温功能, 而一些跟踪器虽

然能对物体进行跟踪, 却无法进行测温, 所以这些产品都不具备对高温物体的实时跟踪功能。但是现在很多领域对这种功能的需求都比较大。例如, 森林火灾是全球林业界中的重要灾害之一, 每年火灾都会造成森林资源的重大损失和全球性的环境污染。若能在森林中自动跟踪高温热源, 我们就可以及时发现火灾隐患, 从而减少经济损失和环境污染。比如在 2013 年流行的

收稿日期: 2014-11-28

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61275099)

作者简介: 常静敏 (1990-), 女, 河南许昌人, 硕士, 主要从事数字图像处理方面的研究。E-mail: 1160080528@qq.com

H7N9 型禽流感中, 人感染后的体温大多维持在 $39\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。此时我们可以利用高温追踪系统对人群进行跟踪, 找出体温过高的个体, 然后对其进行及时处理, 以减少病毒传播。

因此, 本文研制了一种既能对高温目标进行测温又能对其进行实时跟踪的红外高温目标自动追踪系统。测试结果表明, 该系统不仅能够复杂多变的环境中捕捉到质量良好的红外图像以及进行精确测温, 而且还具有可对高温目标进行实时追踪与捕获、响应时间快、追踪准确率较高等特点。

1 系统总体设计

1.1 硬件总体设计

图 1 所示为本文系统的整体硬件设计。其中, 视频前端预处理模块是重要的组成模块之一; 红外焦平面阵列把采集到的光信号先转换成模拟电信号和 6 位数字视频信号。本系统将数字视频信号送至复杂可编程逻辑器件 (Complex Programmable Logic Device, CPLD) 进行转换, 生成可供后端模块处理的 12 位数字信号; 同时, CPLD 为焦平面提供驱动时序和寄存器配置信号, 并为后端提供数字视频信号的同步信号。为了使焦平面输出精确的稳定信号, 我们用温控 TEC 模块对焦平面进行控制, 使微测辐射热计阵列能够根据环境温度变化自适应地选择工作温度点。这样不仅可以提高成像质量和系统响应性能, 而且还可以降低由于焦平面阵列的工作温度与工作环境之间的温差增大而引起的功耗。

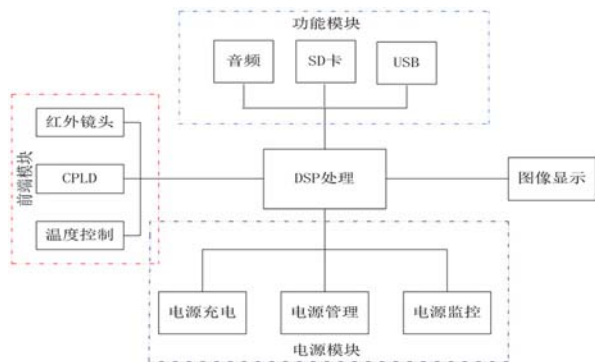


图 1 硬件系统框图

将 CPLD 输出的 12 位数字信号送至 DSP 处理模块中的 TMS-DM6437 核心处理器进行相关处理。为了消除由焦平面阵列的材料制备引起的非均匀性, 我们在 TMS-DM6437 的平台上采取了以下实时图像处理方法: 从前端采集数据, 然后对其进行非均匀性校正、盲元补偿、均值滤波、伪彩变换等处理, 并将数据送至后端进行显示。在整个过程中, 我们建立了目标温度、电信号和红外图像灰度值之间的一一对应关系, 最后得到了红外图像以及图像中的目标温度; 另外, 我们还对图像中的高温目标进行了自动追踪。

在实际应用中, 电源系统的特性对 DSP 能否在高性能、低功耗的情况下正常工作具有决定性作用。电源模块用于为整个系统提供恒定的电源, 并通过电源管理芯片把恒定电源转换为 DSP 所需的电压以及其他外设的电压, 从而实现该系统的供电。外围功能模块 (接口模块) 主要用于为用户提供相应接口。该部分包括 USB 接口、SD 卡接口、音频接口和 MIC 语音接口, 以满足各种用户的不同需求。

1.2 软件总体设计

红外成像仪通过采集被测物体辐射出的红外光, 在设备中对其进行成像以及简单的测温分析; 然后把图像文件和语音、文字注释等数据保存在手持式红外成像仪的存储卡中。若需查看记录, 从 SD 存储卡中即可调出需要的图像和注释。

红外成像仪系统主要包括 4 个模块: 第一个模块是图像处理模块, 主要实现前端图像采集、DSP 图像数据处理、后端显示器显示; 第二个模块是图像分析模块, 主要用于对图像中感兴趣的某点或某块进行分析; 第三个模块是文件管理模块, 其主要功能是实现图像文件和音频文件在 SD 卡中的保存、读取和删除; 第四个模块是系统设置模块, 主要用于设定测温参数和系统参数。同时, 每个模块中还包括响应子模块, 其详细的系统结构见图 2 (图像分析、文件管理和系统设置模块通过“菜单”实现)。

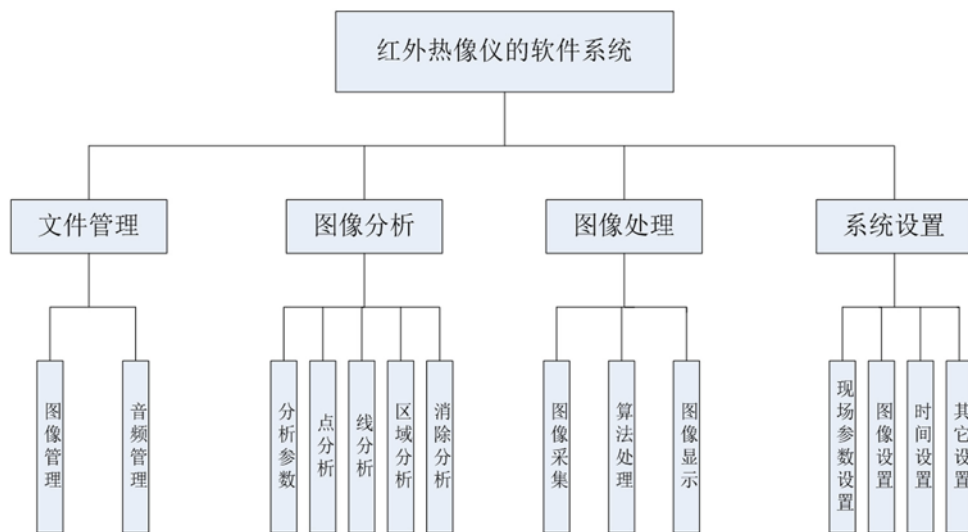


图 2 软件系统框图

2 算法原理

2.1 多点校正

基于多点定标的分段线性校正算法合理地将探测器的响应曲线分为若干段，其中每段用两点校正算法进行校正。

两点校正法是基于以下两个假设条件成立的：(1) 每个探测单元的响应都是线性的。此假设的原理是，大部分探测单元响应的区域是线性的，当近于饱和、输入很小时才有较大的非线性；如果忽略两端误差，则可认为探测单元的响应是线性的。由线性模型数学公式可知，若要进行非均匀性校正，通过对直线上的两点进行定标性测量，求出直线即可。(2) 探测单元的响应时间必须是稳定的，否则在使用定标数据时就会变得毫无意义。根据以上假设，在均匀辐射背景下，任一像元的红外焦平面阵列响应输出可以表示为^[2]

$$X_{ij}(\phi) = R_{ij}\phi + O_{ij} \quad (1)$$

式中， $X_{ij}(\phi)$ 为像元响应的输出值； ϕ 为辐射通量； R_{ij} 为焦平面阵列第 i 行、第 j 列像元的增益； O_{ij} 为偏移量。对于任意一个像元， R_{ij} 和 O_{ij} 的值在两个标定点内都是恒定不变的，且不会因时间变化而变化^[2]。

2.2 盲元补偿

盲元是指红外焦平面阵列中响应过高或过低的像素。盲元包括过热像素和死像素，即响应率大于平均响应率 10 倍的像素和响应率小于平均响应率的 1/10 的像素。

最直接的盲元检测技术是根据盲元的定义进行测试的。盲元的定义是根据实验室测量结果得出的关系式，其量化指标是红外焦平面阵列对黑体辐射的响应程度。因此，用辐射均匀的黑体源照射红外焦平面阵列，得出的平均响应值接近于零。因为过热像素和死像素是随机的，所以其总响应的平均值基本等于剔除盲元后的响应平均值^[3]。因此，本文算法将总响应平均值和各个像素的对应值作一比较，以确定盲元位置。

2.3 均值滤波

均值滤波是线性滤波的典型算法，即在图像中为目标像素提供一个模板。该模板将以目标像素为中心的周围 8 个像素构成一个滤波模板，然后用模板中全体像素的平均值作为原始图像的像素值。

均值滤波也称线性滤波，主要采用邻域平均法进行计算^[4]，其基本原理是用均值代替原始图像的像素值；假如选择当前像素点 (x, y) 邻近位置上的若干个像素组成一个模板，求出这些像素的均值并赋予当前像素点 (x, y) ，作为图

像在该点上的灰度级 $g(x, y)$ [5], 即

$$g(x, y) = 1/m \cdot \sum f(x, y) \quad (2)$$

式中, m 为模板中所含当前像素的像素总个数。

2.4 伪彩显示

热成像测温系统所产生的红外图像为灰度图像。由于灰度值的动态范围较小, 人眼想从灰度级中获得丰富信息实属困难 [6]。然而先对系统所提取的图像进行灰度拉伸, 然后再进行伪彩处理, 这样不仅可以增强图像的显示层次及效果, 而且还可以提高人眼分辨能力, 使提取出的图像信息变得更加丰富 [6]。

伪彩显示的实现可分两步完成: (1) 使用分段自适应线性灰度拉伸算法对灰度图像进行拉伸。其算法的表达式为

$$Y(i, j) = \frac{X(i, j) - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} Z_{\max} \quad (3)$$

式中, i 和 j 为图像数据的行号和列号; $Y(i, j)$ 为输出图像的灰度值; $X(i, j)$ 为输入图像的灰度值 (8 bit 二进制); $X_{\min}$ 为输入图像的最小灰度值数据; $X_{\max}$ 为输入图像的最大灰度值数据; $Z_{\max}$ 为输出图像的最大灰度值。此算法中输出图像的灰度值用 8 bit 二进制数表示, 故 $Z_{\max}=255$ [7]。(2) 采用灰度级彩色变换方法对拉伸之后的

红外图像进行处理。灰度级彩色变换方法是按照一定的函数关系把图像的各个灰度值映射成颜色渐变的彩色, 即不同的彩色与不同的灰度级相对应。

2.5 自动追踪

在一幅红外图像中, 或者在一个红外场景中, 高温目标是我们研究的重点对象。我们通过盲元补偿和非均匀校正得到与温度相对应的灰度图像, 然后对整个灰度图像进行扫描, 找出灰度大点集 (即温度大点集); 对这些点集进行求均值和计算, 得到最大点集的位置; 在这些位置上用红色 “+” 字标示, 实时进行温度显示。其内容主要包括两个方面: (1) 利用红外热成像系统对视场范围内的多个目标进行监控, 而仅对其中的高温目标进行追踪, 并以红色 “+” 字进行醒目标示; (2) 利用红外热成像系统对视场范围内的一个目标的不同表面温度区域进行监控, 但仅对高温区域进行追踪, 并以红色 “+” 字进行醒目标示。结果表明, 该系统响应时间短, 追踪精度高。

3 红外热成像仪

该红外热成像仪为本实验室自主研发的红外热成像系统。图 3 为红外热像仪的一组外形



图 3 红外热像仪的外形图

图。其中,左图为电脑中显示的扫描图像,右图为红外热像仪的实物图。

3.1 主要技术指标

3.1.1 探测器

探测器类型:非致冷型红外焦平面热辐射计型探测器

像元尺寸: $35\ \mu\text{m}$ 像素: 384×288
 工作波段: $8 \sim 14\ \mu\text{m}$ 热响应时间: $<10\ \text{ms}$
 信号的数字化分辨率: 12 bit
 空间分辨率: 1 mrad 帧频: 50 HZ
 温度分辨率: $0.1\ ^\circ\text{C}$ ($30\ ^\circ\text{C}$ 时)
 镜头扩展能力: 可扩展长焦镜头
 镜头视场/焦距: $15^\circ \times 11^\circ / 15\ \text{mm}$
 图像残余非均匀性: $\leq 5\%$

3.1.2 测温功能

测温精度: $\pm 1\ ^\circ\text{C} \pm 1\%$ ($30\ ^\circ\text{C}$)

测量范围: $-20\ ^\circ\text{C} \sim +300\ ^\circ\text{C}$

测温方式: 自动/点温、线温、面温、最高温度跟踪、温度范围设定

3.1.3 工作环境

工作环境的温度: $-20\ ^\circ\text{C} \sim 60\ ^\circ\text{C}$

工作环境的相对湿度: $10\% \sim 90\%$

存放环境的温度: $-40\ ^\circ\text{C} \sim 70\ ^\circ\text{C}$

3.2 应用对象

作为一个新兴的高科技产业,红外热像仪行业已在军民领域得到了广泛应用。本文系统同样适用于军事和民用行业。经实验室测试,该系统适用于温度范围为 $-20\ ^\circ\text{C} \sim +300\ ^\circ\text{C}$ 的高温目标,目前主要用于电力故障检测、消防安全、动物疾病检测以及医学应用等场合。比如,电力器件中故障部分的温度通常会升高,所以通过追踪高温部分即可快速检查出故障点;在发生火灾时,通常着火源位置的温度最高,因此通过高温追踪可快速找出着火点并快速灭火,从而减少人员和财产损失;在 H7N9 型禽流感流行时,通过高温追踪系统可对人群进行跟踪,找出体温过高的人,然后对其进行及时处理,以减少病毒传播。

4 系统测试结果

采用本系统的 PC 端测温软件对自然物体进行了测试。图 4 所示为轿车行驶视频中的鼠标坐标捕获以及该点温度的实时显示情况。该操作可保证在对快速移动目标进行追踪时具有一定的准确性。



图 4 图像实时显示

图 5 所示为对图像最高温度点的自动追踪结果。其中,红点为对高温目标进行自动追踪的路线,红色“+”字符所标定的位置即为达到预警温度的目标。

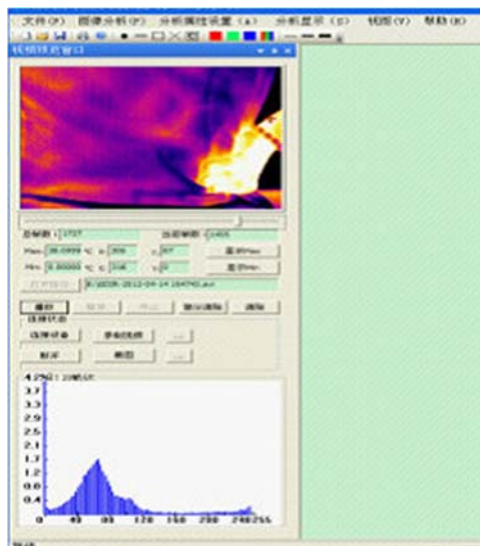


图 5 自动追踪结果

(下转第 39 页)