

文章编号: 1672-8785(2011)04-0007-04

基于 CompactRIO 的平面型黑体温度控制

徐 惠 肖功海 齐洪兴

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘 要: 机载多光谱扫描仪大多采用大口径平面型黑体作为机上实时热参考源。由于机载环境温度的变化范围宽, 而且黑体表面温度容易受气流的影响, 如何对大口径平面型黑体进行高精度温度控制是机载多光谱扫描仪设计的一个难点。设计了一种新的平面型黑体温度控制系统。该控制系统先通过基于 CompactRIO 的嵌入式 PID 算法产生 PWM 信号, 然后用 H 桥将其放大, 从而对热电堆的加热和制冷进行控制。实验结果表明, 本文设计的温度控制系统在环境温度变化且黑体表面受气流影响的情况下, 可将黑体温度控制在环境温度 $\pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内的任一温度点, 控制精度可达到 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 满足热红外参考源的应用要求。

关键词: 平面型黑体; CompactRIO; 温度控制

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.04.002

Planar Blackbody Temperature Control Based on CompactRIO

XU Hui, XIAO Gong-hai, QI Hong-xing

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: Airborne multispectral scanners usually use large diameter planar blackbodies as their thermal reference sources. Because of the wide temperature range in air environment and the fact that the surface of a planar blackbody is susceptible to air flow, it is difficult to control the temperature of a large diameter planar blackbody accurately when designing an airborne multispectral scanner. A new temperature control system for planar blackbodies is designed. The system firstly uses an embedded PID algorithm based on CompactRIO to generate PWM signals and then uses the PWM signals amplified via an H bridge to control the heating and cooling of a thermopile. The experimental result shows that in air environment, the control system can adjust the temperature of a planar blackbody to the range of $\pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ of the ambient temperature with a control accuracy of $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. It can meet the application requirement of a thermal infrared source.

Key words: planar blackbody; CompactRIO; temperature control

1 引言

近年来, 空间红外高分辨率成像技术的应用需求日益增加。红外成像系统在提高空间分辨率的同时, 还要保证具有足够高的温度灵敏度,

因此在系统体积允许的前提下应尽可能增大系统的光学口径。另一方面, 红外遥感的定量化应用要求遥感仪器具有机上实时高精度定标源。目前, 平面型黑体是红外遥感仪器机上定标源的主要形式。因此, 在空间高分辨率红外成像系统

收稿日期: 2011-02-25

作者简介: 徐惠(1986-), 男, 浙江海盐人, 硕士研究生, 主要从事航空遥感方面的研究。E-mail: xuhui2424@sina.com.cn

中, 大口径平面型黑体定标源已经成为系统设计的一项关键技术。尤其是机载多光谱扫描仪, 由于飞机的作业高度一般在 500m ~ 10000m 之间, 环境温度的变化范围宽, 而且黑体表面温度容易受气流的影响, 如何对大口径平面型黑体进行高精度温度控制就成了机载多光谱扫描仪设计的一大难点。

随着电子技术的进步和无人机遥感的兴起, 机载遥感仪器正在朝着集成化和小型化的方向发展。近年来, 美国 NI 公司推出了一种紧凑型可重配置输入输出 (CompactRIO) 系统架构。CompactRIO 是面向嵌入式控制应用的高性能、高可靠性可编程自动化控制器, 它为嵌入式控制应用提供了一个开放的开发平台^[1]。上海技术物理研究所研制的新一代机载多光谱扫描仪, 就是用 CompactRIO 作为嵌入式系统架构来控制扫描电机的转速、黑体参考源的温度和多通道图像数的。

根据同步采集进行集成化设计, 既减小了系统体积, 又提高了系统的可靠性。下面对基于 CompactRIO 的大口径平面型黑体温度的嵌入式控制技术作一介绍。

2 系统介绍

图 1 是平面型黑体温度控制系统的整体框图。其中, CompactRIO 通过温度传感器获取黑体的实际温度值, 并将其与所设定的温度值进行比较, 随后在内部产生控制信号 (一个黑体需要 4 路控制信号)。控制信号经功放板放大后直接对黑体进行加热或者制冷, 使其温度值达到设定值。

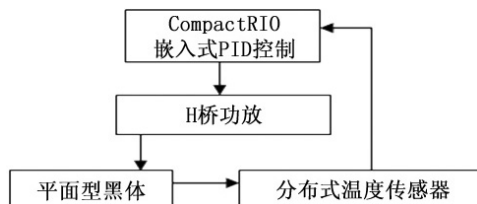


图 1 系统框图

3 硬件设计

平面型黑体温度控制系统的硬件部分主要由黑体、温度传感器、CompactRIO 嵌入式平台

和 H 桥功放电路四部分组成。

3.1 黑体

黑体主要由平面黑体板、热电堆和散热器组成, 如图 2 所示。其中, 黑体板的基体材料为紫铜, 其辐射面上喷涂了一层发射率接近 1 的均匀黑漆。黑体板背面通过导热酯固连热电堆, 这样便于对黑体板进行加热或制冷, 使黑体板达到并维持在设定的温度。

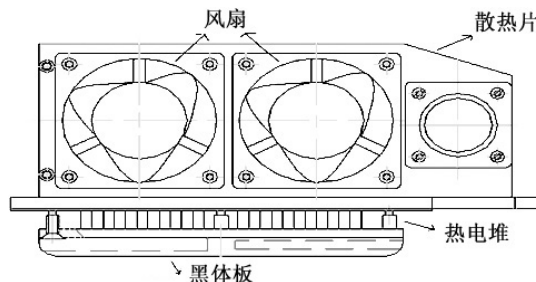


图 2 平面型黑体的结构图

热电堆是根据帕尔贴效应的原理建立的, 其内部是由一块 N 型半导体和一块 P 型半导体联接成的电偶。当外界电流由 N 型元件流向 P 型元件时, 它便吸收热量, 此时接头端成为冷端; 反之, 当外界电流由 P 型元件流向 N 型元件时, 它便释放热量, 此时接头端成为热端。因此, 通过改变热电堆中的电流方向即可实现加热与制冷的切换。由于电流大小可决定加热量和制冷量, 这样就可以达到调节黑体板温度的目的^[2]。黑体板的温控范围与环境温度有关。在对黑体进行制冷时, 要求热端有良好的散热效果。一般可在热端安装散热片, 并用风扇强迫通风。

为了使黑体板表面温度保持均匀和提高控温效率, 热电堆在布局上应尽可能铺满黑体板, 如图 3 所示。

3.2 温度传感器

温度传感器嵌在黑体板的背面, 以免受到外界气流的影响。为了减小测量误差, 采用分布式多点测温方案将温度传感器分布在了黑体板背面的四个角及中心位置, 这样可以获得更加精确的温度值。采用的 DS18B20 温度传感器可以在 $-55\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内进行温度测量。当工作在 12 位数据状态时, 其分辨率可达到 $0.0625\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

DS18B20 采用一线制传输方式, 只需一条数据线即可传输温度数据或者命令, 占用的 I/O 资源较少。由于传输的是数字信号, 它受其他电路的影响较小。

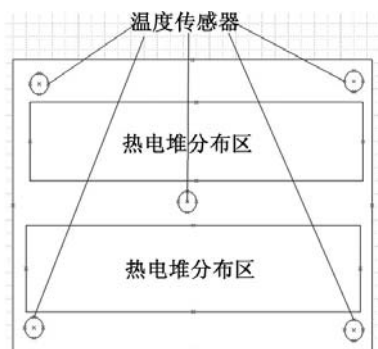


图 3 热电堆及温度传感器的安装图

3.3 CompactRIO

CompactRIO 是控制系统的核心, 其拥有的 FPGA 门数达到几百万个, 具有丰富的 I/O 资源。在 FPGA 层面上, 使用 LabVIEW 可实现图形化编程。

CompactRIO 的串口 I/O 模块用以获取黑体板的温度数据。其内部 FPGA 层面以 PID 算法为核心计算控制量, 并产生相对应的 PWM 波, 然后由数字 I/O 将控制信号输出至功放板。

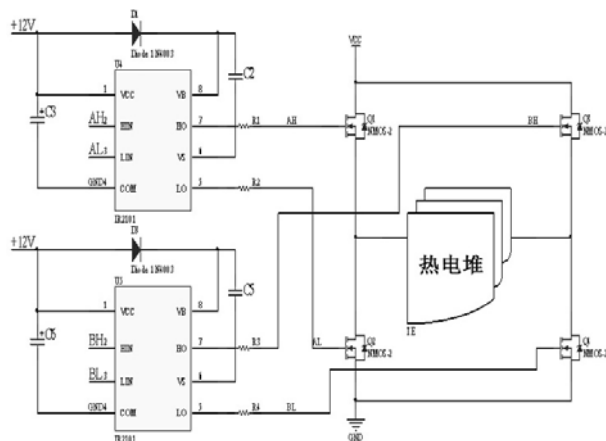


图 4 H 桥功放及驱动草图

3.4 H 桥功放

由于热电堆既可能工作在加热状态, 也可能工作在制冷状态, 因此功率驱动采用 H 桥功放^[2]。每个 H 桥功放由 2 个 NMOS 管驱动器和 4 个 NMOS 管组成。MOS 管驱动上桥时利用自举

电路的工作原理^[3]。当下桥开通时, 电源通过二极管和电容对上桥进行充电; 当下桥关断, 上桥打开时, 由于电容两端电压不能突变, 电容正端电压被抬高, 直接驱动上桥 MOS 管。自举电路主要是利用半桥输出端在高低电平之间的摆动进行工作的, 此时正好可以利用到控制信号是 PWM 波这一特性。

4 软件设计

用 LabVIEW 对 CompactRIO 进行了图形化编程^[4]。由于黑体板的加热量和制冷量是由热电堆的平均电流决定的, 所以控制信号采用 PWM 波。当脉冲宽度发生变化时, 输入至热电堆的平均电流也发生变化。软件设计的核心是 PID 控制算法。软件部分主要包括以下几个模块: (1) DS18B20 温度数据解析模块; (2) PID 输出量计算模块; (3) 脉宽调制模块; (4) 控制信号输出模块。

4.1 DS18B20 温度数据解析模块

集成在功放板上的单片机将 DS18B20 从黑体板上采集的温度数据打包后发送至 CompactRIO 的串口模块上^[5]。CompactRIO 控制器中的温度数据解析模块将串口数据解析成实际温度值。DS18B20 数据格式与实际温度值的对应关系如表 1 所示。

表 1 12 位工作模式的数据格式

高位数据	BIT15	BIT14	BIT13	BIT12	BIT11
	S	S	S	S	S
低位数据	BIT10	BIT9	BIT8	S=SIGN	
	2^6	2^5	2^4		
低位数据	BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3
	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}
低位数据	BIT2	BIT1	BIT1		
	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}		

表中, S 是标志位。当温度大于 0 时, S=0; 反之, S=1。当 DS18B20 所测温度大于 0 时, 数据采用原码传输; 当温度小于 0 时, 数据则采用补码传输。

4.2 PID 输出量计算模块

PID 算法是工业领域中最常用的控制算法, 已被广泛应用于温度控制和流量控制等。PID 算

法的核心参数是 P(比例调节)、I(积分调节)和 D(微分调节)。PID 控制器的输入参量是过程变量和设定点。这里,过程变量就是实际温度值,设定点就是设定温度值。PID 控制器根据预先设置好的 P、I、D 参数,利用 PID 算法计算出一个控制量。该控制量作用于系统后,可迫使实际温度值向着设定值逼近,并最终稳定在设定温度值附近。PID 算法^[6]可表达为

$$u(t) = K_c \left(e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dt + T_d \frac{de}{dt} \right) \quad (1)$$

式中, $e = SP - PV$, SP 是设定点, PV 是过程变量; K_c 是控制增益,代表比例调节作用; T_i 是积分时间,代表积分调节作用; T_d 是微分时间,代表微分调节作用。

CompactRIO 的 FPGA 层面通过软件算法进行 PID 计算。计算出的控制量经归一化后 (-100%, 100%) 被直接输送至脉宽调制模块。

4.3 脉宽调制模块

黑体板的加热量或制冷量是由流经热电堆的平均电流决定的。而 PWM 波的脉宽会发生变化,因而可改变热电堆的平均电流。

脉宽调制模块根据 PID 输出量计算模块得到的归一化控制量和输入的频率值,产生脉宽调制波。

4.4 控制信号输出模块

热电堆中的电流方向是通过 H 桥 MOS 管的开关控制的。热电堆与 H 桥的连接情况如图 5 所示。在加热时, Q2 和 Q3 断开, Q1 和 Q4 闭合, 电流在热电堆中从左向右流; 在制冷时, Q1 和 Q4 断开, Q2 和 Q3 闭合, 电流从右向左流。

将 AL 和 BL 作为加热或制冷的使能信号。加热时, $AL=L$, $BL=H$; 制冷时, $AL=H$, $BL=L$ 。AH 和 BH 则通过输入 PWM 波信号分别控制加热量和制冷量, 具体的控制信号波形图如图 6 所示。

5 实验结果及分析

在实验室通风状态下, 选择合适的 P、I、

D 参数对本系统进行了测试。黑体板温度每秒采样一次。在稳定状态下, 采样次数大于 1000, 即总采样时间大于 16min, 并实时记录了黑体板的温度值。

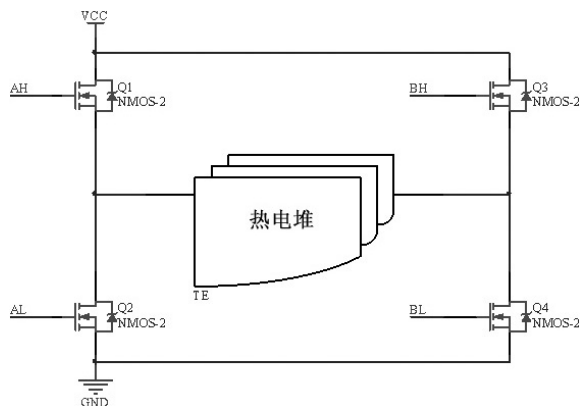


图 5 H 桥与热电堆的互联图

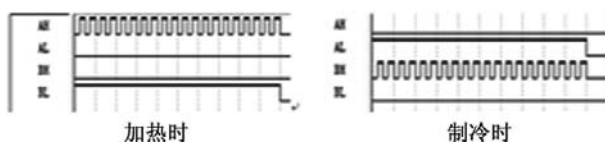


图 6 热电堆工作时的控制信号波形图

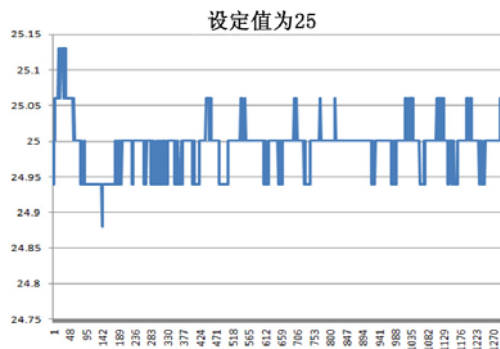


图 7 设定值为 25 °C 时的测试结果

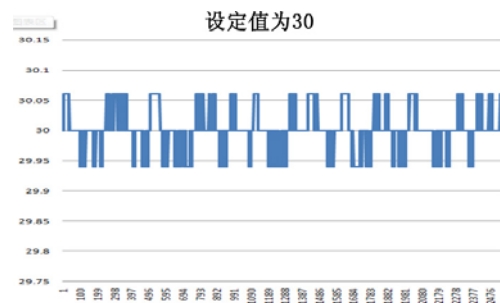


图 8 设定值为 30 °C 时的测试结果

(下转第 44 页)