

# 基于惯性传感器的体感手环教学系统的设计

陈崇辉, 邓 筠

(华南理工大学广州学院 电气工程学院, 广州 510800)

**摘要:** 针对课堂教学过程中需要手握激光笔遥控 PowerPoint 幻灯片翻页和话筒出现啸叫的问题, 文章设计了体感手环教学控制系统, 该系统采用基于蓝牙传输的无线控制结构, 对体感手环的惯性传感器和接收装置等硬件电路和软件流程进行设计, 重点研究并提出了基于惯性传感器的手势动作定义和特征提取, 并对话筒啸叫消除的实现方法进行论述; 实验测试数据表明, 系统识别向左或右、向上或下一挥的手势动作成功率在 92% 以上, 误动作率在 4% 以内, 能够控制 PowerPoint 幻灯片向上或向下翻页以及控制无线话筒的音量大小, 可以实时缓解话筒啸叫引起的干扰, 实现设计效果。

**关键词:** 体感手环; 惯性传感器; 教学系统

## Design of Teaching System of Somatosensory Bracelet Based on Inertial Sensor

Chen Chonghui, Deng Jun

(School of Electrical Engineering, Guangzhou College, South China University of Technology, Guangzhou 510800, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of remote control of PowerPoint slides and microphone whistling in the process of classroom teaching, this paper designs a teaching control system, which adopts the wireless control structure based on Bluetooth transmission to design the hardware circuit and software flow of inertial sensor and receiving device. This paper focuses on the definition and feature extraction of gesture motion based on inertial sensor, and discusses the realization method of microphone squealing elimination. The experimental test data show that the success rate of gesture recognition is more than 92%, and the error rate is less than 4%, the system can control the PowerPoint Slide to turn up or down, control the volume of wireless microphone, and can real-time alleviate the interference caused by microphone roar, and achieve the design effect.

**Keywords:** somatosensory bracelet; inertial sensor; teaching system

## 0 引言

教师在课堂多媒体教学中, 普遍使用微软公司 PowerPoint 软件设计的演示文稿 PPT 课件<sup>[1]</sup>, 典型的场景是教师手握激光笔, 头戴无线话筒, 可在教室内随意走动完成教学工作。目前存在的主要问题有: 教师必须手握激光笔, 阻碍了教师手势讲解等方面的灵活演示<sup>[2]</sup>; 无线话筒的音量大小只能在讲台上手动调节, 使用不够方便; 教师用话筒讲话过程中可能会出现话筒啸叫(突然发出高音)的现象, 实在令人难以忍受, 并严重影响教学气氛。

本文应用惯性感测技术设计了一种体感手环教学控制系统, 惯性感测主要是以陀螺仪、加速度计等惯性传感器来感测使用者肢体动作的物理参数, 从而求得使用者在空间中的各种动作<sup>[3-4]</sup>。只要使用者手腕佩戴体感手环, 通过特定的手势动作就可以进行计算机 PowerPoint 软件遥控翻页, 就可以控制无线话筒的音量大小, 并有效自动抑制话筒啸叫对现场的影响。

收稿日期: 2019-12-16; 修回日期: 2020-01-20。

基金项目: 广东高校省级重点平台及科研项目(55-CQ180004); 华南理工大学广州学院优秀骨干教师资助项目(55-YG180014)。

作者简介: 陈崇辉(1981-), 男, 广东电白人, 硕士, 高级实验师, 主要从事电工电子技术与教学管理方向的研究。

通讯作者: 邓 筠(1983-), 女, 广东三水人, 硕士, 实验师, 主要从事电工电子技术与教学方向的研究。

## 1 系统总体方案设计

本系统主要由体感手环和教学接收装置组成, 结合现有的无线话筒和接收, 功放和音箱, 计算机和投影等, 成为一套完整的体感手环教学控制系统, 其系统结构如图 1 所示。教师佩戴体感手环, 系统对教师特定手势动作的识别, 即可通过手势动作遥控幻灯片翻页, 从而能够让教师在课堂上真正把双手解放出来, 用于教学的手势辅助讲解和演示, 给予师生最大程度的沟通和交流, 提高教与学的效果<sup>[1]</sup>; 同时, 教师佩戴无线话筒, 功放把无线话筒接收到的声音信号放大并驱动音箱进行广播, 教师可以通过特定的手势动作对话筒音量大小进行控制, 当教师讲话过程中出现话筒啸叫现象时, 系统会自动对话筒声音直流成分幅度进行实时提取, 从而控制话筒音量迅速减小直至静音, 保证课堂的教学氛围。

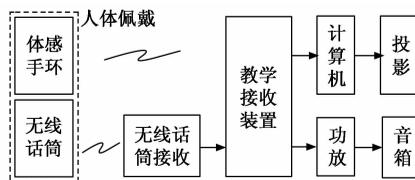


图 1 系统结构框图

## 2 体感手环设计

### 2.1 手环总体设计

体感手环的设计需要符合普通人的操作习惯, 以佩戴

在使用者的右手手腕上部为宜, 要求体感手环至少能够识别操作者 4 种手势动作, 识别的成功率在 92% 以上, 误动作率在 4% 以内; 佩戴体感手环的使用者在在教室内随意走动仍能实现无线数据的传输, 从而实现了对 PowerPoint 幻灯片向上或向下翻页以及对无线话筒的音量大小调节的无线操作功能。

体感手环由惯性传感器、微控制器和无线数据模块组成。微控制器从惯性传感器获取手势动作数据, 算法处理后, 对手势动作进行定义, 并提取手势特征, 实现对特定手势动作的识别, 然后通过无线数据模块把手势动作对应的特征代码传输给教学接收装置。手环总体如图 2 所示。

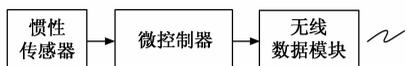


图 2 手环总体框图

### 2.2 惯性传感器电路设计

在体感手环中, 手势动作由惯性传感器 MPU6050 采集数据。惯性传感器原理如图 3 所示, 通过 I<sup>2</sup>C 控制总线 2 个引脚与微控制器通信<sup>[5-6]</sup>。如果微控制器内部该引脚已有上拉电阻, 则电阻 R2 和 R3 可以省略。图 3 中芯片第 12 引脚 INT 是中断功能, 如摇晃、自由落体等均可触发产生中断信号, 在本设计中没用到中断, 所以该引脚悬空; 芯片第 9 引脚 AD0 通过电阻 R1 接地, 设置该引脚为低电平, 此时器件地址设置为十六进制数 0x68。微控制器通过总线读取芯片的器件地址数据是否为 0x68, 可作为判断微控制器与 MPU6050 之间 I<sup>2</sup>C 通信是否正确的依据。硬件电路连接正确, 提供合适的工作电源 3.3 V, MPU6050 上电默认时钟是内部 8 MHz 振荡器, 微控制器与 MPU6050 之间底层驱动通信的时序也正确的前提下, 微控制器首先对 MPU6050 的寄存器进行软件初始化配置, 主要有电源管理寄存器 1、陀螺仪配置寄存器、加速度计配置寄存器、采样频率分频器寄存器、中断使能寄存器以及电源管理寄存器 2 等, 接下来就是读取原始数据, 从而获取手势动作数据做好准备。

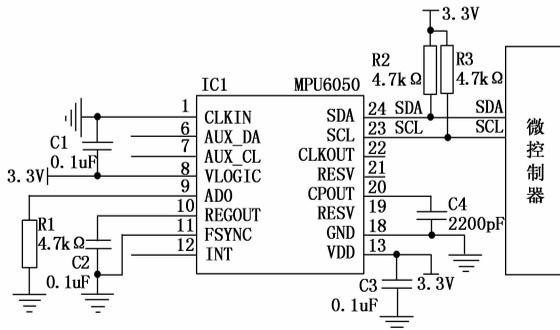


图 3 传感器原理图

### 2.3 手势动作定义

教师授课过程中可能会出现各种各样的手势动作, 只有特定的、被定义了的手势动作才会用于系统的控制, 而其余未被定义的手势动作均认为是伴随讲解过程中产生的噪声, 这个噪声会随着不同的使用者而不同。

手势动作定义基本原则是设备易于识别手势; 对于使用者来说, 容易学习和记忆, 操作简单, 便于重复。本文定义了如表 1 所示的 4 种手势动作。以使用者右手手腕佩戴手环为例, 当手掌面垂直于地面, 使用者用力向左或向右一挥, 此时对应的两种手势动作定义为幻灯片 PPT 的上一页或下一页操作; 同理, 当手掌背向地面, 用力向上一挥对应的手势动作定义为无线话筒的音量增加, 当手掌心向地面, 用力向下一挥对应的手势动作定义为音量减小。这 4 种特定的手势动作是典型的代表上下左右的操作, 实现系统的功能。

表 1 手势动作定义

手势动作				
控制对象	幻灯片 PPT	幻灯片 PPT	无线话筒 Mic	无线话筒 Mic
手势	上一页	下一页	音量+	音量-
作用	PgUp	PgDn	↑	↓
手势说明	佩戴体感手环, 手掌面垂直于地面, 用力向左一挥	佩戴体感手环, 手掌面垂直于地面, 用力向右一挥	佩戴体感手环, 手掌背向地面, 用力向上一挥	佩戴体感手环, 手掌心向地面, 用力向下一挥

### 2.4 手势特征提取

手势特征提取是针对一个完整、有效的手势动作, 主要有手势起终点、手势长度、手势能量以及手势波峰数等特征<sup>[7]</sup>。在进行有效手势信号截取前, 必须要准确检测手势起点和终点, 通过连续采样多个数据来降低环境噪声和用户手势抖动引起的冗余数据, 从而实时截取有效手势动作的信号数据。从手势动作起点开始到手势结束的时间差值, 定义为手势长度, 一般手势动作持续的时间长度为零点几秒, 否则很可能是无效手势动作。一次有效手势动作在运动过程中的剧烈程度称为手势能量, 手势能量在不同频段内的分布随时间变化持续呈现不均衡现象<sup>[8]</sup>, 但手势能量明显过大或者过小, 则很可能是误操作手势动作。手势波峰数是各轴的波峰数之和, 所以重点是计算每一个坐标轴的波峰数, 累计波峰的个数即可得到该轴的波峰数, 进而计算得到加速度波峰数和角速度波峰数, 一次有效手势动作的波峰数不为 0<sup>[9]</sup>, 否则很可能是误动作手势而不予处理。

### 2.5 手环软件流程设计

通过微控制器获取惯性传感器 MPU6050 的数据, MPU6050 里面集成了三轴陀螺仪和三轴加速度计, 其中加速度计的三轴分量 ACC\_X、ACC\_Y 和 ACC\_Z 均为 16 位有符号整数, 根据 3 个轴向上的加速度是正值或负值, 判断手环里面的传感器器件是沿坐标轴负向或正向运动, 从而识别佩戴的手环是向左或向右挥动的方向; 得到的数据经过姿态解算和卡尔曼滤波算法等信号处理, 去掉未被定义的手势动作噪声数据, 再根据手势动作特征提取, 判断是否是已定义的有效手势动作, 如果是则查找表格得到特定手势动作对应的数据, 如果不是则丢弃该组数据不予处理。每一种已定义的手势动作均使用一个特定的数字代码表示, 并通过无线数据模块发射出去, 等待教学接收装

置接收。体感手环流程如图 4 所示。

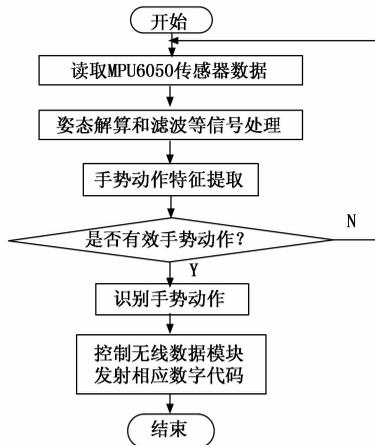


图 4 体感手环流程

### 3 教学接收装置设计

#### 3.1 接收装置总体设计

教学接收装置的设计需要具有和计算机方便连接的 USB 端口，具有和功放输入兼容的音频端口，其作用有两个方面：第一方面负责接收体感手环发送过来的控制数据，通过 USB 键盘接口芯片与计算机通信，从而控制 PowerPoint 软件翻页功能；第二方面负责处理无线话筒音频信号，通过数字音量控制电路对话筒信号进行大小处理，从而实现话筒音量大小的控制功能。教学接收装置以微控制器作为核心，调动 A/D 模数转换模块、数字音量控制电路、无线数据模块以及 USB 键盘接口芯片协调工作。接收装置总体如图 5 所示。微控制器芯片采用 IAP15W4K58S4 单片机，其内部集成有 4 组全双工异步串行通信口 (UART)<sup>[10]</sup>，可方便与蓝牙无线数据模块交换信息，接收数据，实现体感手环与教学接收装置之间数据的无线传输；当单片机接收到控制 PowerPoint 软件翻页指令时，单片机输出控制信号给 USB 键盘接口芯片，从而把控制指令通过 USB 接口传输给计算机，实现翻页功能；当单片机接收到控制话筒音量大小指令时，单片机与数字音量控制电路串行数据通信，通过对相应寄存器的操作，从而控制话筒音频的衰减量，实现话筒音量大小控制功能；单片机内部也集成 10 位精度的 A/D 模数转换模块，可将连续变化的话筒音频信号模拟电压转化成相应的数字信号，并进入单片机处理。当对着无线话筒讲话过程中出现话筒啸叫的现象时，A/D 模数转换模块得到的数字量会显著增大，并超过预设的阈值，此时单片机控制数字音量控制电路，使话筒音量迅速减小直至静音，待啸叫消失后，自动恢复话筒的音量，最大程度减少话筒啸叫对教学课堂的影响。

#### 3.2 无线数据模块设计

无线数据模块采用蓝牙数据透传模块实现，教学接收装置和体感手环中分别设计有蓝牙模块，能满足在教室内随意走动并可靠实现无线数据传输，硬件电路方面相类似，蓝牙数据模块电路图如图 6 所示；软件流程方面由于体感手环蓝牙模块工作于从模式，所以教学接收装置蓝牙模块

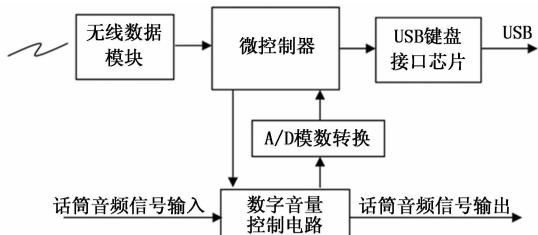


图 5 接收装置总体框图

应工作于主模式方能正常建立连接，实现数据传输。单片机 IAP15W4K58S4 芯片内部集成有全双工异步串行通信口，与蓝牙模块连接实现体感手环手势数据实时传输到教学接收装置软件处理。蓝牙模块工作状态通过图 6 中 LED 的显示状态传递给用户，当 LED 以 0.8 秒一亮一灭均匀慢速闪烁时，表示等待体感手环配对；当主从两个蓝牙模块之间成功建立连接后，LED 将会常亮，表示可以传输数据。

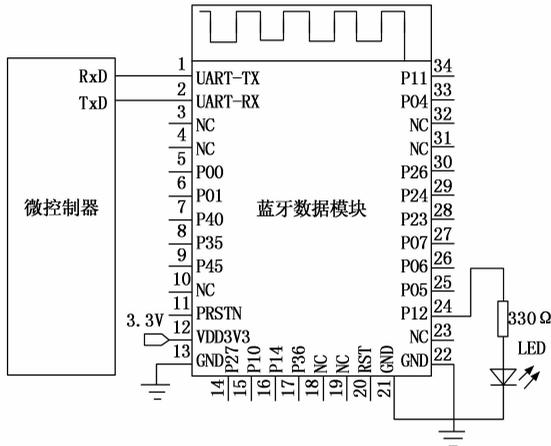


图 6 蓝牙数据模块电路图

#### 3.3 数字音量控制电路设计

数字音量控制电路原理如图 7 所示，采用 PT2257 双通道音量控制芯片，该芯片通过 I<sup>2</sup>C 控制总线技术与微控制器通信，在串行时钟 SCL 为高电平期间，串行数据 SDA 高低电平的变化定义为总线的启动或者停止信号；当 SCL 为低电平期间，SDA 高低电平的变化作为数据的传送。PT2257 每次传送 8 位数据，包含音量衰减量、声道选择以及静音控制位，传送时高位数据在前，低位数据在后，传送完成后必须紧跟一个应答位<sup>[11]</sup>。本系统中通过设置音量衰减量就可以实现对无线话筒音量的控制，在出现话筒啸叫现象时，微控制器 AD0 检测到话筒声音直流成分幅度明显瞬时增大，此时设置静音控制位即可静音话筒，消除话筒的啸叫。

由于无线话筒音频信号不分左右声道，不具备立体声功能，所以左声道输入 LIN 和右声道输入 RIN 并联在一起作为信号输入端，经过 PT2257 处理后的话筒音频输出信号分开左右声道分别输入功放进行放大，从而完成无线话筒音量的控制。

#### 3.4 教学接收装置流程设计

当微控制器通过无线数据模块接收到佩戴体感手环的使用者的手向左或向右一挥对应的数字代码 00 或 01 时，表

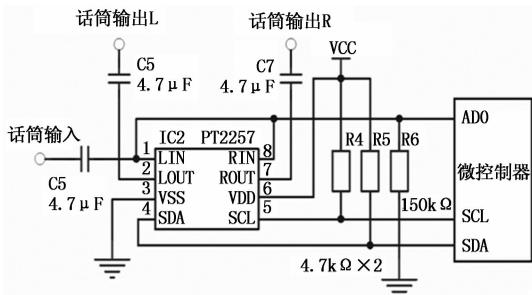


图 7 数字音量控制电路原理图

示使用者需要对接收装置进行控制了。此时微控制器输出控制信号通过 USB 键盘接口芯片控制计算机 PowerPoint 软件翻页。教学接收装置流程如图 8 所示。同理, 当手环向上或向下一挥发出对应的数字代码 02 或 03 时, 表示使用者正在进行无线话筒音量增大或减小的远程控制操作。

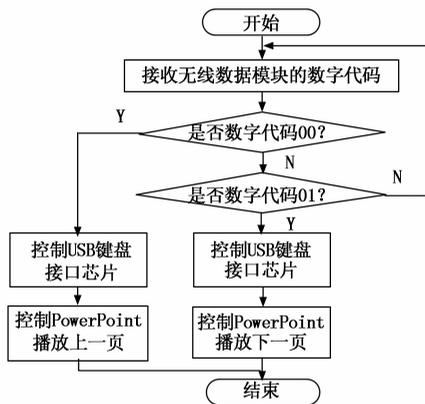


图 8 教学接收装置流程

### 3.5 消除话筒啸叫流程设计

A/D 转换器能够实时采样无线话筒的音频信号的变化, 并输入单片机处理。先进行程序判断滤波算法, 剔除掉因随机干扰、误检测或系统不稳定等偶然因素引起的尖脉冲干扰信号; 再利用滑动平均滤波算法, 抑制数据中可能出现的周期性干扰成分, 如无线电波引起的高频干扰<sup>[12]</sup>。

程序判断滤波算法是通过实践经验估算, 得到相邻采样数据允许的最大偏差值  $D_T$  (取值为某个数字)<sup>[12]</sup>。对当前话筒声音 A/D 转换值进行判断: 如果当前 A/D 值与之前的值相差的绝对值大于某个阈值  $D_T$ , 则当前值无效, 并保留之前值; 否则就认为是有效数据, 当前 A/D 值就成为话筒声音最新数据, 如式 (1) 所示:

$$D_n = \begin{cases} D_n & |D_n - D_{n-1}| \leq D_T \\ D_{n-1} & |D_n - D_{n-1}| > D_T \end{cases} \quad (1)$$

在没有外部额外的各种干扰的前提下, 通过滑动平均滤波算法, 把连续  $N$  个对话筒声音的采样值 ( $N$  是一个具体的数字) 当作一个具有  $N$  个元素的数组, 每次 A/D 转换完成就刷新最后一个数据, 并剔除数组原来最前的一个数据, 然后对数组中的  $N$  个数据进行算术平均运算, 获得新的话筒声音的滤波结果。式 (2) 为算术平均计算公式:

$$D = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N D_n \quad (2)$$

此计算结果数据用来阈值甄别。当对着无线话筒讲话过程中出现话筒啸叫的现象时, 系统自动对声音频率曲线上的峰点对应的频率成分进行提取, 一旦检测到数据达到或超过阈值信号, 单片机控制数字音量控制模块, 使话筒音量迅速减小直至静音, 待啸叫消失后, 自动恢复话筒的音量, 最大程度减少话筒啸叫对教学课堂的影响。消除话筒啸叫流程如图 9 所示。

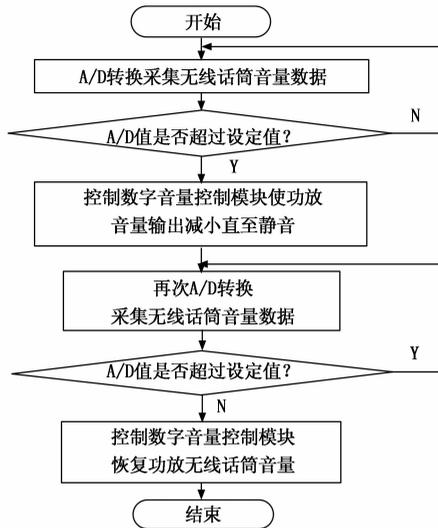


图 9 消除话筒啸叫流程

## 4 系统测试与分析

为了缩小手环体积, 元器件均使用贴片封装, 经过软件 Altium Designer 进行电路原理图和 PCB 设计、发单外面公司打样、元器件焊接与程序调试等环节, 对照电路原理图全面检查各芯片、单元电路、模块电路是否均正确连接, 是否都能够正常工作, 特别是传感器 MPU6050、蓝牙模块、锂电池充电芯片等。经过多次参数调整与修正, 直至系统能够正常稳定地工作。

测试人员佩戴体感手环, 以一个 100 页面的 PPT 幻灯片作为实验测试, 向左、向右、向上和向下一挥的手势动作测试各 100 次, 成功率在 92% 以上, 误动作率在 4% 以内, 实验具有一定的随机性, 测试数据如表 2 所示。

表 2 测试数据

手势动作示意图				
控制对象	幻灯片	幻灯片	无线话筒	无线话筒
手势作用	上一页	下一页	音量+	音量-
测试次数	100	100	100	100
成功次数	95	93	94	92
成功率	95%	93%	94%	92%
误动作次数	2	4	2	3
误动作率	2%	4%	2%	3%

从表 2 测试数据可以看出, 体感手环可有较高成功率

识别手势动作, 教学接收装置能够可靠接收数据并控制 PowerPoint 软件向上或向下翻页、控制话筒音量的大小; 当出现话筒啸叫现象时, 能够及时有效地抑制刺耳的噪声, 保持良好的教学氛围, 提升课堂效果。

### 5 结束语

本文针对课堂教学中通过体感手环遥控 PPT 幻灯片翻页进行了设计, 提出体感手环教学控制系统的系统结构, 重点对手势动作的特征展开研究, 并对系统硬件电路原理及软件流程进行设计与调试, 特别是论述了话筒啸叫的消除方法。实验证明体感手环教学控制系统在课堂教学中可以有效地识别教师遥控幻灯片翻页的手势动作, 能够实时缓解话筒啸叫引起的干扰, 把教师的双手回归到教学手势的讲解和演示, 促进教学效果的提升。

#### 参考文献:

[1] 邓 筠, 陈崇辉. 体感手环控制幻灯片翻页方法及装置设计 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (3): 188-191.  
 [2] 汪 涛, 张持健. 基于微加速度计的无线教鞭的设计 [J]. 电子设计工程, 2014, (10): 75-77.  
 [3] 高 菲, 刘 龙, 鞠尔男, 等. 高精度高灵敏度体感空中鼠标的

(上接第 159 页)

表 3 温场精确度实验测试数据

温度/℃	测试数据/℃			测试结果/℃
5	5.16	5.01	4.68	0.34
	5.31	5.02	4.66	
	5.32	5.15	4.83	
10	9.96	9.95	9.91	0.18
	10.10	10.13	9.92	
	10.23	10.25	10.20	
20	20.02	20.04	20.06	0.03
	20.03	20.03	20.06	
	20.05	20.07	20.08	
30	30.26	30.29	30.25	0.05
	30.27	30.28	30.23	
	30.20	30.23	30.26	
40	40.12	40.23	40.13	0.19
	40.04	40.29	40.37	
	40.06	40.15	40.22	
50	50.01	49.83	50.05	0.28
	50.08	50.26	50.37	
	50.07	49.85	49.75	
60	59.85	60.06	59.88	0.39
	59.87	59.95	59.70	
	59.66	59.67	59.38	
70	69.70	69.83	70.04	0.30
	69.78	69.97	70.06	
	69.57	69.89	69.96	
80	79.73	79.90	79.03	0.33
	79.71	79.90	80.04	
	79.49	79.72	79.87	

发射端设计 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2018, 18 (2): 50-54.  
 [4] 李 青, 王 青. 体感交互技术在教育中的应用现状述评 [J]. 远程教育杂志, 2015 (1): 48-56.  
 [5] 陈崇辉. 基于 Android 手机的健康调理手环设计 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (12): 4145-4148.  
 [6] 徐正正. 具有惯性解耦功能的车轮力传感器设计与实现 [D]. 南京: 东南大学, 2017.  
 [7] 罗 信. 基于 Procam 交互系统的自然手势识别方法研究 [D]. 广州: 广东工业大学, 2014.  
 [8] 苗敏敏. 基于手机内置加速度传感器的动态手势认证方法 [D]. 无锡: 江南大学, 2015.  
 [9] 陈崇辉, 邓 筠, 陈崇光, 等. 体感手环教学系统: 中国, 20434775. 8 [P]. 2015-05-20.  
 [10] 丁向荣, 陈崇辉. 单片微机原理与接口技术: 基于 STC15W4K32S4 系列单片机 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2015.  
 [11] 杨 红. 基于 PT2257 的数字音量控制系统设计 [J]. 清远职业技术学院学报, 2012, 5 (3): 23-26.  
 [12] 胡仕兵, 赵敏智. 智能交直流电压数据采集系统的设计 [J]. 电子技术应用, 2014, 40 (8): 83-86.

80 ℃ 的温度范围内红外辐射源温度精度为  $(0.05+0.02|\Delta t|)$  ℃ ( $\Delta t$  为环境温度与设定温度之差)。

### 5 结束语

根据红外成像测试设备的校准需求, 设计一种温控系统的硬件电路, 通过计量校准可知该温控系统采样精度可达 0.03 ℃, 与红外辐射源配套使用, 对红外辐射源的主要性能指标进行了验证, 结果表明, 升温 5 ℃ 并稳定时间  $\leq 8$  min, 均匀性为  $(0.05+0.02|\Delta t|)$  ℃ ( $\Delta t$  为环境温度与设定温度之差), 性能指标满足设计要求。

#### 参考文献:

[1] 潘 攀. 高精度高均匀性可控红外热源的设计 [J]. 微计算机信息, 2006, 22: 49-51.  
 [2] 辛 舟. 基于 ARM 的常温面源黑体精密温度测控技术研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 2013.  
 [3] 卫显含. 面源黑体辐射特性校准系统的校准方法 [J]. 科技信息, 2008, 36 (90): 117-118.  
 [4] 黄大兴. 基于 ADRC 的面源黑体温控系统研究 [D]. 天津: 天津理工大学, 2017.  
 [5] 骆 丽. 基于 PT100 的高精度测温电路 [J]. 北京交通大学学报, 2017, 41 (5): 52-57.  
 [6] 毛菊林. 高温黑体辐射源的性能考核 [J]. 中国计量, 2016, 10: 105-107.  
 [7] 胡宾鑫. 激光测距机测程模拟检测系统的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (5): 619-623.