

热释电红外传感器及其在人员计数系统中的应用

易金桥^{1,2}, 黄 勇¹, 廖红华¹, 谭建军¹, 姜胜林²

- (1. 湖北民族学院 信息工程学院, 湖北 恩施 445000;
2. 华中科技大学 光学与电子信息学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 针对图像采集人员计数系统复杂、价格昂贵等缺点, 在分析热释电效应以及红外传感的基础上, 采用 BISS0001 型信号处理专用集成电路设计了基于 RE200B 热释电红外传感器的放大电路, 研究其在不同人体运动状态下的输出波形; 设计了以双热释电红外传感器为信号采集单元, 以 Cortex-M3 单片机为控制核心的人员计数系统, 并研究其主要算法。实验结果表明, RE200B 型热释电红外传感器的输出波形能够准确表征人体的不同运动状态, 基于双热释电红外传感器的人员计数系统能准确分辨人体的运动方向, 并实时计数, 可广泛应用于人体探测和人员计数等领域。

关键词: 热释电效应; 红外传感; 人员计数; RE200B; Cortex-M3

中图分类号: TH744 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2015)04-1186-07

Pyroelectric infrared sensor and its application in people counting system

Yi Jinqiao^{1,2}, Huang Yong¹, Liao Honghua¹, Tan Jianjun¹, Jiang Shenglin²

- (1. School of Information Engineering, Hubei University for Nationalities, Enshi 445000, China;
2. School of Optical and Electronic Information, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: People-counting systems for image acquisition are usually complicated and expensive. In this paper, with detailed analysis of the pyroelectric effect and infrared sensor, BISS0001 integrated signal processing chip were chosen to design an amplifier circuit for the RE200B pyroelectric infrared sensor, in order to study its output waveforms under various human movement states. A people-counting system was designed, with double pyroelectric infrared sensors as the signal acquisition unit and a Cortex-M3 microcontroller as the control core, and its main algorithms were researched. The experimental results demonstrate that different body movement states can be accurately characterized using the output waveforms of the RE200B pyroelectric infrared sensor and the movement directions can be precisely distinguished by the people-counting system based on double pyroelectric infrared sensors designed in this paper. Furthermore, the system realizes real-time counting, and can be applied to a wide range of areas including human body detection and counting.

Key words: pyroelectric effect; infrared sensor; people counting; RE200B; Cortex-M3

收稿日期: 2014-08-05; 修订日期: 2014-09-07

基金项目: 国家自然科学基金(61261016, 61263030); 中小企业科技创新基金(12C26214204505); 湖北省自然科学基金(2013CFB044)

作者简介: 易金桥(1979-), 男, 博士生, 主要从事传感器及其应用方面的研究。Email: jinqiao_yi@hust.edu.cn

导师简介: 姜胜林(1967-), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 主要从事光电信息功能材料与器件方面的研究。Email: jsl@hust.edu.cn

0 引言

高端的人员计数系统一般采用摄像头采集图像,通过 DSP 处理器进行图像分析,对封闭区域流动的人员进行实时计数,被广泛应用于机场、边境口岸、军事管理区等安全等级要求较高的场所^[1-3]。基于热释电红外传感的人员计数系统因为价格低廉、结构简单、安装方便等优点常被用于办公楼、教学楼、公共汽车等,实现人员计数和考勤等功能^[4-6],具有广阔的应用前景。

文中介绍了热释电效应和红外传感的基本原理,测量了 RE200B 型热释电红外传感器在不同人体运动状态下的输出波形,最后以 Cortex-M3 单片机为控制核心,设计了基于双热释电红外传感器的人员计数系统,并研究了该系统的主要算法。

1 热释电效应与红外传感

1.1 热释电效应

外界温度的变化导致晶体内部产生自发极化的现象称之为热释电效应^[7]。自发极化是热释电晶体的固有特性,自发极化强度 P_s 是关于温度的函数, P_s 随温度的降低而升高,随温度升高而降低,在居里温度 T_c 时, P_s 等于零。

热释电效应的物理过程如图 1 所示。具有热释电效应的敏感材料单元是热释电传感器的核心部

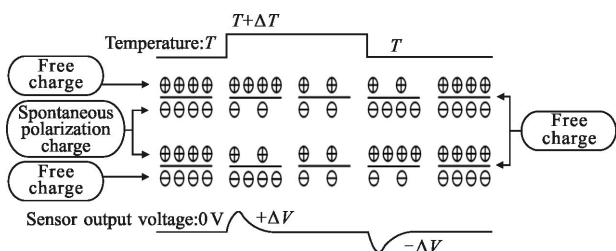


图 1 热释电效应原理

Fig.1 Principle of pyroelectric effect

件,其表面电荷包括自由电荷和自发极化电荷两部分,称之为复合电荷。当晶体吸收辐射到晶体表面的红外线能量时,其自发极化强度随着晶体温度的升高而降低,因此,自发极化电荷量减少,晶体表面存在的多余自由电荷将以电压或电流的形式输出,可以通过检测处理后的输出信号来探测红外辐射。反

之,当红外辐射被截断时,晶体的自发极化强度随温度的恢复而恢复,晶体表面聚集了多余的自发极化电荷,因此产生相反方向的电压或电流输出^[8]。

假如在时间 dt 内,热释电晶体温度变化 $d\Delta T$ 所引起的极化强度变化为 dp ,则与极轴垂直的晶体表面产生的电流面密度可以表达为^[9]:

$$J = \frac{dp}{dt} = \frac{dp}{d\Delta T} \cdot \frac{d\Delta T}{dt} \quad (1)$$

式中: $\frac{dp}{d\Delta T}$ 称为热释电系数,通常用 p_m 表示。

一般情况下,入射的红外辐射是角频率 ω 的正弦调制光,功率幅度为 W_0 ,则辐射可表示为 $W(t) = W_0 \cdot e^{j\omega t}$,探测器吸收率为 a ,假定 dt 时间内热释电晶体上升的温度为 $d\Delta T$,则有:

$$a \cdot W(t) = C \cdot \frac{d\Delta T}{dt} + G \cdot \Delta T \quad (2a)$$

$$a \cdot W_0 \cdot e^{j\omega t} = C \cdot \frac{d\Delta T}{dt} + G \cdot \Delta T \quad (2b)$$

式中: C 为晶体的热容量; G 为晶体与周围环境的热导率。令初始条件为: $t=0, \Delta T=0$,求解方程得:

$$\Delta T(t) = \frac{a \cdot W_0}{G + j\omega C} \cdot e^{j\omega t} \quad (3)$$

所以,热释电晶体产生的电流可表示为:

$$I = p \cdot A \cdot \frac{d\Delta T}{dt} = \frac{j\omega p \cdot A \cdot a \cdot W_0}{G + j\omega C} \cdot e^{j\omega t} \quad (4)$$

式中: A 为电极的面积。

1.2 热释电红外传感器

热释电红外传感器是利用热释电效应探测红外辐射的光接收器件,其敏感单元主要采用钽酸锂、锆钛酸铅、铌酸锂等热释电材料,通过真空镀膜工艺在上下两个表面制备电极,并在上表面镀一层黑色氧化膜来提高热释电晶体的转换效率。RE200B 型热释电红外传感器的等效电路如图 2 所示,单个传感器

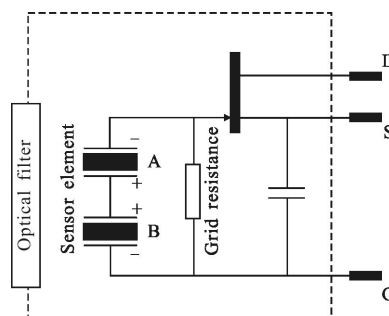


图 2 RE200B 型红外传感器等效电路

Fig.2 Equivalent circuit of RE200B type infrared sensor

元件类似一个电容器,当接收到人体红外辐射时,传感元件输出电压信号极其微弱,输出阻抗极高,为了提高传感器的探测精度,在传感器内引入一个厚膜电阻和一个阻抗变换场效应管组成源极输出级,提高传感器的输出电压。

为了抑制环境温度变化对传感器探测性能的影响,在同一晶片上集成了两个极性相反的热释电敏感单元,当环境温度发生变化时,两个极性相反的传感器元件产生的热释电信号正好相反,整体没有信号输出,起到温度补偿的作用^[10]。在阳光和灯光下,由于光源与传感器的相对位置基本不变,传感器对于此类光源不敏感,因此 RE200B 型热释电传感器可以抑制绝大部分红外线和可见光的干扰。当人体在探测区域静止时,两个传感器元件接收到的红外

线辐射量相等,产生的电荷量互相抵消,同样也没有电压信号输出。但是,当人体从不同方向运动时,两个传感器元件先后接收到来自人体的红外辐射而产生相反的极化电荷,形成两个反相的电压量输出,可以用于探测沿不同方向运动的人体。

2 传感器信号采集

2.1 传感器模块设计

文中采用 RE200B 型热释电红外传感器设计的电路模块如图 3 所示,其中 BISS0001 是一款高性能的数模混合型传感器信号处理专用集成芯片。当模块感应区有人体运动时,连续输出幅值为 3.3 V 的高电平,当人体离开探测区域时,输出 0 V 低电平,其输出波形如图 4 所示,可用于设计人体感应开关。

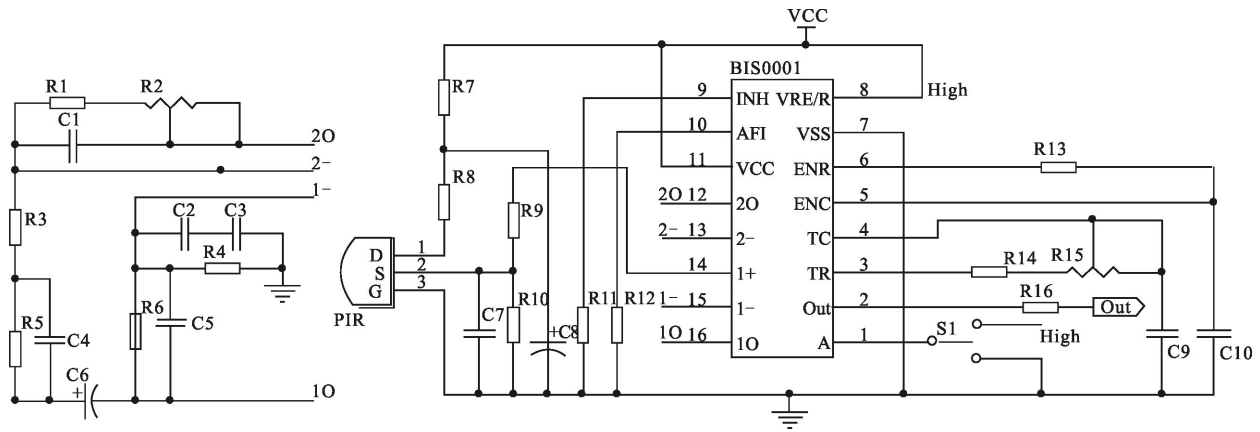


图 3 热释电红外传感器模块电路图

Fig.3 Circuit diagram of pyroelectric infrared sensor module

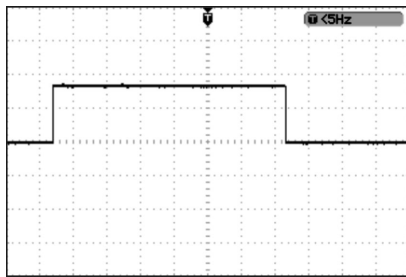


图 4 热释电红外传感器模块输出信号波形

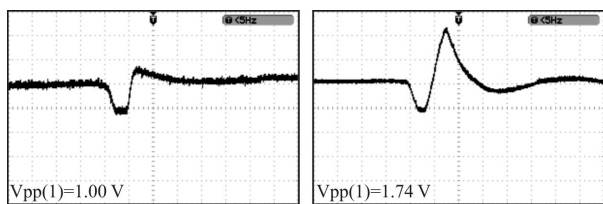
Fig.4 Waveform of signal outputted from pyroelectric infrared sensor module

基于 BISS0001 的热释电红外传感模块设置了两种工作模式。一种是不可重复触发模式,即在传感器感应范围内只要有人体运动,就一直输出高电平;

另一种是可重复触发模式,即按固定的延迟时间和封锁时间交替输出高低电平。由于这两种工作模式都不能准确分辨探测区域内人员数量的变化,因此不能直接用于人员计数系统。

2.2 传感器放大电路设计

图 5(a)所示为 RE200B 型热释电红外传感器的原始输出波形,图 5(b)为采用一级放大电路处理后的输出波形,其运算放大器处理电路如图 6 所示。由图 5 可知,未经过运算放大器处理的信号带有严重的噪声且输出幅度较小,不便直接采样;经过运算放大器处理后的信号既保持了原始信号的波形,又提高了信号输出信号的幅度,并抑制了绝大部分噪声信号,可以直接输出到 AD 转换电路。



(a) 传感器原始输出波形 (b) 放大处理后的波形
 (a) Original output waveform (b) Amplified waveform of the sensor

图 5 热释电红外传感器的原始输出波形和一级放大后的输出波形

Fig.5 Waveform of pyroelectric infrared sensor included the original and amplification

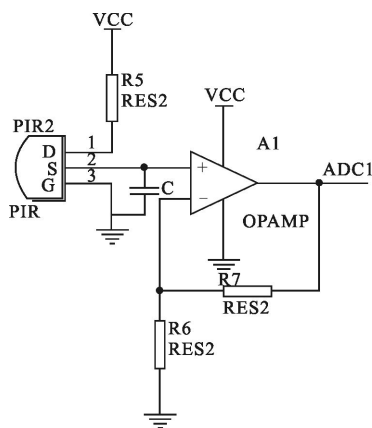


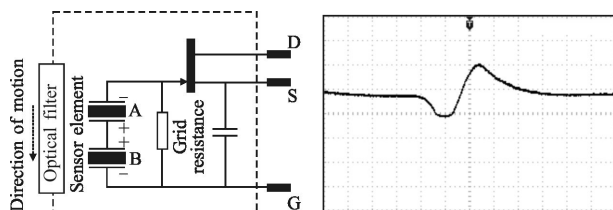
图 6 热释电红外传感器放大电路

Fig.6 Amplifying circuit of pyroelectric infrared sensor

2.3 传感信号采集结果与分析

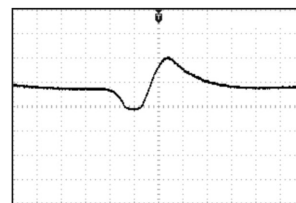
RE200B 型热释电红外传感器将两个极性相反的热释电敏感单元嵌在同一晶片上,不仅可以起到温度补偿作用,而且在人体运动方向不同时输出不同的特征波形。图 7 所示为单人沿不同方向通过传感器探测区时的输出波形。图 7(a)表示平行于传感器晶面从 A 到 B 方向运动,图 7(b)为对应的输出波形,由于 A 敏感单元先感应到人体的红外辐射,温度升高,极化电荷减少,表面多余的自由电荷形成微电流,负电荷流向场效应管的栅极,先输出一个负电平;当 B 敏感单元感应到人体的红外辐射时,其多余的表面自由电荷同样形成栅极电压,与 A 敏感单元形成的电压方向相反,故输出为高电平。图 7(c)表示单人沿平行晶面的方向由 B 向 A 运动,图 7(d)为对应的输出波形,与图 7(b)所示波形反相,形成机理相同。从图 7 还可以看出,可以通过单个传感器输出波

形来判断单人的运动方向,实现简单情况下的人员计数功能。



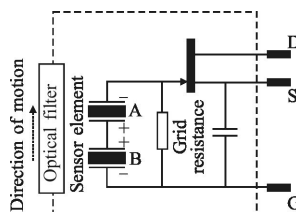
(a) 单人沿 A 到 B 方向运动

(a) Single direction along A to B



(b) 单人沿 A 到 B 方向运动的输出波形

(b) Waveform of single direction along A to B



(c) 单人沿 B 到 A 方向运动

(c) Single direction along B to A



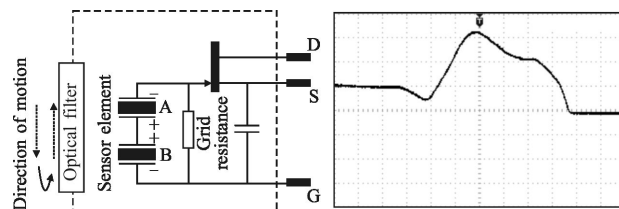
(d) 单人沿 B 到 A 方向运动的输出波形

(d) Waveform of single direction along B to A

图 7 单人单向运动的输出波形

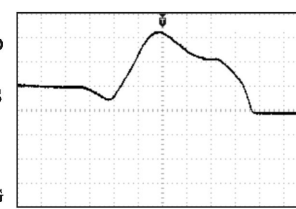
Fig.7 Output waveform of a single one-way movement

图 8 表示单人沿不同方向往返运动的输出波形。图 8(a)表示单人沿 A 到 B 再返回到 A,图 8(b)为输出波形。由于人体在 A 敏感单元区域停留的时间相对较短,而在 B 敏感单元区域因为折返而感应时间较长,因此形成的高电平幅度较大,脉冲宽度也较宽,波形的整体形貌与单人单向运动时的输出波形完全不同。图 8(c)表示单人沿 B 到 A 再返回到 B,图 8(d)为输出波形。由于 B 敏感单元截断红外辐射



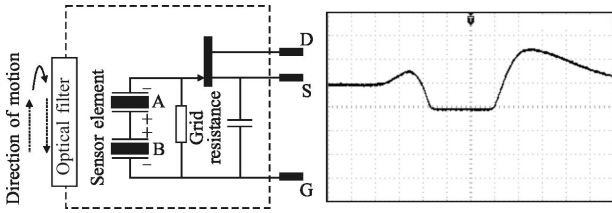
(a) 单人沿 A 到 B 方向往返运动

(a) Single movement back and forth along the direction of A to B



(b) 单人沿 A 到 B 方向往返运动的输出波形

(b) Waveform of single movement back and forth along the direction of A to B



(c) 单人沿 B 到 A 方向往返运动

(d) 单人沿 B 到 A 方向往返运动的输出波形

(c) Single movement back and forth along the direction of B to A

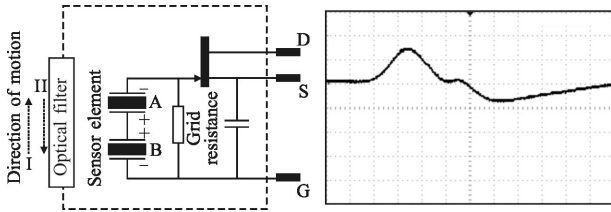
(d) Waveform of single movement back and forth along the direction of B to A

图 8 单人往返运动的输出波形

Fig.8 Output waveform of single cycle

后的恢复时间较长,所以在输出负电平时有较长的延时,可以看成是图 7(d)和 7(b)的组合,与图 8(b)的输出波形也完全不同。可见,当感应区域某个时刻只有一个人运动时,无论运动方向和状态如何,都可以通过输出波形进行辨别。

图 9 所示为两人在探测区域相向而行的输出波形,与单人运动状态相比,输出波形幅度有一定的衰减。实验研究结果表明,输出波形的形状、幅度、脉冲宽度都与两个人到达探测区域的时间、运动速度、人体特征参数等有关,因此,当有多人同时经过探测区域时,单个传感器不能输出有效的典型波形。



(a) 两人相向运动示意图

(b) 两人相向运动的输出波形

(a) Schematic drawing of both relative to one another

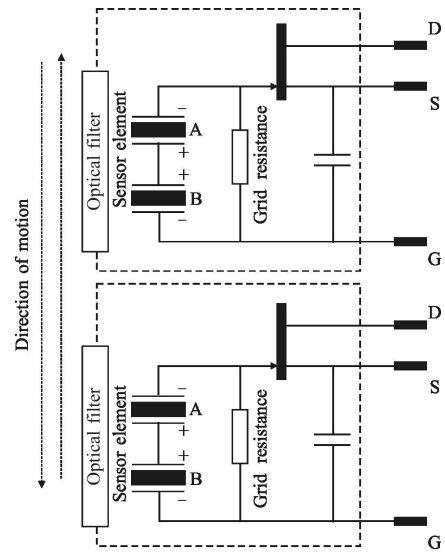
(b) Waveform of movement both relative to one another

图 9 两人相向运动的输出波形

Fig.9 Waveform of movement both relative to one another

综上所述,为了实现复杂人体运动状态下的准确计数功能,文中采用两只热释电红外传感器平行安装,每只传感器在两人相向而行时的输出波形如图 10 所示。由图可知,两只传感器的输出波形比较规则,波形稳定,输出幅度较大,在实际应用中可以通过规定参考方向来辨别人员的运动方向,实现人

员准确计数的功能。



(a) 两人同时相向运动示意图

(a) Schematic drawing of both relative to one another



(b) 两人同时相向运动的输出波形

(b) Waveform of movement both relative to one another

图 10 两人同时相向运动的输出波形

Fig.10 Waveform of movement both relative to one another

3 人员计数系统设计

3.1 系统总体设计

人员计数系统以 Cortex-M3 单片机为控制核心,以双热释电红外传感器为探测单元,实现探测区域的人员计数,系统框图如图 11 所示。其中 Cortex-M3 处理器采用纯 Thumb2 指令的执行方式,使得这个具有 32 位高性能的 ARM 内核能够实现 8 位和 16 位的代码存储密度。Cortex-M3 采用了 ARM V7 架构,具有带分支预测的 3 级流水线,中断延迟最大只有 12 个时钟周期,在末尾连锁的时候只需要 6 个时钟周期,同时具有 1.25 DMIPS/MHz 的性能和 0.19 mW/MHz 的功耗。

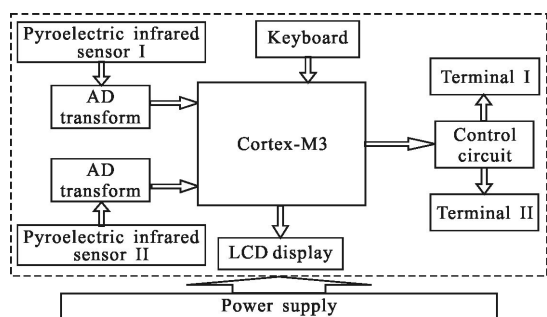


图 11 系统框图

Fig.11 Block diagram of system

3.2 主要软件流程图设计

该系统采用两只热释电红外传感器平行安装,每只传感器只选取上升阶段为有效信号,根据两只传感器采集到人体信号的时间、波形来判断人员的运动方向,实现计数系统的增减,其主要软件流程图如图 12 所示。

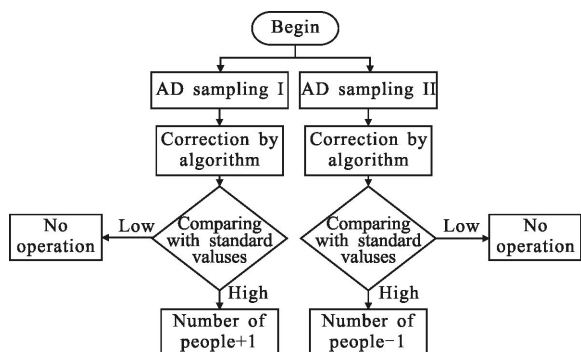
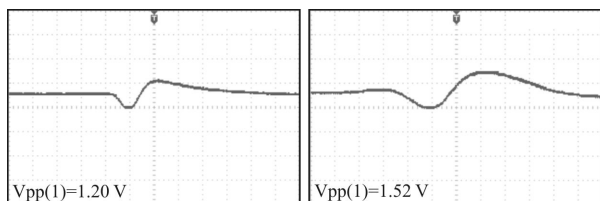


图 12 计数系统软件流程图

Fig.12 Software flow chart of counting system

3.3 计数算法与实现

热释电红外传感器的输出波形幅度与其感应区域内的温度变化密切相关。由于相同的温度变化随着距离的增加在空气中的衰减量更大,被传感器接收的辐射量减少,导致传感器的输出波形幅度随着距离的增加而减小。如图 13 所示为传感器与人体运



(a) 探测距离 60 cm (b) 探测距离 30 cm

(a) Detection range of 60 cm (b) Detection range of 30 cm

图 13 不同距离传感器的输出波形

Fig.13 Output waveform of the different distance sensors

动距离分别为 60 cm 和 30 cm 时的输出波形,可见探测距离对输出波形的幅度有明显的影响。

为了解决上述问题,文中对 AD 采样结果进行算法修正,引入比例因子 k ,平衡由于探测距离的不同导致输出波形幅度的变化量,算法修正与实现过程如图 14 所示。

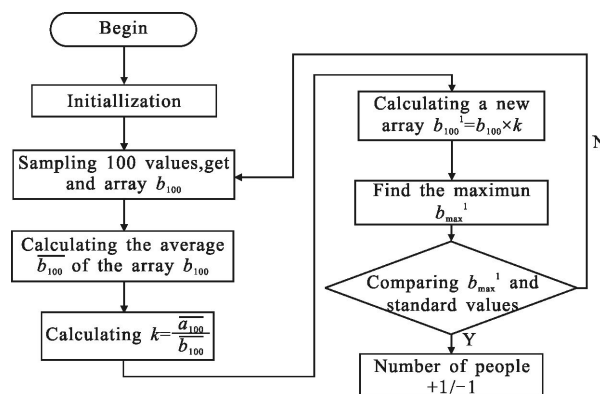


图 14 算法流程图

Fig.14 Flow chart of algorithm

文中设计的计数系统规定距离传感器 5 cm 时人体运动的输出波形为标准输出,并将该输出波形通过 AD 采样获得数组 a_{100} , 计算数组 a_{100} 的平均值 \bar{a}_{100} , 设置成常量。

4 结论

文中通过对 RE200B 型热释电红外传感器输出波形进行放大处理,分析了不同运动方向和距离对 RE200B 型热释电红外传感器输出波形的影响,并基于上述结果设计了以 Cortex-M3 单片机为控制核心,双热释电红外传感器为信号采集单元的人员计数系统,研究了计数系统软件算法,该系统可用于办公楼、教学楼等公共场所,实现基于人员实时计数的考勤和节能控制功能,具有广阔的应用前景。

参考文献:

[1] Wollmann L R. The thermopile: the commercial infrared detector[J]. *Electro-Opt Syst*, 1979: 27-74.
 [2] Kazuhiko Hashimoto, Tomohiro Tsuruta, Katsuya Morinaka, et al. High performance human information sensor [J]. *Sensors and Actuators A*, 2000, 79: 46-52.
 [3] Zhao Chunhua, Xu Yuntao, Ning Chunyu. Design of temperature detection system based on LH878 pyroelectric

- infrared sensor [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, 42(2): 324–328. (in Chinese)
- 赵春华, 许云涛, 宁春玉. LHI878 热释电红外传感器的体温检测系统设计[J]. 红外与激光工程, 2013, 42(2): 324–328.
- [4] Sun Qiao, Yang Wei, Yu Haiyang, et al. New target location method based on dynamic pyroelectric infrared sensor [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(9): 2288–2292. (in Chinese)
- 孙乔, 杨卫, 于海洋, 等. 动态下红外热释电传感器的目标定位方法[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(9): 2288–2292.
- [5] Nobuyuki Yoshiike, Koji Arita, Katsuya Morinaka, et al. Human information sensor [J]. *Sensors and Actuators A*, 1995, 48: 73–78.
- [6] Song Zhitang, Feng Songlin, Lin Chenglu, et al. The new technology for improving heat effect of pyroelectric infrared detector [J]. *Ceramics International*, 2004, 30: 1823–1826.
- [7] Liu Meidong, Chen Shi, Li Yuanxi, et al. Investigation of ferroelectric thin films uncooled pyroelectric infrared sensors [J]. *Instrument Technique and Sensor*, 2004(2): 3–4, 28. (in Chinese)
- 刘梅冬, 陈实, 李元昕, 等. 铁电薄膜热释电非制冷红外传感器研究[J]. 仪表技术与传感器, 2004(2): 3–4, 28.
- [8] Shao Shiping. Recent advances in uncooled pyroelectric infrared detector focal plane array [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 1998, 27(2): 33–36. (in Chinese)
- 邵式平. 室温型热释电红外探测器焦平面阵列新进展 [J]. 红外与激光工程, 1998, 27(2): 33–36.
- [9] Lee M H, Guo R, Bhalla A S. Pyroelectric sensors [J]. *Journal Electroceramics*, 1998, 2(4): 229–242.
- [10] Wei Lijun, Tang Dongmei, Xiao Liaoliang. Design and analysis of weak signal processing circuit based on pyroelectric infrared sensor [J]. *Instrument Technique and Sensor*, 2013(7): 89–91. (in Chinese)
- 魏丽君, 唐冬梅, 肖辽亮. 基于热释电红外传感器微弱信号处理电路的设计与分析 [J]. 仪表技术与传感器, 2013(7): 89–91.