

基于树莓派的自适应空调控制系统设计

王玉涛, 于金星, 陈鑫, 葛文超, 易茂祥
(合肥工业大学 电子科学与应用物理学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 针对现有空调控制系统中存在温度设置不合理且不能根据外界环境的变化自适应调整温度控制的现状, 设计一种基于树莓派的自适应智能空调控制系统。该系统通过连接在树莓派上的传感器网络测量用户周围的环境数据, 并使用长短时记忆神经网络 (LSTM) 建立的预测平均投票数 (PMV) 模型获得 PMV 预测值, 进而自适应控制空调温度的大小。实验结果表明, 该控制系统可以通过由传感器获得的实时数据精确地预测满足最适人体热舒适的温度值, 并能对空调温度自适应控制。

关键词: 预测平均投票数; 空调控制系统; 树莓派; 人体热舒适; LSTM; 传感器网络

中图分类号: TP242

文献标识码: A

文章编号: 2095-1302 (2020) 10-0076-03

0 引言

建筑物的核心功能之一是为其居住者提供舒适的环境。舒适性是居住者的感知和行为以及建筑物能源利用的关键因素^[1]。如今, 人们 90% 的时间都在建筑物中度过, 若在建筑物中感觉不舒适会增加患建筑物综合症、缺勤和认知能力等下降的概率^[2]。目前, 室内环境主要由空调系统控制, 然而, 从住宅到商业建筑的大部分空调控制系统主要由固定温度设置点控制且不能随着外界温度的变化自动更改空调控制的温度。在传统的空调控制系统中, 空调的控制多以控制面板按键控制或者红外遥控控制为主。随着技术的发展, 目前的控制多支持手机等远程终端控制, 以上控制方法中空调温度的设置基本是由用户根据经验设置, 导致了在不同场景环境下设置的温度存在着或高或低的问题。温度设置不合理, 将导致能源的浪费与人的不舒适, 所以需根据不同场景及环境合理设置温度的固定值, 采用一种更精确的空调系统控制方法, 实现空调温度的准确自动控制, 来提高用户的舒适性以及便捷性。

近年来, 物联网技术与人工智能的快速发展, 以神经网络预测热舒适指标 PMV 作为空调控制系统的控制目标受到广泛的关注^[3-6], 然而, 现有以 PMV 为指标的控制系统中由于 PMV 的预测与参数取值精度低等原因, 导致了其应用场景单一、应用范围小、预测控制结果差等缺点。在实际应用中, 系统通过传感器收集到数据后, 发送到 PC 端进行数据处理, 进而控制空调设置。但是, 使用 PC 作为数据处理终端导致了系统成本的增加以及操作的不便捷性。

为了克服以上传统空调控制方法中存在的能效低、成本

高和温度设置不合理等问题, 本文设计了一种基于树莓派微处理器的嵌入式控制系统。该系统与传统控制系统相比具有控制精度高、体积小、价格低和操作便捷等优点。

1 预测平均投票数 PMV

影响人体舒适性的因素有很多, 并不是单纯的由某一个参数大小决定的, 其中的关系也很复杂。为了创造真正的符合人体舒适的室内环境, 本文采用 Fanger 等人提出的热舒适评价指标^[7], 即预测平均投票数 (Predicted Mean Vote, PMV) 作为评价指标。PMV 利用 6 个因素对热舒适性进行建模, 包括 4 个环境因素 (室内温度、室内湿度、平均辐射温度和空气流速) 和 2 个人体因素 (人体新陈代谢和服装热阻)。以热舒适指标 PMV 作为空调控制系统的控制目标, 能够很大程度上实现舒适与节能的统一。

PMV 指数处于 -3 ~ 3 时人体的冷热感分度见表 1 所列。当 PMV 为 0 时, 人体达到最舒适状态, 表明在不同环境下, 人在不同活动量条件下的热中性, 在实际应用中取 PMV 值为 [-0.5, 0.5] 表示人体热中性^[8]。

表 1 PMV 指标分度表

PMV _{int}	PMV
-3 冷	<-2.5
-2 凉	-2.5 ~ -1.5
-1 微凉	-1.5 ~ -0.5
0 适中	-0.5 ~ 0.5
1 微暖	0.5 ~ 1.5
2 暖	1.5 ~ 2.5
3 热	>2.5

收稿日期: 2020-03-29

修回日期: 2020-05-06

然而, PMV 的值并不能由传感器直接测得, 需要根据多个参数通过繁琐的迭代计算得到, 并且采用程序计算方式所得到的值与现实相比具有一定误差^[9]。因此, 本文通过 LSTM 建立 PMV 模型获得 PMV 预测值, 进而自适应控制空调温度的大小。

2 系统总体设计方案

自适应空调控制系统主要以树莓派微处理器为智能控制核心, 外围电路主要包括传感器模块、按键模块、显示模块和摄像头模块等, 系统总体设计框图如图 1 所示。

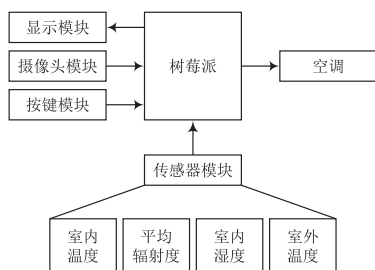


图 1 系统总体框图

该系统通过传感器直接或者间接测量影响 PMV 值的因素 (室内温湿度、室外温度、平均辐射度以及着衣量)。另外, 在初始使用时, 通过按键选择来确定空调应用场景进而确定人体新陈代谢率, 并将以上测量值和设置值记录到数据库中。在空调设置温度的预测中, 该系统使用了基于长短时记忆神经网络 (LSTM)^[10] 建立的 PMV 预测模型。该预测模型在 PC 计算机中训练得到, 并将最终训练得到的模型移植到树莓派操作系统中。该预测模型通过传感器收集到的数据和人为设置的数据预测距离人体达到最舒适状态的偏差, 进而确定空调温度的设置值。为达到空调的自动启动与关闭的目的, 减少人为操作, 该系统另加入摄像头模块进行判断是否有用户进入室内以及离开房间。

3 硬件设计与实现

硬件电路主要分为主控模块、传感器模块、摄像头模块、显示模块、按键模块。

3.1 主控模块

本系统选用基于 Linux 操作系统的树莓派 3b+ 作为主控核心, 其本质是一种体型很小的卡片式电脑, 具备所有 PC 的基本功能。其 CPU 为 64 位 1.4 GHz 的 ARM Cortex-A53 的四核处理器。该处理器的性能能够运行本设计中训练完成的 PMV 预测模型; 另外, 还包含 1 GB 的 RAM、40 位引脚扩展 GPIO 接口、4 个 USB 接口等, 用户可以通过 GPIO 口和硬件进行数据交互、读取硬件工作状态等。此外, 其成本低, 便于部署和安装。

3.2 传感器模块

传感器模块主要是温湿度传感器 DHT11, 该传感器可以直接连接到树莓派上进行数据收集。本文系统使用了 3 个温湿度传感器, 其中一个用于室内温湿度测量, 测量数据分别是室内温度和室内湿度两个影响 PMV 的因素。人体一天的着衣量的多少与早晨 7 时的温度有着密切的关系^[3], 因此, 第二个传感器用于室外温度的测量, 测量结果用来间接确定人体着衣量。第三个传感器主要用于近似测量平均辐射度, 平均辐射度的测量可以通过测量贴近墙体表面的温度近似估计^[11]。

3.3 摄像头模块

摄像头模块由树莓派 3b+ 配套的 USB 摄像头构成, 与树莓派之间通过 USB 接口相连接, 具有可调焦, 170° 的视角的特点。通过摄像头模块采集到的数据, 经由人体检测算法判断早晨室内用户初次进入的时间以及晚上用户离开的时间, 进而判定空调的开启与关闭时间。

3.4 显示模块

显示模块采用分辨率为 128×64 的 OLED 液晶显示屏, 显示单元能自发光, 采用 SPI 或 I²C 通信方式。该模块主要用于人机交互, 显示用户设置的空调风速和空调的应用场景以及预测系统输出的空调设置温度, 如图 2 所示。

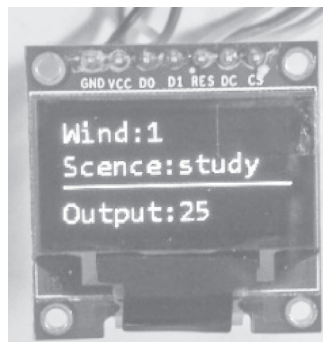


图 2 显示模块

3.5 按键模块

按键模块由一个矩阵键盘构成, 共有 4 个按键, 分别是“确认”“复位”“上”“下”功能, 用于用户更改空调风速和空调的应用场景。

4 系统的软件设计

系统软件主要包括 PMV 预测模型算法的实现和数据采集。

4.1 PMV 预测模型

本文的 PMV 预测模型训练与性能评估在 PC 计算机中完成。在 PyTorch 框架下搭建 LSTM 模型, 通过多次实验预测模型的超参数设置见表 2 所列。

表2 网络模型参数取值

参数名称	参数值
隐藏层	1
隐藏层神经元数	16
批尺寸	32
优化器	Adam 优化
学习速率	0.002 2
动量	0.005
损失函数	MSE

将 PMV 预测模型导出, 移植到树莓派操作系统中, 通过由硬件获取的数据预测得到 PMV 的值, 进而判断输出温度值。为了更加接近热中性, 本设计 PMV 的取值范围设为 $[-0.2, 0.2]$ 之间, 温度计算流程如图 3 所示。

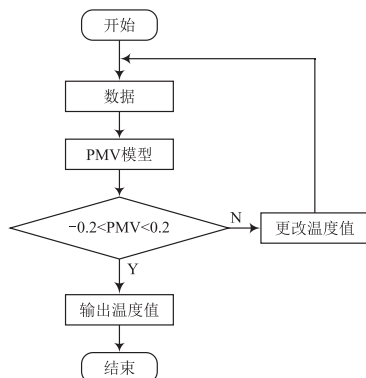


图3 空调控制温度计算流程

4.2 数据采集程序

在树莓派上 DHT11 温湿度的读取需要遵循特定的信号协议, 为了方便读取数据, 该系统导入 AdafruitDHT 库。在读取数据时, 为了节省系统存储空间、延长器件使用寿命, 系统每隔 10 min 记录 1 次数据。传感器部分关键代码如下:

```

import Adafruit_DHT          // 导入 Adafruit_DHT 库
sensor=Adafruit_DHT.DHT11    // 设置传感器类型
gpio=17                      // 设置连接引脚
humidity, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(sensor, gpio)
                                // 读取湿度和温度
  
```

在读取室外温度时只需设置读取每天早晨 7 时的温度以确定用户当日着衣量情况即可。

5 系统功能实现

图 4 为系统实物连接图。一般情况下, 控制系统安装在实验室、办公室、宾馆等室内后, 初次设置后, 在不更改应用场景时, 无需对系统再次设置。为了短时间验证系统功能

能够准确执行控制结果, 在系统硬件实验时, 将系统传感器置于不同温湿度条件下并通过按键与显示屏设置不同风速与应用场景, 通过多次实验表明, 其温度控制误差均在 $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$ 以内。

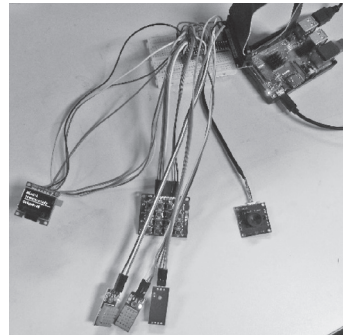


图4 实物连接图

6 结 语

本文通过 LSTM 神经网络算法建立了 PMV 预测模型, 并进行了实验。该模型实现了以热舒适指标 PMV 作为空调控制系统的舒适与节能统一的控制目标。将预测模型移植到成本低、性能高的树莓派中, 通过连接在树莓派上的传感器获取用户周围相关环境数据, 经由预测模型计算得到最适人体舒适的空调温度设置值。克服了传统空调控制方法中人为温度设置的问题, 满足了室内人体热舒适的要求。但该系统依然需要人为输入参数的操作以及存在空调系统动作滞后的现象, 针对这个问题, 未来的工作主要根据系统收集到的用户喜好, 更加智能的启动、控制空调。

参 考 文 献

- [1] NICOL F, STEVENSON F. Adaptive comfort in an unpredictable world[J]. Building research & information, 2013, 41 (6): 661-666.
- [2] DEAR D R J, AKIMOTO T, ARENS E A, et al. Progress in thermal comfort research over the last twenty years [J]. Indoor air, 2013, 23 (6): 442-461.
- [3] YOON Hyunjung, LEE Dongseok, CHO Hyun, et al. Prediction of thermal environment in a large space using artificial neural network [J]. Energies, 2018, 11 (2): 418.
- [4] 姚凯学. 基于自适应方法的智能家居热舒适度的研究 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2018.
- [5] WANG Xingjuan, LIANG Mengfan. Design and Implementation of Core Processing System for Smart Home Control [C]// 11th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA). 2019.
- [6] 郭彤颖, 陈露. 基于鸟群算法优化 BP 神经网络的热舒适度预测 [J]. 计算机系统应用, 2018, 27 (4): 162-166.
- [7] FANGER P O. Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering [J]. Thermal comfort analysis & applications in environmental engineering, 1972, 1: 225-240.

(下转第 81 页)

二氧化碳、粉尘以及压力监测和视频追踪,当参数超过限定值,系统自动报警确保猪舍环境适宜。

(2) 系统从用户角度出发,具有简洁性,高效性,便于用户学习和使用。

(3) 系统具有实时性,每间隔 10 min 采集系统数据并上传。

(4) 该系统拥有多种无线方式上传指令并可远程实时监测,只要存在处于有网络的情况下,用户均可登录系统远程察看养殖场的监测画面和信息,并且能够远程调整设备参数。

(5) 基于物联网的智慧猪舍养殖平台将环境监测、远程遥控、视频观察等多功能混合,具有智能化、数字化、网络化的特性^[14]。实现科学的养殖舍监控、毒害防治等环节,增加产能、提高规模、减少资源消耗和人力成本,推动现代畜牧业发展。

3 结 语

猪肉作为人们最受欢迎的肉类之一,需求量也在日益增长,促使生猪养殖业不断扩大的同时,也导致管理人员的工作量加剧。传统的养殖过程繁琐,且养殖环境无法实时监测,基于物联网智慧猪舍养殖系统智慧通过 5G、互联网、NB-IoT、ZigBee 等技术,实现了生猪养殖的环境监测、远程调控和远程监控。与传统模式的养殖相比,该系统提高了生猪养殖的质量和效率。以此来看,物联网技术在养殖业方面具有

很大的利用价值,未来的养殖业将朝着智慧化、自动化方向发展。

参 考 文 献

- [1] 贾宝红,钱春阳,宋治文,等.物联网技术在设施农业中的应用及其研究方向[J].天津农业科学,2015,21(4):51-53.
- [2] 李道亮.物联网与智慧农业[J].农业工程,2012,2(1):1-7.
- [3] 张秋亭,赵婉莹,刘继军,等.猪舍内温度和通风对猪的影响研究综述[J].猪业科学,2016,33(3):38-40.
- [4] 王保山.基于C语言的通用数据库接口设计[J].铁路计算机应用,2006,20(5):10-12.
- [5] 王琦.云环境下政府数据交换与共享平台方案设计[J].信息与电脑(理论版),2017,10(3):163-165.
- [6] 黄纓,杨丹.信息技术在种猪生产中的应用案例分析[J].猪业科学,2014,31(8):90-91.
- [7] 董万福,王志军,张喜才,等.猪舍内夏季降温技术分析[J].吉林畜牧兽医,2013,34(8):28-29.
- [8] 李莉.猪舍内有害气体控制的措施[J].养殖技术顾问,2012,4(1):213.
- [9] 张均正.猪舍小环境的调控[J].新农村,2003,20(12):15.
- [10] 白红杰,赵博,范磊,等.4种有害气体对猪群健康状况的影响及其控制技术[J].河北农业科学,2014,18(4):79-83.
- [11] 于华丽,刘淑霞,王骞,等.禽畜舍环境多因子监测系统[J].农机化研究,2013,35(10):178-180.
- [12] 张倩,付蓉.生猪养殖信息化方向及案例[J].今日养猪业,2014,10(10):50-52.
- [13] 胡欣宇,郭凯星,郭军君,等.基于ZigBee的智能养殖生态控制系统[J].物联网技术,2017,7(1):67-70.
- [14] 曹文丽.基于Android的猪舍移动监控系统设计与实现[D].杭州:杭州电子科技大学,2018.

作者简介:郑小南(1996—),女,山西洪洞人,在读硕士研究生,研究方向为计算机视觉。

李富忠(1969—),男,山西大同人,博士,教授,研究方向为农业经济管理。

(上接第78页)

- [8] European Standard. Ergonomics of the thermal environments: analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria: ISO 7730 [S]. Geneva, Switzerland: British Standards Institution, 2005.
- [9] 蒋延伟.基于PMV指标的建筑智能热湿环境控制原理及方法的研究[D].西安:长安大学,2015.

- [10] GRAVES Alex. Long short-term memory supervised sequence labelling with recurrent neural networks [J]. Springer, 2012, 385: 1735-1780.
- [11] RUANO A, SILVA S, DUARTE H, et al. Wireless sensors and IoT platform for intelligent HVAC control [J]. Applied sciences, 2018, 8(3): 1-31.

作者简介:王玉涛(1992—),男,安徽阜阳人,硕士,主要研究方向为智能家居。