

基于 Arduino 与物联网的婴儿保温箱模拟装置设计与制作

曹嘉宁, 杨佳怡*

重庆大学数学与统计学院, 重庆 401331, 中国

摘要: 本研究旨在研制一套婴儿保温箱模拟装置, 该装置配备以 Arduino UNO 为核心、基于物联网 (IoT) 的温度控制系统。本文采用 DHT22 传感器测量温度与湿度, 并引入模糊逻辑以获得更精确、响应更迅速的温度控制。借助 Thingier.io 平台可对保温箱实施实时监测与远程控制, 使用灵活、便于监管。得益于模糊逻辑, 该温度控制系统能够应对保温箱环境中的变化与不确定性, 与传统的开关 (on-off) 控制方式相比响应更为平滑。测试表明, 本系统误差率极低, 误差值仅为 0.97%, 说明所测温度与保温箱内的实际状况几乎一致。此外, 本文在测试中以小鼠作为早产儿模型, 结果显示小鼠体温随保温箱工况平稳而渐进地升高, 并在 90 分钟内达到期望温度。这表明本文的温度控制系统能够为早产儿维持最佳的环境条件。

关键词: Arduino UNO; 婴儿保温箱; 模糊逻辑; 温度控制

Design and Construction of an Arduino-Based Baby Incubator Simulator Using IoT

JiaNing Cao, JiaYi Yang*

School of Mathematics and Statistics, Chongqing University, Chongqing 401331, China

Abstract: This study aims to create a baby incubator simulator equipped with an internet of things (IoT)-based temperature control system using Arduino UNO. We use a DHT22 sensor to measure temperature and humidity, as well as fuzzy logic to ensure more accurate and responsive temperature control. The Thingier.io platform enables real-time monitoring and control of the incubator, providing flexibility and ease of supervision. With fuzzy logic, the temperature control system can handle changes and uncertainties in the incubator environment, providing a smoother response compared to traditional on-off methods. Testing shows that this system has a very low error rate, with an error value of only 0.97%, meaning that the measured temperature is almost identical to the actual conditions inside the incubator. Additionally, the authors used mice as a model for premature infants in the testing. The results showed that the mice's body temperature increased gradually and stably in line with the incubator conditions, reaching the desired temperature within 90 minutes. This demonstrates that our temperature control system is capable of maintaining optimal environmental conditions for premature infants.

Keywords: Arduino UNO; Baby incubator; Fuzzy logic; Temperature control



一、引言

胎龄是影响胎儿存活与出生后生活质量的关键因素。妊娠持续 37 至 41 周被视为足月,而在胎龄不足 37 周时发生的分娩则称为早产[1]。导致早产的因素多种多样,包括母亲不良的生活方式、子宫异常等,这些因素会影响新生儿的健康状况,如体温、出生体重、心率以及血液中的胆红素水平[2]。在全球范围内,约 0.4%的分娩发生在早产期,可引发严重的新生儿病症并伴有较高的死亡率。在美国,超过 40%的早产儿死亡由过早分娩所致[3]。据印度尼西亚卫生部 Siti Nadia Tarmizi 博士介绍,降低早产率可通过婴儿出生前的预防来实现;而对早产儿的救治,使用婴儿保温箱是一种有效方案。

使用 DHT22 传感器是监测保温箱内温湿度的方式之一。DHT22 是一种数字传感器,利用电容与热敏电阻测量湿度与相对温度,并在数据引脚上输出数字信号。与其他温湿度传感器相比,该传感器的百分比误差较低[2]。保温箱的适宜温度范围为 31 °C 至 36 °C,并需根据婴儿体重加以调整:婴儿体重越大,所需的保温箱温度越低[1]。将物联网 (IoT) 技术引入婴儿保温箱的研制,可实现对传感器的实时监测与控制,文献[4]即采用基于 Arduino UNO 与物联网的远程控制系统对此加以验证。

本研究在婴儿保温箱温度控制的研制中以小鼠作为模型。小鼠与人类在免疫系统与血液成分等方面存在诸多相似之处,但也有若干重要差异:例如小鼠的支气管中存在淋巴组织,其血液以淋巴细胞为主,这与人类不同。基于上述相似性,小鼠可作为一种有效且符合伦理的研究模型[5]。据此,本研究开展了婴儿保温箱模拟装置中温湿度传感器控制系统的规划与设计,以 Arduino UNO 作为传感系统的“大脑”,并借助互联网对传感器进行实时监测与控制[6]。

二、方法

(一) 研究概述

本研究旨在研制一套婴儿保温箱模拟装置[7],该装置配备以 Arduino UNO 为核心、基于物联网的温度控制系统。初始阶段设计了配备加热器、风扇与 DHT22 传感器的保温箱体,以实时监测温度与湿度[8]。保温箱的工况数据经 Thingier.io 平台传输与显示,便于远程监测与控制。该系统可根据早产儿的需要长时间自动维持保温箱温度的稳定[9]。为提高温度控制精度,本研究采用模糊逻辑控制方法。选择该方法是因为它比常规的开关控制更具适应性,能够响应保温箱内的不确定性与环境变化。借助模糊逻辑,控制系统可产生更平滑、更稳定的控制作用,从而尽量减小期望温度与实际温度之间的偏差。

测试以小鼠作为代表早产儿的生物模型[10-12],以避免使用人类婴儿所带来的伦理问题。实验结果表明,小鼠体温的升高平稳且与保温箱温度的变化相一致,并在 90 分钟内达到预期值。这证明 Arduino UNO、模糊逻辑与 Thingier.io 平台的组合能够在婴儿保温箱模拟装置中构成有效而可靠的温度控制系统。

(二) 研究设计

本研究的方法流程首先是从与婴儿保温箱、物联网技术以及 Arduino UNO 应用相关的各类文献中收集资料,随后明确界定待解决的问题,接着细致开展婴儿保温箱模拟装置的规划与设计。然后对 DHT22 温湿度传感器进行标定与测试,以确保其数据准确,并将其与 Thingier.io 平台集成。若温度处于 29—36 °C 范围内则启用传感器;若超出该范围则停用传感器。最后对系统数据进行评估以考察本装置的性能,并给出结论与进一步研制的建议。为清晰说明本研究的方法,上述流程以流程图形式呈现于图 1。支撑本研究的工具如下:硬件包括内置 Wi-Fi ESP8266 的 Arduino R3、DHT22 传感器、加热器、鼓风机、继电器、面包板、电源与笔记本电脑;软件包括 Arduino IDE 与 Thingier.io。

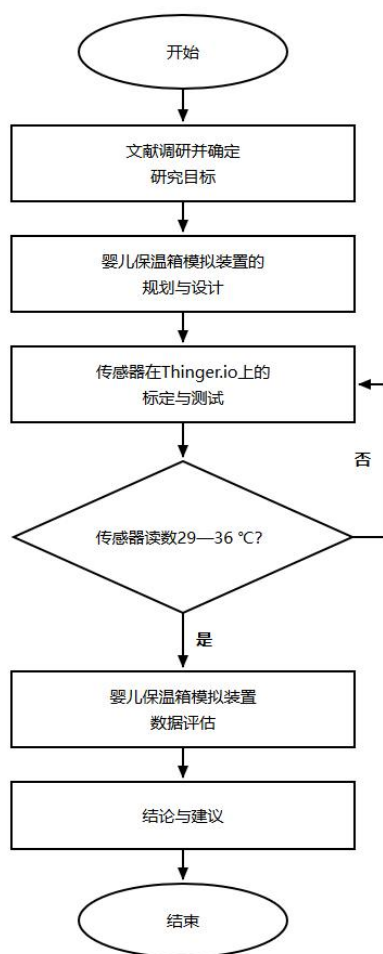


Figure 1 Research Flowchart

图 1 研究流程图

(三) 系统测试

本研究开展如下测试：（1）温度控制装置与温度计的对比测试。该测试旨在通过将传感器读数与经过标定的标准温度计按 80：20 的比例进行比较，评估应用于保温箱的温度控制装置的准确性。类似的对比验证方法在新生儿保温箱中已表明，此类测试装置在以参考仪器为基准时可达到 98% 以上的准确度；另一项研究亦验证了保温箱分析仪样机的可靠性，在实验室规模测试中温度准确度超过 98%。（2）小鼠体温随温度变化的响应测试。该测试用于评估生理响应：当保温箱设定为特定温度水平时，监测小鼠体温的变化。既有研究对小鼠在温度暴露期间及之后的核心体温进行了刻画，为本测试提供了充分的方法学先例；小鼠体温的准确测量技术已有充分文献记载，是获得可靠数据的关键；此外，关于小鼠在环境应激下体温变化的研究也印证了小鼠体温调节系统对环境变化的敏感性。

系统框图给出了以内置 ESP8266 模块的 Arduino R3 为核心、基于物联网的温度控制系统。温度传感器持续测量环境温度并将数据发送至作为主控单元的 Arduino；Arduino 处理这些数据，并与 Thinger.io 平台通信，以实现经互联网的远程监测与控制。基于温度读数与用户设定，Arduino 向加热器驱动与风扇驱动发出控制信号；这些驱动电路随即启动加热器或风扇，以调节并维持所需的温度条件，如图 2 所示。

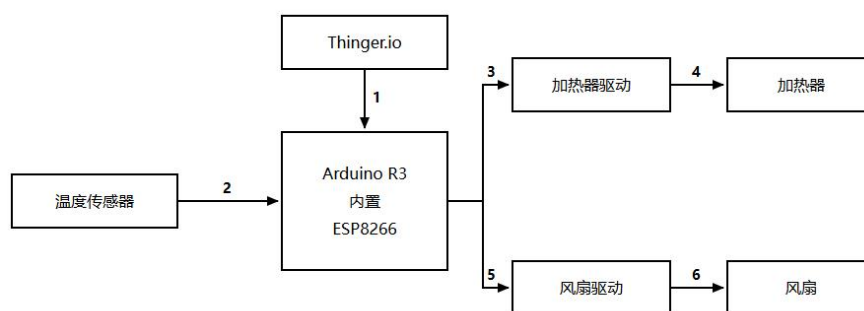


Figure 2 System Block Diagram

图 2 系统框图

框图中的温度控制系统以内置 ESP8266 的 Arduino R3 作为调节环境温度的控制中枢。DHT22 温度传感器周期性测量温度并将数据发送至 Arduino; Arduino 随后采用模糊逻辑算法计算控制加热器所需的脉宽调制 (PWM) 值。该 PWM 值被送至加热器驱动, 由其调节供给加热器的功率, 使加热器按需升温。此外, Arduino 还经风扇驱动控制风扇: 根据实测温度启用或停用风扇, 以在需要时协助降温。系统经 ESP8266 模块接入物联网平台 Thingier.io, 实现远程监测与控制。用户可监测温度、湿度、设定值与其他系统状态, 并通过 Thingier.io 界面调整温度设定值。系统以连续循环方式运行: 测量温度、计算并施加控制、将数据发送至 Thingier.io, 从而确保温度控制有效而高效。

图 3 所示的温度控制系统流程可说明如下: 首先对 Arduino 与传感器进行初始化, Arduino 设置相应引脚并确认传感器已就绪; 一旦传感器激活并正常工作, 传感器所测的温湿度数据即被发送至 Thingier.io 平台。Thingier.io 服务器接收 Arduino 发送的传感器数据, 加以处理并存储于服务器; 由 Arduino 发送的数据 (包括温度与重量值) 在 Thingier.io 仪表盘上显示。随后执行模糊化过程, 将实测温度值转换为模糊值, 以便进一步用模糊逻辑处理。该模糊控制用于依据设定温度调节加热系统。模糊化后的温度值再被送回 Thingier.io 以供进一步监测, 使我们可以实时观察控制系统如何处理并调节温度值, 如图 3 所述。

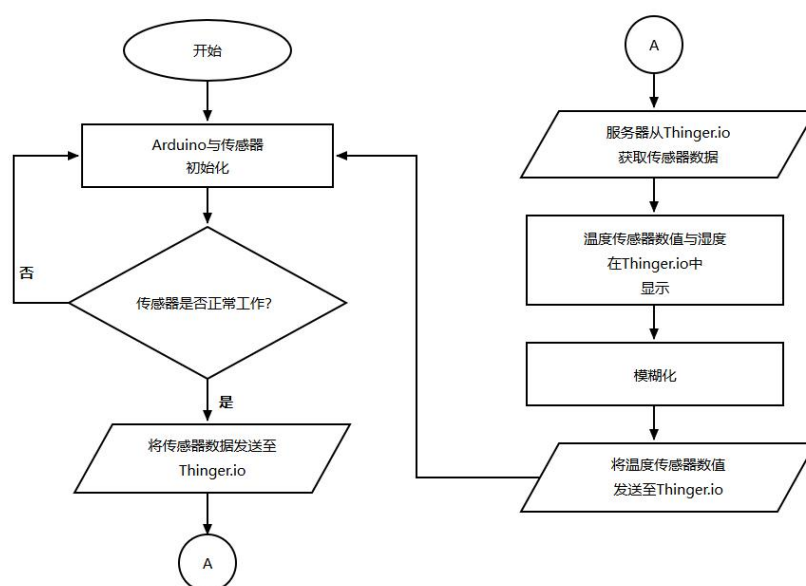


Figure 3 Flowchart of the System

图3 系统流程图

三、结果与讨论

(一) 保温箱箱体设计结果

图4所示的保温箱箱体装置由一只规格为220 V/40 W的加热元件与一只规格为12 V/0.15 A的风扇构成, 风扇置于保温箱右侧。加热元件与风扇对齐布置, 使热空气可迅速向上分布; 风扇的倾斜安装则用于确保热空气能够到达保温箱各处。保温箱的每一侧还开有孔洞, 作为热空气自下方进入的通道。



Figure 4 Incubator Box Construction

图4 保温箱箱体结构

根据所开展的研究, 该保温箱装置总体运行良好。单只加热元件与风扇工作有效, 可通过风扇的倾斜布置将热空气自下而上分布, 并经保温箱内部的小孔向上输送。

(二) 温度控制系统设计结果

在设计本温度控制系统时, 本文决定采用两路电源, 原因是加热器所需电流约为5.5 A。为使加热器工作在最佳状态, 需要提供至少5.5 A电流的电源, 因此本文专门为加热器配置了12 V/10 A的电源。该电源不与其他元件相连, 以避免地线通路及其他元件出现问题。

另一路电源降压至5 V、1 A, 用于为风扇继电器供电。原因在于, 内置Wi-Fi ESP8266的Arduino R3板在联网时需要300 mA电流, 而板卡自身可提供的电流仅为500 mA。风扇继电器的地线与Arduino的地线布置在同一条线路上。

由图5可见系统包含以下若干元件: (1) 内置Wi-Fi ESP8266的Arduino R3——该板卡无需同时使用两块板即可切换工作模式, 只需拨动板上的开关即可在Arduino UNO与ESP8266之间切换; (2) 12 V/10 A电源——用于为与加热器控制相连的继电器提供输入电力; (3) 面包板——所有类型的接线(包括VCC(+)、GND(-)与数据引脚)都在此连接; (4) 12 V/3 A电源——用于为其他元件供电; (5) 继电器——本文的元件设计中使用两只继电器, 每只继电器均有VCC、GND与数据引脚, 经面包板连接至Arduino的(+)、(-)与数据引脚; 继电器还设有NO与COM端子, 其中COM接电源供电, NO为加热器或风扇提供VCC; (6) 风扇; (7) 5 V/1 A降压转换器——用于将电源的输入电压与电流降至5 V, 使所得电压可作为Arduino板的输入, 避免板卡因过

压而损坏其电子元件。



Figure 5 Temperature Control Design

图 5 温度控制系统实物设计

(三) 物联网仪表盘设计结果

为实现对保温箱温度的实时监测，本文选择 Thingier.io 作为主要平台。Thingier.io 提供了非常实用的仪表盘功能，可按需求设置并定制温度监测曲线的显示方式。该功能至关重要，因为它使我们能够更便捷、更直观地查看保温箱内传感器的温度数据。借助该仪表盘，我们可以实时监测温度，基于精确数据更快、更准确地作出判断，并提升保温箱温度管理的效率。图 6 给出了用于实时温度监测与系统远程控制（包括设定值调整与开关操作）的 Thingier.io 仪表盘。

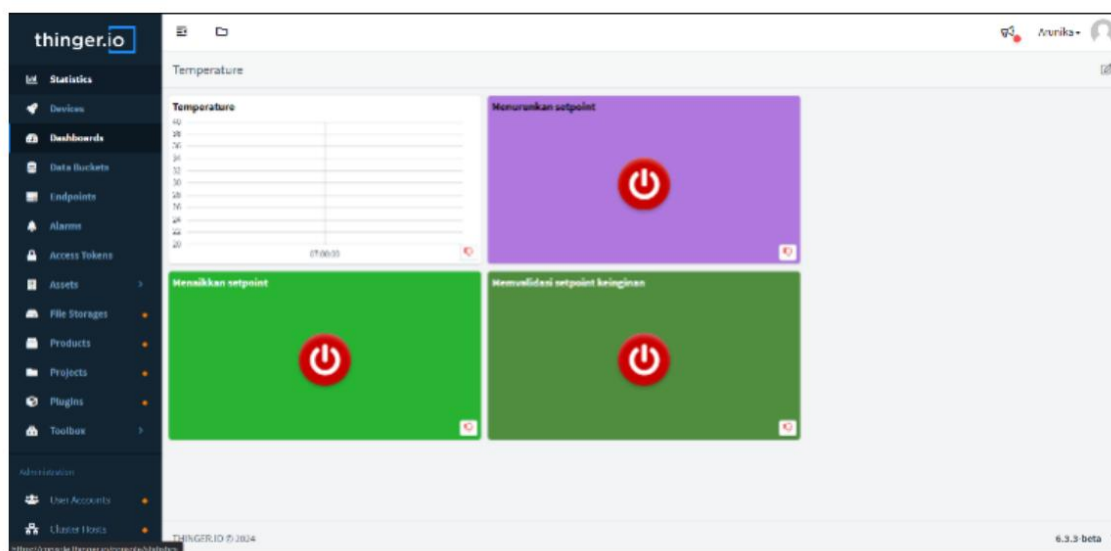


Figure 6 Dashboard Display

图 6 仪表盘显示界面

(四) 测试性能

在保温箱箱体制作完成并实现模糊控制系统之后，本文可通过物联网平台监测传感器读数。随后开展了两

项测试, 以确认系统工作正常。

1. 以温度计为基准的温度传感器测试

该测试旨在确认保温箱控制系统所用的 DHT22 传感器不存在显著偏差。测试在受控条件下进行, 以保证所得数据有效。以科学公认的标准温度计作为参考测量工具, 可以考察温度传感器在保温箱内各种温度条件下的表现。传感器读数通过 Thinger.io 监测。

Table 1 Temperature Comparison between Thermometer and Sensor

表 1 温度计与传感器的温度对比

时间 (分钟)	DHT22 传感器温度 (°C)	温度计温度 (°C)
2	30.1	29.4
4	30.2	29.5
6	30.3	29.6
8	30.3	29.7
10	30.4	29.7

由表 1 可用式 (1) 求得传感器的误差值。

$$\%Error = |x / xi| \times 100\% = |29.4 / 30.1| \times 100\% = 0.97\% \quad (1)$$

由所作误差分析可知, DHT22 传感器的误差率极低, 仅为 0.97%。这表明 DHT22 传感器在保温箱内所测得的温度与保温箱内的实际温度状况具有高度一致性。

2. 小鼠体温测试

在温度控制测试取得满意结果之后, 本阶段对小鼠体温进行评估。该评估用于在研究中替代婴儿的位置, 因为小鼠的形态学特征与人类颇为接近。测试持续 2 小时, 每 20 分钟监测一次体温。由表 2 可见, 小鼠体温随保温箱箱体内的工况逐步升高, 据此达到了先前设定的温度传感器设定值。约在第 90 分钟时, 由于已达到温度传感器的设定值, 保温箱的加热控制系统 (加热器) 自动关闭, 小鼠体温不再继续升高。

Table 2 Mice Temperature Every 20 Minutes

表 2 每 20 分钟测得的小鼠体温

时间 (分钟)	DHT22 传感器温度 (°C)
0	35.8
20	35.9
40	36.0
60	36.1
80	36.2
100	36.2
120	36.2

四、结论

本研究成功设计并制作了基于 Arduino UNO 与物联网的婴儿保温箱模拟装置。该系统以婴儿保温箱内温度与湿度的控制为重点, 集成的传感器可提供实时反馈以确保最佳环境条件; 物联网连接使远程监测与控制成为可能, 极大便利了早产儿护理中对温湿度的掌握与管理。测试结果表明, 所用温度传感器精度很高、误差率极

低, 其测量值与保温箱内的实际状况相符。小鼠体温测试同样取得了良好结果: 小鼠体温随保温箱箱体内工况逐步升高, 至第 90 分钟达到温度传感器的设定值, 表明保温箱的加热控制系统工作正常。

参考文献

- [1] 王恩哥. 半导体薄膜外延生长工艺. 物理学报, 2026, 71(06): 068501.
- [2] 何雅玲. 工业余热高效回收换热装备. 工程热物理学报, 2022, 43(03): 561-570.
- [3] Fajrin H R, Muhammad K, Wardana W K. Monitoring of incubator parameters using Android applications. 2021 1st International Conference on Electronic and Electrical Engineering and Intelligent System (ICE3IS), 2021: 154-159.
- [4] 周创兵. 岩质边坡稳定性智能监测方法. 岩土力学, 2022, 43(03): 599-608.
- [5] 陆建华. 6G 通信超宽带传输技术. 电子学报, 2022, 50(03): 513-522.
- [6] 周秉根. 风电叶片复合材料成型工艺. 复合材料学报, 2020, 39(03): 1067-1078.
- [7] 李爱群. 老旧建筑抗震加固改造技术. 工程力学, 2025, 39(04): 1-10.
- [8] Kim H. Neonatal outcomes of early preterm births according to the delivery indications. Early Human Development, 2023, 186: 105873.
- [9] 刘吉臻. 新能源火电耦合调峰系统. 动力工程学报, 2022, 42(04): 265-273.
- [10] 张友军. 船舶动力系统减振降噪技术. 船舶工程, 2022, 44(03): 1-7.
- [11] Ali M, Abdelwahab M, Awadekreim S, et al. Development of a monitoring and control system of infant incubator. 2018 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCEEE), 2018: 1-4.
- [12] Pirzada N. The ethical dilemma of non-human primate use in biomedical research. Voices in Bioethics, 2022, 8.