

Research on the Comfort Evaluation for Indoor Environment

Heng Luo^{1,2,3}, Qiwei Chen³, Youmin Zou³, Qidong Ni^{1,2,3}, Jiaxin Lu³, Chunxia Wang³, Bo Yu³

¹Jiangsu Province Key Lab of Intelligent Building Energy Efficiency, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou Jiangsu

²Suzhou Key Lab of Mobile Networking and Applied Technology, Suzhou Jiangsu

³College of Electronics and Information Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou Jiangsu
Email: luoheng1981@163.com

Received: Jul. 21st, 2017; accepted: Aug. 4th, 2017; published: Aug. 10th, 2017

Abstract

It is reported that people spend 90% of their life indoors. Therefore, the indoor environment has great impact on both the working efficiency as well as health on the occupants. Based on the fuzzy AHP thermal comfort evaluation model, an indoor environment thermal comfort evaluation system based on 51 single chip microcomputer and Bluetooth wireless communication protocol is proposed in this paper to deal with the problem of lack of numeric evaluation in the indoor thermal comfort. The overall design of the system is described, including hardware design and software design. The system collects the environment parameters from the 51-chip through the sensors and uses the fuzzy AHP algorithm to process the data, and then sends the processed data to the virtual server on the computer through the wireless Bluetooth module to realize the function of the data displayed on the personal page. The difference between the comfort indexes measured in the site and the benchmark indicates the comfortable level of the sampling environment, the smaller the better. The most comfortable environment is achieved when the difference reaches 0. Experiment results show that the system can effectively detect the parameters of the indoor environment thermal comfort, and make a quantitative display of the comfort via the fuzzy AHP algorithm. The system has some practicality in the construction of intelligent, air conditioning and other fields.

Keywords

Thermal Comfort Perception System, 51 microcomputer, Fuzzy AHP Algorithm, Wireless Bluetooth

室内环境舒适度感知系统研究及实现

罗 恒^{1,2,3}, 陈启蔚³, 邹优敏³, 倪启东^{1,2,3}, 陆家欣³, 王春霞³, 于 波³

¹苏州科技大学 江苏省建筑智慧节能重点实验室, 江苏 苏州

²苏州市移动网络技术与应用重点实验室, 江苏 苏州

³苏州科技大学 电子与信息工程学院, 江苏 苏州

文章引用: 罗恒, 陈启蔚, 邹优敏, 倪启东, 陆家欣, 王春霞, 于波. 室内环境舒适度感知系统研究及实现[J]. 软件工程与应用, 2017, 6(4): 68-78. DOI: 10.12677/sea.2017.64008

Email: luoheng1981@163.com

收稿日期: 2017年7月21日; 录用日期: 2017年8月4日; 发布日期: 2017年8月10日

摘要

现代人类90%的生命周期在室内度过,因此,室内环境质量不仅影响到室内滞留人员的工作效率,也直接与其身体健康具有很高相关性。本文针对室内热舒适度评价机制不足的问题,依据FAHP(Fuzzy Analytic Hierarchy Process)热舒适度评价模型设计一种基于51单片机和蓝牙无线通信协议的室内环境热舒适度感知系统。系统用单片机、温湿度传感器、光强传感器采集环境参数并采用FAHP算法得到室内环境热舒适度测量值与标准舒适值的权重比,比值为1时表明当前环境为最舒适状态。系统包括软件系统和硬件系统。通过无线蓝牙模块将数据发送到电脑上的虚拟服务器以实现数据在个人网页上显示的功能。实验结果,系统能够将室内环境热舒适度量化,并给出舒适度排序结果。结果可用于室内建筑热环境评估,也可以为建筑节能提供理论依据。

关键词

热舒适度感知系统, 单片机, FAHP算法, 无线蓝牙模块

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

加速的城市化进程以及生活水平的提高,使得人们对室内环境质量的关注度日益提高[1]。相关研究表明,现代人类90%的生命周期在室内度过,因此,室内环境的质量不仅关系到工作效率,更是与身体健康水平具有密切关系[2]。同时,在不影响室内人员舒适度前提下,实现建筑节能也是当前智能建筑研究的热点[3]。

影响室内滞留人员舒适度的因素众多,其中环境热舒适度是最重要的影响因子之一。影响室内热环境的各个变量之间存在非线性、强耦合的关系,且具有时变特性,导致室内热环境成为了一个复杂的多变量系统,因此,建立室内热环境的量化模型并实现热舒适度的智能化控制一直是学界和业界的研究热点及难点[4]。

预测平均投票(PMV)是用来定义用户在一定环境中的热舒适条件的国际指数,PMV模型是较受认可的热舒适标准评价模型之一[5]。通过估算人体活动的代谢率及服装的隔热值可以获得PMV指数,同时还需要获取以下几个重要的环境参数:空气温度、平均辐射温度、相对空气流速及空气湿度。从本质上来说,PMV指数基本上就是根据人体的热平衡原理来计算的[6]。

自从PMV热舒适评价模型被提出以来,不少专家和学者根据这个模型做了大量的关于热舒适评价的研究,既包括一些理论实验研究,也包含不少现场研究[7]。有些实验得到的结果与PMV热舒适模型预测结果相比差别不是很大,而有些实验的结果则和PMV热舒适模型预测结果相比有较大的偏差。这些有较大偏差的实验结果往往都是在现场研究中得来的。但是,PMV作为到目前为止提出的最全面的热环境评价指标,依然被大量地用于建筑环境的舒适度评价方面[8]。

本文拟使用模糊层次分析法,对无线传感网获取的热舒适度系统参量进行评估,获取量化指标,实

现对室内环境热舒适度的量化度量。

2. 系统构建

2.1. 硬件设计

室内环境热舒适度感知系统的硬件系统分为三个模块：环境数据采集模块、数据传输模块和 BOA 服务器模块。

数据采集系统由 DHT11 温湿度传感器、GY-30 数字光照强度监测模块和 89C52RC 单片机组成，该系统中 DHT11 温湿度传感器和 GY-30 数字光照强度监测模块主要完成多环境参数的数据采集，如室内环境的温度、相对湿度和光照强度(图 1)。89C52RC 单片机与温湿度传感器 DHT11 和光照强度传感器 BH1750FVI 通信，负责收集数据，并将多个数据通过 HC-05 无线蓝牙模块上传到 Linux 系统内的虚拟服务器。BOA 服务器模块用来接收环境数据并且以网页的形式将结果展示给用户[9]。

2.2. 软件设计

图 2 所示为系统的软件框图。如图所示，本地端设备的程序主要负责控制传感器采集室内环境的数据，并通过模糊层次分析法处理数据，然后通过无线蓝牙模块将数据上传到服务器端[10]。服务器端通过串口读取程序接收本地端设备上传的数据，然后通过 CGI 程序实现浏览者与服务器之间的交互，并将数据结果通过 Web 网页的形式展示给用户。

图 3 所示为系统软件流程图，本地端设备程序主要包含数据采集端的程序和算法处理端的程序，工作过程具体为：

- 1) 设备上电启动后，先初始化硬件设备，主要包括系统启动，参数设计等，设备处于接收状态，然后等待蓝牙配对，配对成功后，单片机便进入一个主循环中，该循环不断地进行当前环境温度、湿度以及光照强度的测量；
- 2) 服务器端软件主要分为串口读取程序和 CGI 程序。写一个串口读取程序来读取蓝牙模块上传的数据。串口读取到数据之后通过进程间通信传给 CGI 程序，CGI 程序与网页交互，将数据传送到网页上；
- 3) 模糊 AHP 算法处理主要包括基于环境参量获取后的指标权重计算以及不同环境与标准环境的参数评估，用来判断当前状态的舒适度，网页上主要显示当前环境下的温度值、湿度值、光强值、以及测量值权重和标准值权重。

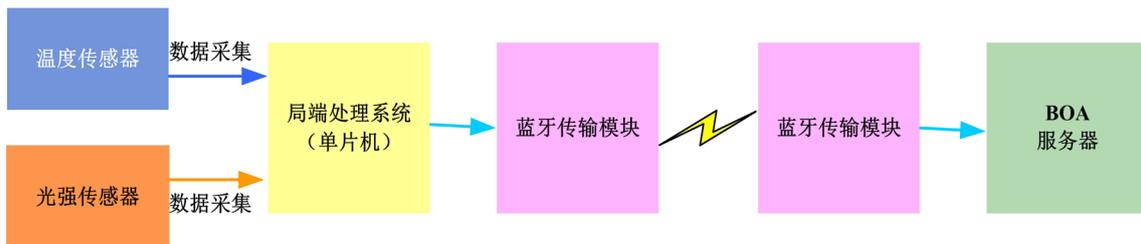


Figure 1. Hardware design

图 1. 硬件系统图



Figure 2. Software chart

图 2. 软件系统框图

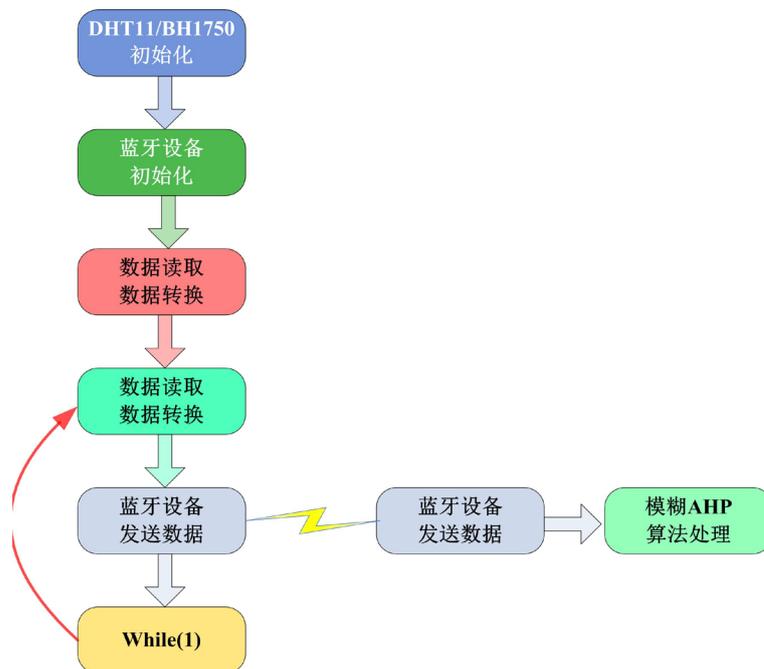


Figure 3. Software flow chart
图 3. 本地端设备软件设计流程图

3. 基于模糊层次分析法的热舒适度评估模型

算法处理端在接收到数据后需要对数据进行处理，基于模糊层次分析法处(FAHP)，实现室内环境热舒适度的结果量化以及显示。

运用模糊层次分析法测量室内环境热舒适度时先建立层次结构模型，然后构造准则层的判断矩阵，得出温度、湿度和光强对室内热环境舒适度的影响所占的权重，由于本设计只考虑三个影响因素，因此不用做一致性检验[11]。最后构造方案层的判断矩阵，得出当前室内环境热舒适度测量值与室内环境热舒适标准值所占的权重，最终得出结论。

3.1. 建立层次结构模型

图 4 所示为本系统的层级结构模型，如图所示，本系统包含三层，即最高层目标层、准则层和方案层[12]。准则层中使用温度、湿度和光强作为舒适度指标。方案层包含标准舒适度状态值以及实际的测量值。

3.2. 构造准则层判断矩阵

设某层有 n 个因素，要比较它们对上一层的某一准则或目标的影响程度，确定它们在该层中相对于某一准则所占的比重，即把 n 个因素对上一层某一目标的影响程度进行排序。上述比较是在两两因素之间进行的比较，比较时用数字 1 到 9 来表示尺度[13]。用 a_{ij} 表示第 i 个因素相对于第 j 个因素的比较结果，则

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (1)$$

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

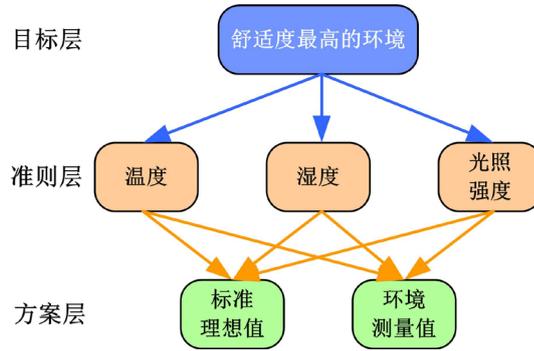


Figure 4. Hierarchy structure
图 4. 层次结构模型

Table 1. Scale of FAHP
表 1. FAHP 比较尺度

标度	定义	含义
1	同样重要	两个因素对于某个准则来说同样重要
3	稍微重要	两个因素对于某个准则来说，因素一比因素二稍微重要
5	明显重要	两个因素对于某个准则来说，因素一比因素二明显重要
7	强烈重要	两个因素对于某个准则来说，因素一比因素二强烈重要
9	极端重要	两个因素对于某个准则来说，因素一比因素二极端重要
2,4,6,8	相邻标度中值	表示相邻两个标度之间折中时的标度
上列标度倒数	反比较	元素 i 对元素 j 的标度为 a_{ij} ，反之为 $1/a_{ij}$

FAHP 的比较尺度如表 1 所示。

论域通常用 U 来表示，指将所讨论的对象限制在一定的范围之内，并把所讨论的对象的全体成员称为论域。设论域 U ，如果存在 $\mu_A(x):U \rightarrow [0,1]$ ，则称 $\mu_A(x)$ 为 $x \in A$ 的隶属度，从而一般称 $\mu_A(x)$ 为 A 的隶属函数。明确集合 A ：元素 x 不是属于 A 就是不属于 A [14]。隶属函数为：

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (3)$$

模糊集合 A ：元素 x 常以某个程度 $\mu(\mu \in [0,1])$ 属于 A ，而非 $x \in A$ 或 x 不属于 A 。

在此基础上，荷兰学者 F.J.M. Van Laarhoven 和 W. Pedrycz 提出了用三角模糊数表示模糊比较判断的方法：设论域 R 上的模糊数 M ， M 的隶属度函数表示为

$$\mu_M(x) = \begin{cases} \frac{1}{m-x}x - \frac{l}{m-l} & x \in [l, m] \\ \frac{1}{m-u}x - \frac{u}{m-u} & x \in [m, u] \\ 0 & x \in (-\infty, l] \cup [u, +\infty) \end{cases} \quad (4)$$

式中 $l \leq m \leq u$ ， l 和 u 分别表示 M 的下界值和上界值。 m 为 M 的隶属度为 1 的中值。

如图 5 所示，一般三角模糊数 M 表示为 (l,m,u) ，当 $x = m$ 时， x 完全属于 M ， l 和 u 分别表示下界和上界。当 x 在 l 或 u 以外时就是完全不属于模糊数 M [15]。例如用 $(4,5,6)$ 表示 i 方案比 j 方案明显重要这一模糊判断。当隶属度为 1 时，这一判断标度为 5；当隶属度为 $x-4$ 时，判断标度为 $x(x \in [4,5])$ ；当隶属

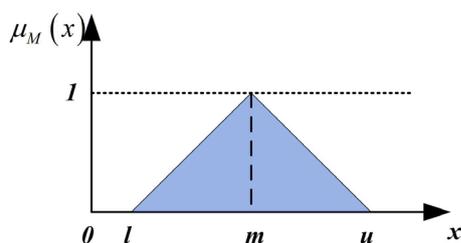


Figure 5. Triangle fuzzy number
图 5. 三角模糊数

度为 $6-x$ 时, 标度为 $x(x \in [5, 6])$ 。

两个三角模糊数 M_1 和 M_2 的运算方法:

$$\begin{aligned}
 M_1 &= (l_1, m_1, u_1); M_2 = (l_2, m_2, u_2) \\
 M_1 + M_2 &= (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \\
 M_1 \otimes M_2 &\approx (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2) \\
 \frac{1}{M} &\approx \left(\frac{1}{u}, \frac{1}{m}, \frac{1}{l} \right)
 \end{aligned} \tag{5}$$

本系统目的是测量室内环境热舒适度, 主要考虑三个因素: 温度、湿度和光强, 通过咨询三个专家得到了它们的模糊评价矩阵(表 2)。

每组的三个比较模糊值, 可以通过相加求平均值的方法整合为一个模糊值, 例如温度比湿度的值为 $(\frac{1+1+1}{3}, \frac{2+2+1}{3}, \frac{3+3+2}{3})$, 由此可以得到模糊矩阵表 3。

然后计算温度、湿度、光强的综合模糊值:

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 a_{ij} &= (1, 1, 1) + (1, 1.67, 2.67) + (1.67, 2.67, 3.67) + (0.39, 0.67, 1) + (1, 1, 1) \\
 &\quad + (1.33, 2.33, 3.33) + (0.28, 0.39, 0.67) + (0.31, 0.44, 0.83) + (1, 1, 1) \\
 &= (7.98, 11.17, 15.17)
 \end{aligned}$$

$$\sum_{j=1}^3 a_{1j} = (1, 1, 1) + (1, 1.67, 2.67) + (1.67, 2.67, 3.67) = (3.67, 5.34, 7.34)$$

$$\sum_{j=1}^3 a_{2j} = (0.39, 0.67, 1) + (1, 1, 1) + (1.33, 2.33, 3.33) = (2.72, 4, 5.33)$$

$$\sum_{j=1}^3 a_{3j} = (0.28, 0.39, 0.67) + (0.31, 0.44, 0.83) + (1, 1, 1) = (1.59, 1.83, 2.5)$$

$$D_{\text{温度}} = \sum_{j=1}^3 a_{1j} / \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 a_{ij} = (0.242, 0.478, 0.920);$$

$$D_{\text{湿度}} = \sum_{j=1}^3 a_{2j} / \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 a_{ij} = (0.179, 0.358, 0.668);$$

$$D_{\text{光强}} = \sum_{j=1}^3 a_{3j} / \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 a_{ij} = (0.105, 0.164, 0.313);$$

计算出温度、湿度和光强的综合模糊值后, 通过图 6 所示的去模糊化方法, 求出温度、湿度和光强

Table 2. Fuzzy matrix
表 2. 模糊评价矩阵

	温度	湿度	光强
温度	(1,1,1)	(1,2,3) (1,2,3) (1,1,2)	(1,2,3) (2,3,4) (2,3,4)
湿度	(1/3,1/2,1) (1/3,1/2,1) (1/2,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3) (1,2,3) (2,3,4)
光强	(1/3,1/2,1) (1/4,1/3,1/2) (1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1) (1/3,1/2,1) (1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)

Table 3. Fuzzy weights for criteria
表 3. 模糊权重值

	温度	湿度	光强
温度	(1,1,1)	(1,1.67,2.67)	(1.67,2.67,3.67)
湿度	(0.39,0.67,1)	(1,1,1)	(1.33,2.33,3.33)
光强	(0.28,0.39,0.67)	(0.31,0.44,0.83)	(1,1,1)

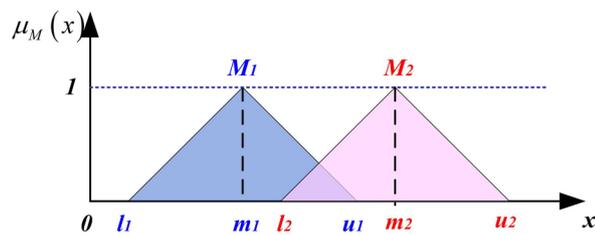


Figure 6. Defuzzification
图 6. 去模糊化几何解释图

所占的最终权重。模糊数 $M_1 \geq M_2$ 的可能度用三角模糊函数定义为：

$$v(M_1 \geq M_2) = \text{SUP}_{x \geq y} [\min(u_{M_1}(x), u_{M_2}(y))] \tag{6}$$

$$v(M_1 \geq M_2) = u(d) = \begin{cases} 1 & m_1 \geq m_2 \\ \frac{l_2 - u_1}{(m_1 - u_1) - (m_2 - l_2)} & m_1 < m_2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$V(D_{\text{温度}} \geq D_{\text{湿度}}) = 1;$$

$$V(D_{\text{温度}} \geq D_{\text{光强}}) = 1;$$

$$V(D_{\text{湿度}} \geq D_{\text{温度}}) = \frac{0.242 - 0.668}{(0.358 - 0.668) - (0.478 - 0.242)} = 0.78;$$

$$V(D_{\text{湿度}} \geq D_{\text{光强}}) = 1;$$

$$V(D_{\text{光强}} \geq D_{\text{温度}}) = \frac{0.242 - 0.313}{(0.164 - 0.313) - (0.478 - 0.242)} = 0.184;$$

$$V(D_{\text{光强}} \geq D_{\text{湿度}}) = \frac{0.179 - 0.313}{(0.164 - 0.313) - (0.358 - 0.179)} = 0.409;$$

可以得到三个指标分别所占的权重值:

$$D_{\text{温度}} = \min V(D_{\text{温度}} \geq D_{\text{湿度}}, D_{\text{光强}}) = \min(1, 1) = 1;$$

$$D_{\text{湿度}} = \min V(D_{\text{湿度}} \geq D_{\text{温度}}, D_{\text{光强}}) = \min(0.78, 1) = 0.78;$$

$$D_{\text{光强}} = \min V(D_{\text{光强}} \geq D_{\text{温度}}, D_{\text{湿度}}) = \min(0.184, 0.409) = 0.184;$$

将以上权重值标准化, 得到温度、湿度和光强的最终权重:

$$D_{\text{温度}} = \frac{1}{1 + 0.78 + 0.184} = 0.51;$$

$$D_{\text{湿度}} = \frac{0.78}{1 + 0.78 + 0.184} = 0.4;$$

$$D_{\text{光强}} = \frac{0.184}{1 + 0.78 + 0.184} = 0.09。$$

因此, 本设计中温度、湿度和光强三个指标对于室内环境热舒适度的影响所占的权重分别为 0.51、0.4 和 0.09。

3.3. 构造方案层的判断矩阵

得到温度、湿度和光强三个指标分别所占的权重之后, 需要求出在每个指标下测量值与舒适标准值所占的权重比, 从而求出当前环境热舒适度测量值与热舒适标准值所占的权重比。方案层的三个判断矩阵分别如下表 4~6 所示。

其中 a 代表当前环境下温度的测量值与舒适温度标准值相比较得到的评价尺度, 相关研究表明: 当温度测量值在 18~24 摄氏度时, 属于舒适范围, 这时 a 的值为 1; 当温度测量值在 10~17 和 25~32 摄氏

Table 4. Judging matrix for temperature

表 4. 温度判断矩阵

温度	测量值	标准值
测量值	a	1
标准值	1	$1/a$

Table 5. Judging matrix for humidity

表 5. 湿度判断矩阵

湿度	测量值	标准值
测量值	b	1
标准值	1	$1/b$

Table 6. Judging matrix for illumination

表 6. 光强判断矩阵

光强	测量值	标准值
测量值	c	1
标准值	1	$1/c$

度时，属于不太舒适范围，这时 a 的值为 3；当温度测量值在 2~9 和 33~42 摄氏度时，属于不舒适范围，这时 a 的值为 5；当温度测量值在其他范围时，属于很不舒适范围，这时 a 的值为 7。以此类推， b 和 c 分别代表当前环境下湿度和光强的测量值与舒适标准值相比较得到的评价尺度。通过测量到的环境数据可以得出测量值所占权重和标准值所占权重，当测量值权重越接近标准值权重时表明当前环境越贴近标准舒适环境，如测量值所占权重为 0.5，标准值所占权重为 0.5，就说明当前环境处在一个非常舒适的状态。

4. 实验结果与分析

4.1. 系统展示

基于模糊层次分析法的室内环境热舒适度感知系统的本地端架构实物图如下图所示。图 7 是本地端设备在进行室内环境的数据采集，温湿度、光强传感器以及蓝牙模块同时工作。图 8 是无线蓝牙模块与电脑连接，接收本地端设备上传的数据。

4.2. 实验设置

系统实验环境如下：

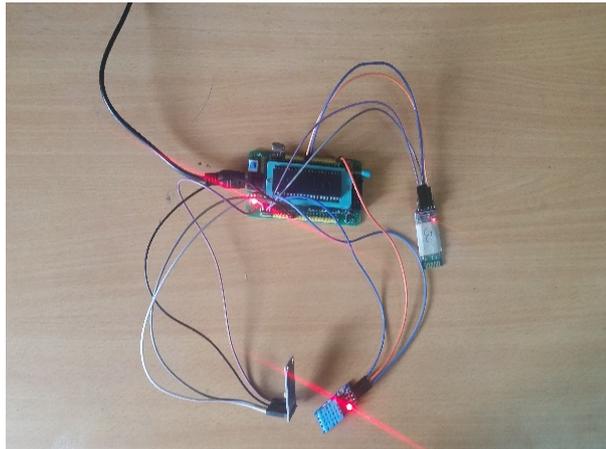


Figure 7. Data collection
图 7. 本地端设备开始进行数据采集



Figure 8. Receiving data
图 8. 蓝牙设备开始接受数据

实验时间：安排在 4、5 月份；

实验地点：苏州科技大学，具体地点为学生宿舍；

实验内容：试验共分为两组，第一组实验是在温度为 28 摄氏度、湿度为 41%、光强为 19LX 的正常环境下进行测量，查看当前环境的舒适度结果。第二组实验是在改变了室内环境的条件下进行测量得到热舒适度结果。对比两组试验得到的结果，对系统的可行性做一个有效的评估。下面是两组实验得到的结果显示图 9 和图 10。

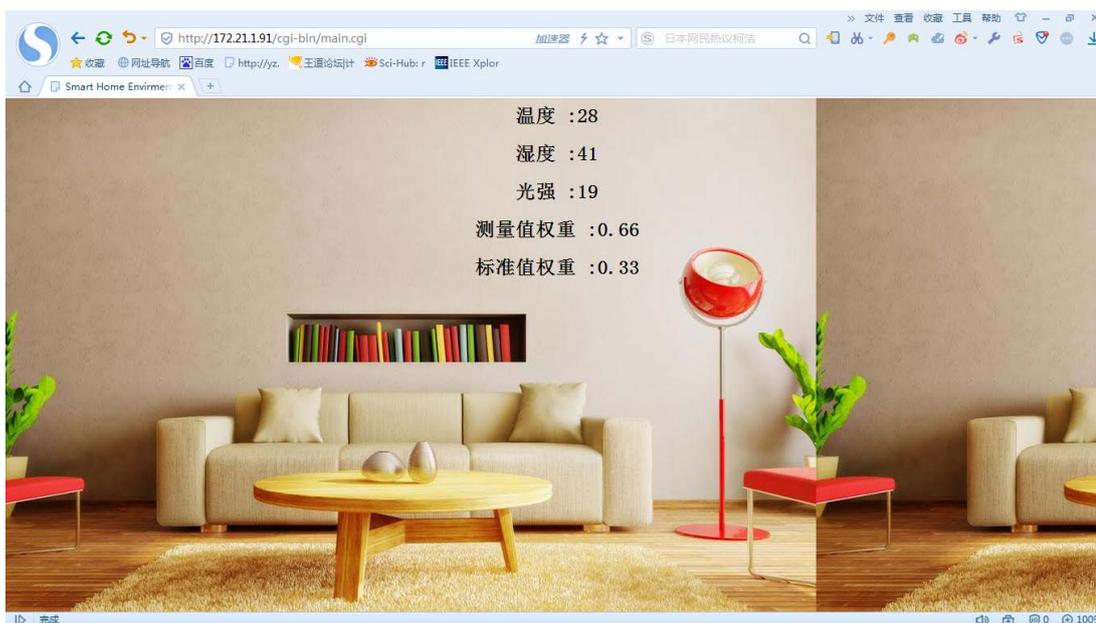


Figure 9. Experiment 1

图 9. 实验一结果图

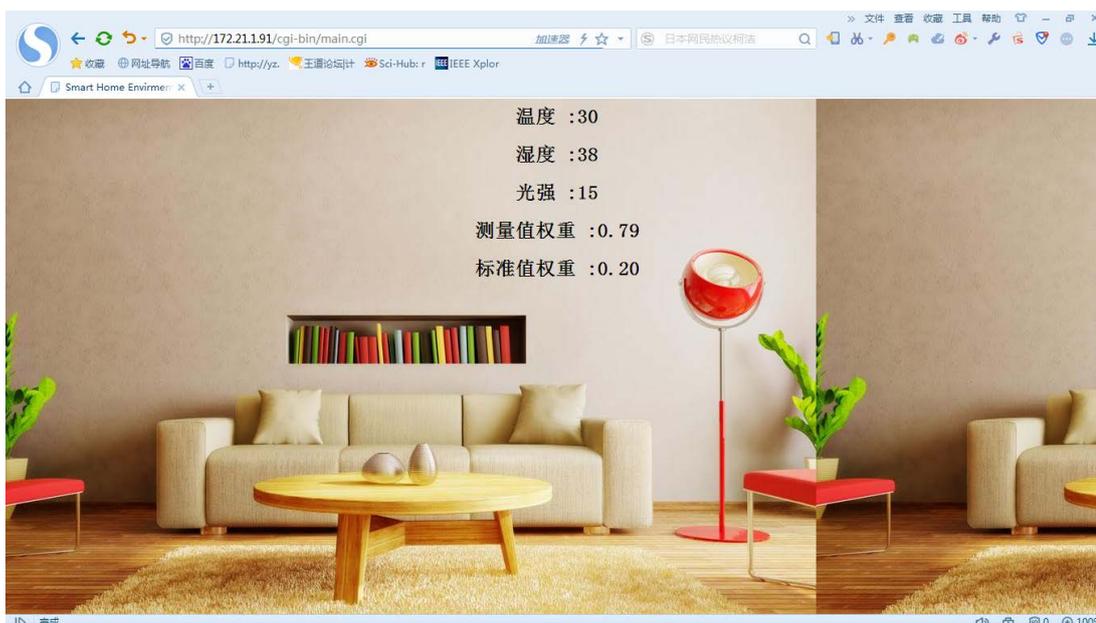


Figure 10. Experiment 2

图 10. 实验二结果图

4.3. 结果分析

实验结果表明, 实验一的环境温度为 28 摄氏度、湿度为 41%、光强为 18LX, 热舒适度的测量值权重为 0.66, 实验二的环境温度为 30 摄氏度、湿度为 38%、光强为 15LX, 热舒适度的测量值权重为 0.79。可以看出实验一的热舒适度测量值权重更加接近舒适度标准值权重, 也就是说, 实验一的环境更加贴近标准热舒适环境, 实验二的环境温度相比略高, 湿度略低, 这也与体验者感受一致。

5. 结论

室内环境的热舒适度和光照舒适度是衡量室内环境质量的重要因素, 直接影响到滞留人员的工作效率以及身体健康。面对室内环境舒适度评估体系中存在的定性描述过多、缺乏定量描述的问题, 提出了一种基于模糊层次分析法的室内环境舒适度的定量描述方法, 实验结果表明, 方法能够有效给出不同环境下的舒适度定量描述, 可以直观看出不同环境与舒适环境的定量差异。结果可以为室内环境舒适度的评估提供一定方法, 也可以为室内节能提供主要依据。

基金项目

本论文得到国家自然科学基金项目(61602334, 61502329, 61401297); 住房与城乡建设部科学技术项目(2015-K1-047); 江苏省自然科学基金项目(BK20140283)资助。

参考文献 (References)

- [1] Salata, F., Golasi, I., Vollaro, E.D.L., *et al.* (2015) Evaluation of Different Urban Microclimate Mitigation Strategies through a PMV Analysis. *Sustainability*, **7**, 9012-9030. <https://doi.org/10.3390/su7079012>
- [2] Ciabattoni, L., Cimini, G., Ferracuti, F., *et al.* (2015) Indoor Thermal Comfort Control through Fuzzy Logic PMV Optimization. *International Joint Conference on Neural Networks*, Killarney, 12-17 July 2015, 1-6.
- [3] 王鹏, 胡庆松, 姜波. 基于热舒适度的大型室内空间综合节能研究[J]. *环境工程*, 2016, 26(1): 917-920.
- [4] Gilani, S.I.U.H., Khan, M.H. and Pao, W. (2015) Thermal Comfort Analysis of PMV Model Prediction in Air Conditioned and Naturally Ventilated Buildings. *Energy Procedia*, **75**, 1373-1379.
- [5] 冯鑫, 段培永, 段晨旭. 基于 PMV 指标的室内环境热舒适度控制器设计[J]. *山东科学*, 2016, 29(1): 110-115.
- [6] Gao, J., Wang, Y. and Wargocki, P. (2015) Comparative Analysis of Modified PMV Models and SET Models to Predict Human Thermal Sensation in Naturally Ventilated Buildings. *Building & Environment*, **92**, 200-208.
- [7] Chang, Y.Y. and Lin, Y.P. (2016) PMV-Based Genetic Algorithms for Indoor Temperature Control System. 2016 *International Symposium on Computer, Consumer and Control*, Xi'an, 4-6 July 2016, 295-298. <https://doi.org/10.1109/IS3C.2016.84>
- [8] 罗一凡. 基于模糊自适应的室内热舒适度建模与控制[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2015.
- [9] 赵建华, 师振伟. 嵌入式 Web 服务器在智能家居控制系统的实现[J]. *计算机技术与发展*, 2013(3): 164-167.
- [10] 史成乾, 王鑫, 李岩昊, 周津锋, 温聪, 贾博文. 基于蓝牙通信的室内环境质量监控系统[J]. *信息通信*, 2016(9): 185-187.
- [11] Gouda, M.M., Danaher, S. and Underwood, C.P. (2001) Thermal Comfort Based Fuzzy Logic Controller. *Building Service Engineering*, **22**, 237-253. <https://doi.org/10.1177/014362440102200403>
- [12] Kim, J.T., Ji, H.L., Sun, H.C., *et al.* (2015) Development of the Adaptive PMV Model for Improving Prediction Performances. *Energy & Buildings*, **98**, 100-105. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.051>
- [13] Zhu, Y., Ouyang, Q., Cao, B., *et al.* (2016) Dynamic Thermal Environment and Thermal Comfort. *Indoor air*, **26**, 125-137. <https://doi.org/10.1111/ina.12233>
- [14] Li, B., Li, W., Liu, H., *et al.* (2010) Physiological Expression of Human Thermal Comfort to Indoor Operative Temperature in the Non-HVAC Environment. *Indoor & Built Environment*, **19**, 221-229. <https://doi.org/10.1177/1420326X10365213>
- [15] Homod, R.Z., Sahari, K.S.M., Almurib, H.A.F., *et al.* (2012) RLF and TS Fuzzy Model Identification of Indoor Thermal Comfort Based on PMV/PPD. *Building & Environment*, **49**, 141-153. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.09.012>

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：sea@hanspub.org