

基于语音识别智能家居系统的设计与实现

渠吉庆¹, 陈禹¹, 刘玉琪¹, 李晓雨¹, 孙科学^{1,2*}

(1. 南京邮电大学 电子与光学工程学院, 江苏 南京 210023;

2. 射频集成与微组装技术国家地方联合工程实验室, 江苏 南京 210023)

摘要:为了创造良好的家居环境以及为手臂残障人士提供方便,设计了一套智能家居系统。该系统由语音识别系统、室内光照采集与控制系统和室内温度检测与控制系统共同组成。使用 LD3320 实现语音识别,通过上位机发出控制信号,进行室内灯光和温度的控制。通过对室内光源照度分布建立模型并分析,设计了光源以及光照传感器的分布。并且利用迟滞比较器软件算法使光源可以根据室内的光照强度进行补光,以达到国际照明标准。考虑到人体舒适度,通过建立体感温度与相对湿度、环境温度的函数关系,得到最佳的设置温度。最后利用模糊 PID 算法控制中央空调的送风机使室内达到设置温度。该智能家居系统具有实时检测、稳定性好、节约电能、成本低等优点,可以广泛应用于智能家居市场。

关键词:智能家居;语音识别;补光;舒适度;模糊 PID

中图分类号: TP274+.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2020)12-0148-05

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2020.12.026

Design and Implementation of a Smart Home System Based on Speech Recognition

QU Ji-qing¹, CHEN Yu¹, LIU Yu-qi¹, LI Xiao-yu¹, SUN Ke-xue^{1,2*}

(1. School of Electronic and Optical Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China;

2. Nation-local Joint Project Engineering Lab of RF Integration & Micropackage, Nanjing 210023, China)

Abstract: In order to create a pleasant home environment and provide convenience for people with arm disabilities, a smart home system is designed, which consists of speech recognition system, indoor illumination acquisition and control system and indoor temperature detection and control system. The LD3320 is used for speech recognition, and the control signal is sent by the host computer to control the indoor lighting and temperature. The distribution of the light source and the illumination sensor is designed by modeling and analyzing the illumination distribution of the indoor light source. The software algorithm of hysteresis comparator is used to make the light source fill the light according to the indoor light intensity, to reach the international lighting standard. Considering the comfort of the human body, the optimal set temperature is obtained by establishing the relationship between the apparent temperature and the relative humidity and the ambient temperature. Finally, the fuzzy PID algorithm is used to control the air blower of the central air conditioner to reach the set temperature in the room. The smart home system has the advantages of real-time detection, excellent stability, energy-saving, low cost, etc., which can be widely used in the smart home market.

Key words: smart home; speech recognition; fill light; comfort; fuzzy PID

0 引言

随着智能楼宇概念的出现,智能家居逐渐进入人们的视野。早期的智能家居,只是简单地控制灯的亮灭、门、窗户的开关等。在 market 需求的推动下,传统的家电企业纷纷转型,投身到智能家居这一新兴市场^[1]。现在智能家居的设计更加注重人机交互和舒适度,可以根据外部环境等因素进行智能化控制^[2-3]。进入 21

世纪后,由于消费类电子产品的普及,嵌入式语音识别技术迅速发展,得到广泛的应用。尤其在智能家居方面,面对杂乱无章的电器,通过语音进行控制,可以大大减少时间成本、管理成本,提高生活效率^[4-5]。如今,中国乃至全球都秉持可持续发展的理念,因此智能家居系统的设计也要朝着这个方向迈进。智能家居的节能环保主要体现在空调、暖气的温度控制,照明设备

收稿日期: 2019-09-23

修回日期: 2020-01-17

基金项目: 江苏省研究生科研创新计划(KYCX20_0803, SJCX19_0271); 江苏省大学生创新训练计划(SYB2019008)

作者简介: 渠吉庆(1996-),男,硕士研究生,研究方向为智能信号处理;孙科学,博士,教授,硕导,研究方向为智能信号处理与通信软件设计。

的亮度控制等方面,从而减少能源的消耗和二氧化碳的排放。

因此,该文设计了一套智能家居系统,通过语音发出命令,完成对室内灯光和温度的智能化控制,使灯光、空调设备在满足人类需求的情况下,最大限度地节省电能,在节能环保方面具有很大的实用价值^[6]。

1 系统总体设计

系统设计实现语音识别、室内灯光亮度的调节和温度的控制三个功能,系统结构如图 1 所示。语音识

别系统负责语音控制命令的发送;LED 灯可以在利用自然光的基础上补光;空调可以根据环境温度、湿度,调整室内温度,使环境更加舒适。因此系统的设计方案为:首先使用 LD3320 语音识别模块,保证较高的识别准确率^[7-9];再对灯具的分布进行建模分析,然后通过迟滞比较器软件算法,调整光源的亮度^[10];最后通过建立室内的体感温度模型,提供室内舒适度控制的可行性后,利用模糊 PID 算法控制空调,使室内达到舒适的温度。

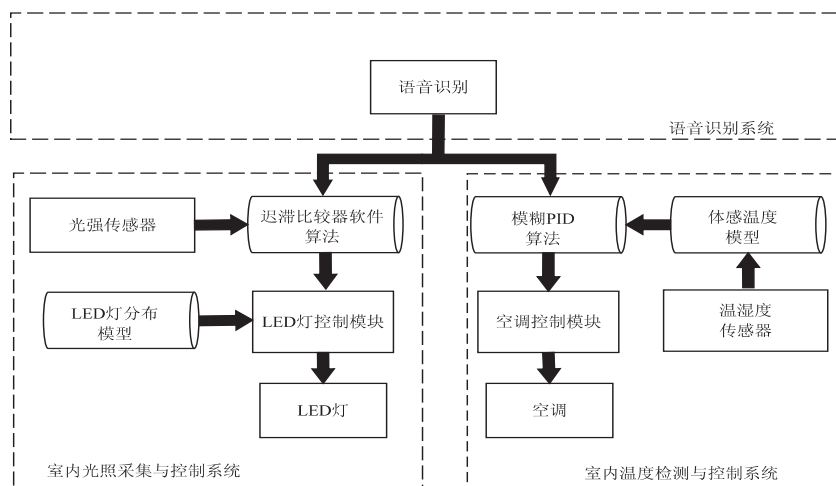


图 1 智能家居系统结构

2 智能家居系统中相关算法的分析与设计

2.1 LED 灯分布模型分析与设计

假设 LED 灯为郎伯源,服从朗伯辐射模型。则室内某点的水平照度^[11]可以表示为:

$$E_n = \frac{I_0 \cos^m(\Phi) \sin(\psi)}{d_n^2} \quad (1)$$

其中, I_0 为发光源的中心发光强度, Φ 为发光源发射角, ψ 为发光源入射角, m 为光源的辐射模式,与光束方向性好坏成正比,表示为:

$$m = \frac{-\ln 2}{\ln(\cos \Phi_{1/2})} \quad (2)$$

d_n 为点 (x_n, y_n, z_n) 到发光源 (x_0, y_0, z_0) 的距离,表示为:

$$d_n = \sqrt{(x_n - x_0)^2 + (y_n - y_0)^2 + (z_n - z_0)^2} \quad (3)$$

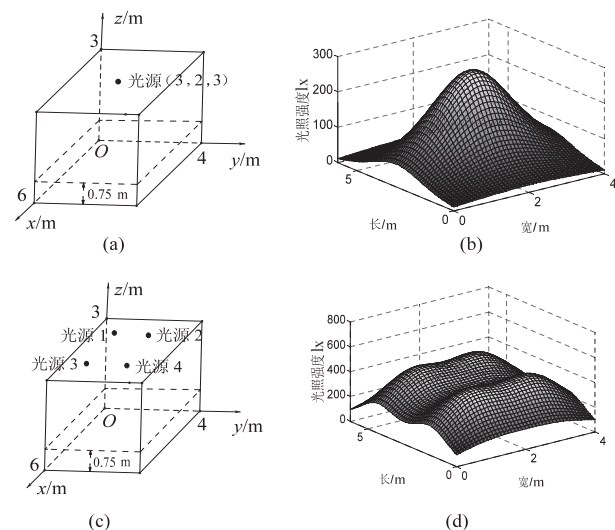
根据国家公布的住宅建筑照明标准,以 0.75 m 高度为参考平面,起居室的照明标准为 100 lx。

以长 6 米、宽 4 米、高 3 米的起居室为例,设计其 LED 灯的布局。设距离地面 0.75 m 的点为 $(x_n, y_n, 0.75)$, $m=2$, $I_0=1400$ cd。不同光源分布的对比如图 2 所示。

(1) 单光源照射。

当单光源照射时,LED 灯的位置如图 2(a) 所示。

使用 MATLAB 画出单光源照度在 0.75 m 水平面的分布,如图 2(b) 所示。从图中可以看出,起居室四周的亮度很低,达不到照明标准,而且中心的亮度很高,使室内的亮度不均匀。因此此方式不适合室内照明。



图(c)中光源 1 坐标 (1.5, 1, 3), 光源 2 (1.5, 3, 3), 光源 3 (4.5, 1, 3), 光源 4 (4.5, 3, 3)

图 2 不同光源分布对比

(2) 多光源照射。

由于单光源的缺点,这里采用四个 LED 灯均匀地

分布在室内,室内模型如图 2(c)所示。

高度为 0.75 米水平面上的光照强度为各个光源照度的叠加,得到多光源照度分布如图 2(d)所示。从图中可以看出,即使是光照强度最低四个角落,也达到了 100 lx 左右,符合国际照明标准。因此采用四个光源分布的设计。

2.2 LED 灯亮度优化算法设计

当室内四个 LED 灯时,由图 2(d)可知,没有自然光源的补充仍然可以达到国家照明标准,并且效果很好。然而实际生活中,受到自然光的影响不可避免,这就需要调整 LED 灯的亮度,进行补光,从而节省电能。而 LED 亮度的调整需要依据光照传感器的数据,所以需要四个光强传感器,安装在四个角落,即四个距离 LED 灯最远的点。只要这四个点的光照强度值满足照明标准,其他各位置均可满足。LED 灯与光强传感器一一对应。

传感器的分布如图 3 所示。

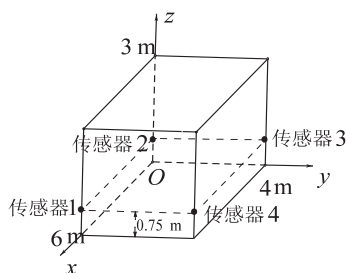


图 3 传感器分布

自然光的光强变化一般都是连续的,要么递增要么递减,所以利用滞回比较器的思路设计算法,具有很好的稳定性。将 LED 灯光的亮度分为六个等级,第一等级 LED 熄灭,第六等级 LED 光照达到最强。当 LED 光照达到最大亮度时,一定会符合标准,所以在算法中不用检测是否已经到达最高等级。而当 LED 熄灭时,自然光也有可能达到 100 lx,所以需要加入光照等级是否为 0 的检测。

算法流程如图 4 所示。

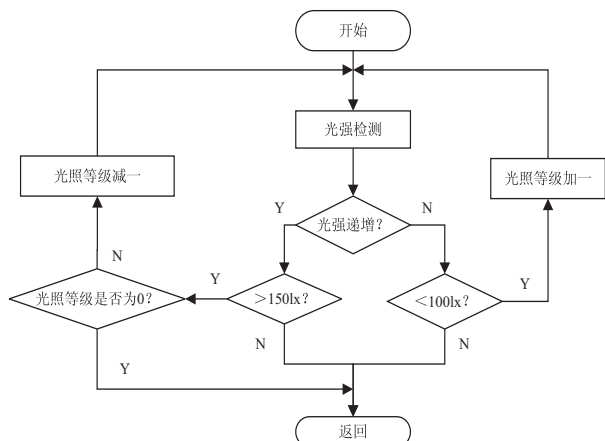


图 4 迟滞比较器软件算法流程

2.3 基于 GEP 算法体感温度的分析与模型建立

人体主观的舒适度与体感温度密切相关,体感温度又与环境中的多个因素有关^[12]。故通过 GEP 算法^[13]建立体感温度与环境因素的函数关系^[14],是研究人体舒适度的重要内容,为温度控制打下基础。

根据文献[14]经过 100 次的换代后,得到了种群的最优解,如式(4)所示。

$$t = \begin{cases} a, 30 \leq b \leq 50 \\ 1.07a + 0.07(b - 50) - 0.53, 50 < b \leq 80 \end{cases} \quad (4)$$

其中, t 为体感温度, a 为环境温度, b 为相对湿度。

由式(4)可知,处于夏季时,当相对湿度小于 50 的时候,对体感温度的影响很小。而当相对湿度大于 50 的时候,将会对体感温度产生影响,例如当相对湿度较大时,即使温度不高,人也会感到十分闷热而不舒适。

可以简化得到环境温度与最佳体感温度 t_{\max} 、相对湿度的关系,如式(5)所示。此式将会为温度控制提供需要的设置温度。

$$a = \begin{cases} t_{\max}, 30 \leq b \leq 50 \\ 0.93t_{\max} - 0.07(b - 50) + 0.50, 50 < b \leq 80 \end{cases} \quad (5)$$

2.4 模糊 PID 算法的分析

PID 控制在工业控制领域得到了广泛的应用,即使是人工智能算法迅速发展的今天,仍然有 90% 以上的控制回路采用 PID 控制。调节其比例系数可以加快系统的响应时间,积分系数可以消除静态偏差,微分系数可以改善系统的动态特性,抑制超调量。在离散情况下,位置式 PID 的公式如下:

$$\begin{aligned} \text{Out} = & k_p \{ e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{k=0}^n e(k) + \\ & T_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T} \} = \\ & k_p e(k) + k_i \sum_{k=0}^n e(k) + \\ & k_d (e(k) - e(k-1)) \end{aligned} \quad (6)$$

其中, $e(k) = S_v - P_k$, S_v 为用户设定值, P_k 为当前测量值。

在设置 PID 控制的过程中,最重要也是最关键的一步就是参数整定,即确定 k_p 、 k_i 和 k_d 的值。在实际应用过程中,当环境改变时,也要适时地重新整定 PID 参数,以保证其稳定工作,这就增加了工作量,也非常不方便。这时模糊控制就可以发挥作用,不需要精确的数学模型,与 PID 算法结合,组成模糊 PID 控制算法^[15-17]。利用模糊逻辑并根据一定的模糊规则对 PID 参数进行实时优化,从而克服传统 PID 算法无法实时

调整 PID 参数的缺点。由于各个家庭环境还有暖气设备的不同, PID 的参数肯定不同, 所以该文采用模糊 PID 控制, 增加系统的鲁棒性、便捷性, 也会使室内环境更加舒适。

如今, 中央空调可以设置多个出风口, 比传统空调更加舒适而且安装隐蔽, 不影响房子的整体美感, 因此很快得到普及。家用空调中使用比较多的还是变风量空调系统, 通过改变冷热风速, 从而改变温度。通过模糊 PID 算法控制送风机, 改变其转速, 达到温度控制的目的。下面是模糊 PID 算法的设计过程:

(1) 模糊化。

温度偏差 e , 温度偏差变化率 ec , 用模糊语言定义为: NB (负大), NM (负中), NS (负小), ZO (零), PS (正小), PM (正中), PB (正大)。 e 和 ec 的变化范围 $E = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$, $EC = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ 。 k_p 、 k_i 和 k_d 的模糊语言为 ZO, PS, PM, PB。 k_p 、 k_i 和 k_d 的变化范围为 $k_p = \{0, 2, 4, 6\}$, $k_i = \{0, 0.01, 0.02, 0.03\}$, $k_d = \{0, 1, 2, 3\}$ 。以上均采用三角隶属度函数。

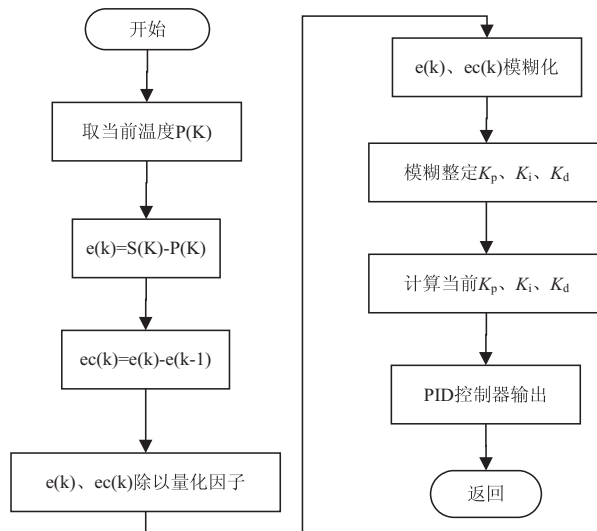


图 5 模糊 PID 程序流程

使用 MATLAB 中的 Simulink 仿真, 由式(6)可以得到其拉式变换, 如式(8)所示。根据式(8)可以很容易地搭建仿真模型, 这里将模糊 PID 控制模型和 PID 控制模型放在一起, 便于对比, 如图 6 所示。

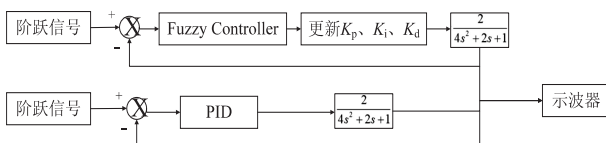


图 6 模糊 PID 与 PID 的 Simulink 仿真图

其中 Fuzzy Controller 采用的是封装的形式, 由三个模糊控制器组成, 分别输出 k_p 、 k_i 和 k_d 的矫正值。

$$G(s) = k_p + k_i \frac{1}{s} + k_d s \quad (8)$$

(2) 模糊推理。

在实际应用中, 根据平时调试的经验和专家数据, 分别对 k_p 、 k_i 和 k_d 设置模糊规则表, 该文通过 MATLAB 使用模糊语言语句 if A and B than C 的方式进行设计。

(3) 去模糊化。

去模糊化就是将模糊变量转换为精确量的过程。该系统采用重心法来解模糊, 表达式为:

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=0}^n \mu_c(Z_i) Z_i}{\sum_{i=0}^n \mu_c(Z_i)} \quad (7)$$

其中, Z_0 为模糊控制器输出量, 即解模糊后的精确值; Z_i 为模糊控制量论域内的值; $\mu_c(Z_i)$ 为 Z_i 的隶属度值。

去模糊化后将会得到 k_p 、 k_i 和 k_d 的矫正值, 带入 PID 控制器, 即可进行 PID 运算。

模糊 PID 算法的流程如图 5 所示。

PID 控制的初始值 $k_p = 10$, $k_i = 1$, $k_d = 3$, 假设被控对象为 $\frac{2}{4s^2 + 2s + 1}$, 在阶跃信号的激励下, 得到的仿真结果如图 7 所示。

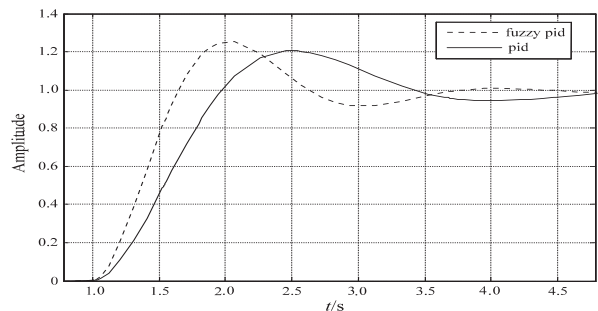


图 7 模糊 PID 与 PID 的阶跃响应

通过图 7,可以看出模糊 PID 的响应速度更快,动态性能更好,相对于传统的 PID 控制有了很大的提高。

3 系统测试

为了检验系统的准确性以及稳定性,在两种不同的环境下进行实验,分为安静环境和噪音环境。通过播放音乐创造噪音环境,平均噪声强度为 50 dB。首先测试人员说出语音指令,检查语音识别是否正确,紧接着判断下位机是否接收到信号,做出正确的响应,比如读取温湿度数据、关闭 LED 灯等。每个语音指令在不同的环境下,重复测试 30 次。只有指令的识别与响应同时正确时,才算这次测试成功。这样测试的成功率就代表了语音识别的准确率和数据传输的准确率。测试结果如表 1 所示。

表 1 系统测试结果

语音指令	实验环境	成功次数	成功率/%
开灯	安静环境	29	96.67
关灯	安静环境	29	96.67
打开空调	安静环境	28	93.33
关闭空调	安静环境	29	96.67
开灯	噪音环境(50 dB)	26	86.67
关灯	噪音环境(50 dB)	25	83.33
打开空调	噪音环境(50 dB)	25	83.33
关闭空调	噪音环境(50 dB)	26	86.67

从表 1 可以看出,当处于安静环境时,系统测试的成功率比较高,在 50 分贝噪音环境下,测试结果显示成功率在 80% 以上,可以较好地适用于家居环境。

4 结束语

文中设计了一种基于语音识别的智能家居系统,主要完成了语音识别系统、室内光照采集与控制系统和室内温度检测与控制系统的设计与实现。通过测试,该系统可以稳定运行,识别正确率高。该系统能够完成语音识别、根据自然光的光照强度自动调整光源亮度、根据室内的温湿度自动调节室内温度的功能,具有低功耗、稳定性高、准确性高的特点。为了进一步提高智能家居的体验,下一步计划与深度学习结合,以实现更加舒适、节能、方便的家居生活。

参考文献:

- [1] 熊先青,吴智慧. 家居产业智能制造的现状与发展趋势[J]. 林业工程学报,2018,3(6):11-18.
- [2] XIANG P. Design of smart home system based on the technology of internet of things[J]. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 2014, 4(14): 2236-2240.
- [3] BIRCHLEY G, HUXTABLE R, MURTAGH M, et al. Smart homes, private homes? An empirical study of technology researchers' perceptions of ethical issues in developing smart-home health technologies[J]. BMC Medical Ethics, 2017, 18(1): 18-23.
- [4] 叶虹,王海伦,姜春娣. 非特定人问候语连续语音识别技术的研究[J]. 浙江工业大学学报, 2010, 38(5): 566-569.
- [5] 王磊,何勇,张宇,等. 基于便携式语音的智能家居系统的设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2018, 39(5): 1290-1295.
- [6] 陈思运,刘烔,沈超,等. 基于可穿戴设备感知的智能家居能源优化[J]. 计算机研究与发展, 2016, 53(3): 704-715.
- [7] 徐强菊,葛丽莉,宗昌灏,等. 面向压电能量收集的传感器自供电电源设计[J]. 压电与声光, 2019, 41(2): 213-216.
- [8] 孙科学,杨雨诺,周依娜,等. 基于 LabVIEW 的心音信号采集与分析平台构建[J]. 实验技术与管理, 2018, 35(8): 144-147.
- [9] 傅大梅,盛彬. 语音识别无线开关控制装置的设计[J]. 现代电子技术, 2017, 40(14): 33-35.
- [10] CHIU H J, LO Y K, LIN Y L, et al. A cost-effective PWM dimming method for LED lighting applications[J]. International Journal of Circuit Theory and Applications, 2015, 43(3): 307-317.
- [11] 孙科学,魏敏,宋江珉,等. 双声道心音能量熵比的提取与识别研究[J]. 计算机技术与发展, 2017, 27(12): 166-169.
- [12] 刘龔铭,孙科学,王淑媛,等. 基于 Nios II 的 RFID 物流管理系统设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2016, 26(10): 142-145.
- [13] FERREIRA C. Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems[J]. Complex Systems, 2001, 13(2): 87-129.
- [14] 陈婉君,裴君,杨捷. 基于改进 GEP 算法的体感温度建模[J]. 控制工程, 2018, 25(1): 136-142.
- [15] ALOUACHE A, WU Q. Fuzzy logic PD controller for trajectory tracking of an autonomous differential drive mobile robot (i. e. Quanser Qbot) [J]. Industrial Robot, 2018, 45(1): 23-33.
- [16] 张丽萍,马立新,金珍珍. 模糊自适应 PID 炉温控制系统的设计[J]. 热加工工艺, 2012, 41(14): 234-236.
- [17] ZHANG Ke, QIN Jingxian, SUN Jia, et al. Application of adaptive fuzzy PID leveling controller[J]. TELKOMNIKA - Indonesian Journal of Electrical Engineering, 2013, 11(50): 2869-2878.