

睡眠环境智能控制系统^①

林建生^{1,2}, 费洪晓¹

¹(中南大学 软件学院, 长沙 410075)

²(中山大学 东校区教学实验中心, 广州 510006)

摘要: 拥有一个舒适的室内睡眠环境是许多人所梦寐以求的, 结合睡眠的医学知识和自动控制理论, 提出一种以单片机为控制核心, 整合多种家居电器的睡眠环境智能调节系统的设计方案, 并介绍了系统的总体规划、控制策略和软件实现, 经实际测试表明该系统实用价值较高, 不仅能有效地改善睡眠环境也可有助睡眠医学的相关研究.

关键词: 睡眠医学; 睡眠环境; 自动控制; 单片机; 传感器

Sleep Environment Intelligent Control System

LIN Jian-Sheng^{1,2}, FEI Hong-Xiao¹

¹(School of Software, Central South University, Changsha 410075, China)

²(East Campus Education&Experiment Center, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Many people dream of having a good sleeping environment indoor. In this paper, combining with the sleep medicine knowledge and automatic control theory, we propose a sleep environment intelligent control system design scheme, which uses the single chip processor as the controlling core and integrates various household electrical appliances. In this design, we will introduce the overall plan of the system, the control strategy, software design and implementation. The actual test shows that practical value of the system is high, it not only can effectively improve sleep environment also can help the research related to the sleep medicine.

Key words: sleep medicine; sleeping environment; automatic control; single chip microcomputer; sensor

现代睡眠医学认为, 人的睡眠好坏并不完全取决于睡眠时间的长短, 关键在于睡眠质量, 睡眠质量比睡眠时间更为重要, 人一整夜的睡眠可分为 NREM 睡眠时相和 REM 睡眠时相, 睡眠质量则取决于 NREM 睡眠和 REM 睡眠的时间比值, 舒适睡眠时两种睡眠时相应交替出现, 而且两者的比值大约为 3:1. 人类 NREM 睡眠的发生与体温节律的特定时相呈现恒定的联系, 表明人类接受外周温度的传入冲动会影响 NREM 睡眠长短, 而睡眠实相转换时心率也会产生变化^[1]. 此外改变某些环境因子也一定程度上会影响睡眠时两种睡眠时相的比值, 因此人的睡眠质量的高低程度受到卧室环境客观条件的制约, 温度、湿度、风速是影响人类睡眠结构的三个关键因素^[2], 氧气含量、噪音、灯光、负离

子浓度等环境因数也会影响睡眠质量, 睡眠环境是决定良好睡眠的重要先决条件. 目前市面上各种适用于控制卧室环境的家居电器可谓数不胜数, 但在实际应用中多存在以下两点不足之处: (1)环境控制设备大多数在某一时间内只能对一个环境因数进行控制, 如只是控制温度高低或仅对湿度进行调节. 但由于卧室大多为一个相对封闭的空间, 在这种情况下温湿度这两个环境因子存在强耦合的关系, 即调整温度必然会影响到湿度的变化, 同理调整湿度也会影响温度, 所以控制效果经常会差强人意; (2)入睡、熟睡和起床, 各个阶段因处于不同的睡眠时相, 故对温湿度的要求并不相同, 目前还没有哪一个家居电器控制设备能较好地据此提供个性化的智能控制功能.

① 收稿时间:2012-05-20;收到修改稿时间:2012-07-04

本文提出的基于多个 MCU 的智能睡眠监控系统方案能有效地解决以上两个问题，通过心率检测能判断睡眠者所处的睡眠时相，传感器同步监测各种环境参数，单片机对多个家居电器实施无线分布式控制，从而达到智能调节环境参数目的，让睡眠者可以获得一个较舒适的个性化的卧室睡眠环境。

1 系统概述

本系统总体分为上下位机两部分，通过无线传输进行通信，可在线调节被控参数，同时实现数据的存储与处理等工作，下位机子系统由三个单片机单元电路组成，设计采用一主多从的闭环控制方式，每个 MCU 单元都带有 NFR401 无线接口，下位机系统具有报警、显示与键盘等功能，上、下位机可同步工作或下位机系统单独工作。

上、下位机系统总体框图如图 1, 2 所示。

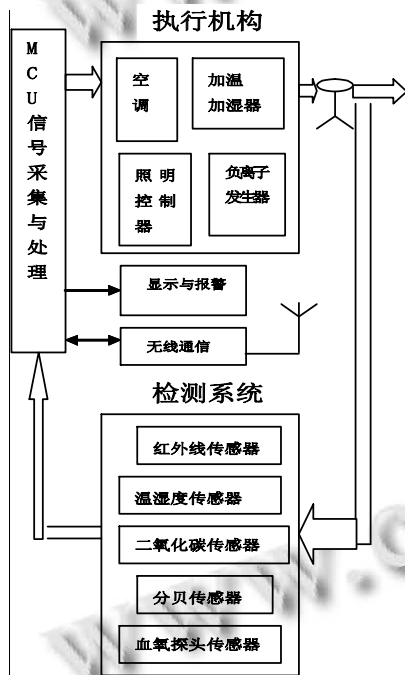


图 1 下位机系统结构图

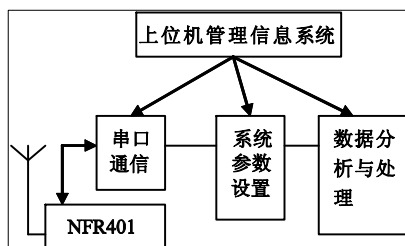


图 2 上位机系统结构图

执行机构部分，采用 YHD4840A-Z 交流固态继电器将单片机与控制对象进行连接，空调的无线遥控是通过 MCU1+NFR401 单元电路实现，该单元电路控制继电器模拟空调操作面板按钮实现对空调的按需自动操作。

检测信号部分，通过心率的变化可推算出人体睡眠状态，心率信号监测采用对家用的常规“血氧仪”加以改造、集成到系统中，“血氧仪”输出的信号经 MCU2+NFR401 单元电路作进一步的处理后送往上位机。环境监测单元分别采用了 AHT11 温湿度传感器、TGJ 噪音计、MS4100 固态二氧化碳传感器以及 QS-01 半导体空气质量传感器等，采集后的信号送往主控 MCU3 处理。

2 系统控制算法设计与实现

考虑到环境因素对不同人的确切影响不是确定的“非此即彼”的二值逻辑状态，而是存在从“很好”、“一般”、“不好”和“很差”的过渡过程，故要开发的系统本身是一个复杂的、非线性时变系统，其传递函数很难获得，此外卧室通常是一个相对的封闭的空间，故其环境因素中的“温度”和“湿度”之间所存在的强耦合作用较为明显。模糊控制因不需建立精确的传递函数，而且具有一定的解耦能力，所以系统采用模糊控制策略进行控制。模糊控制器结构如图 3 所示。

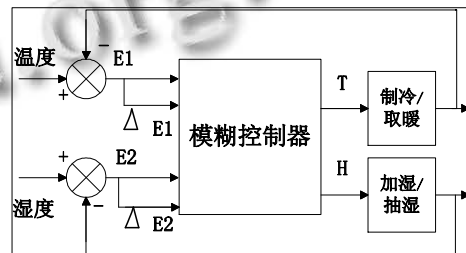


图 3 模糊控制结构图(两输入-四输出)

在本系统中，由于排气扇和亮度的执行装置单一而且考虑到对温湿度的影响相对其它执行装置而言影响较小，所以不需要对它们进行模糊控制而直接使用基于 PID 的 PWM 控制即可，控制系统设计了基于温度、湿度变量的模糊控制器，模糊控制器的输入量有：当前温度值与系统设定值偏差 E1，当前湿度值与系统设定值的偏差 E2，温度和湿度设定值 T、H 作为

系统给定值; 输出量有: 取暖器开关 u_1 、增湿器开关 u_2 、空调(制冷模式)开关 u_3 和空调(抽湿模式)开关 u_4 . 则控制器输入为:

$$E1 = T(K) - T$$

$$E2 = H(K) - H$$

控制器输出: U_1 取暖器开启; U_2 加湿器开启;

U_3 空调制冷开启; U_4 抽湿器开启

采用三角形隶属函数和 T—S 模糊推理, 其中模糊规则的定义如下. (1) 执行装置导通时为 0, 关闭时为 1. (2) 若输出量等于 0.5 时, 保持执行器状态不变, 大于 0.5 是为 1, 小于 0.5 时为 0. 利用 VB 可计算出采用 COA 方法时的 U_1 、 U_2 、 U_3 和 U_4 的控制输出表.

3 系统软件设计

软件系统由基于 C 语言编写的环境参数与心率检测模块、信息显示与报警模块、各个环境设备的自动控制程序模块与无线传输数据模块等下位机应用程序, 以及上位机基于 VB6.0 编写的数据存储与显示、睡眠状态分析与判断、模糊决策表计算与控制输出表的查询、系统参数设置等应用程序模块组成. 系统软件主控程序对各个模块进行协调和数据交互, 根据控制原理和操作过程有机地调用各功能模块和控制算法软件. 由于人体在快波睡眠阶段对体温的调节能力较差, 所以温度变化对快波睡眠的影响较大, 故系统采用控温为主, 控湿为辅策略, 制定了三套控制程序, 第一套程序依据人体工程学原理营造一个适合的睡眠温度曲线, 把整个睡眠过程分为入睡、熟睡和起床 3 个阶段, 首先是入睡阶段, 控制系统会把当前室温适当降/升温 (设定值为 23°C), 营造容易入睡的温度环境; 在熟睡阶段开始, 进行适当加/降温 (25°C), 并维持室温 (25°C), 延长深度睡眠时间; 最后在起床阶段 (熟睡后 8 个小时), 控制系统温度进行适当降温 (设定值为 22°C), 使处于睡眠状态中的人自然醒来, 由于最适合的睡眠温度因人而异, 因此可在“系统参数设置”模块进行预设置. 第二套程序在第一套程序的基础上加入模糊控制策略, 有助于通过调整卧室环境因素从而间接地调整

睡眠者 REM 与 NREM 的睡眠时间比例, 因此能够让人睡得更加香甜. 第三套程序在第二套程序基础上再进一步增加心率监测部分, 配合上位机一起使用, 便于实时监测人在睡眠时的生理参数变化规律, 以便从中寻找更加个性化的较优的睡眠环境因素的参数值, 这三套程序用户可按需选用.

4 结语

整个系统设计由四个部分组成, 以单片机为核心, 具有运行稳定、可维护性好、具有一定的抗干扰能力和操作方便灵活等优点, 系统能够自动地完成对环境参数和人体睡眠生理参数的检测, 与手动监测对比数据精确稳定, 心率数据经无线传输到电脑终端处理后能清晰显示和保存, 系统能同时控制多种不同的家用电器对环境参数的控制, 在刻意改变环境条件下能及时控制调节器控制环境因素随之发生变化并最终达到预定的参数目标, 为睡眠者智能调节一个较适合的个性化的居住环境, 此外由于睡眠中的心血管、呼吸、内分泌等人体系统有着与白天不同的工作模式, 上位机所记录的整夜的睡眠心率与血氧信号也有助于在必要时对患者生理参数的分析.

参考文献

- 1 吴锋, 俞孙梦, 张宏金, 金璋瑞. 心率变化特征与睡眠分期耦合关系研究. 北京生物医学工程, 2003, 22(3): 184-187.
- 2 李万珍, 谭传凤. 人体的气候适宜度研究. 华中师范大学学报 (自然科学版), 1994, 28(2).
- 3 黄席珍. 睡眠医学的过去、现在与将来. 实用诊断与治疗, 2004, 6(18).
- 4 李开元, 王卫东. 基于 nRF905 的无线血氧指夹的设计. 生物医学工程研究, 2007(2): 204-207.
- 5 King PJ, Mamdani EH. The Application of Fuzzy Control Systems to Industrial Process. Automatic, 1997, (3): 235-242.
- 6 Lee CC. Fuzzy logic in Control Systems: Fuzzy logic Controller—Part II. IEEE Trans. SMC, 1990, 20(2): 419-435.