

基于 PWM 的 LED 灯模拟自然光强系统的设计

钱幸生¹, 李 伟¹, 刘 昊¹, 袁佳磊², 徐寅林¹

(1. 南京师范大学物理科学与技术学院, 江苏 南京 210023)

(2. 南京师范大学强化培养学院, 江苏 南京 210023)

[摘要] LED 是一种具有高效节能、绿色环保、使用寿命长等优点的新型光源. 本文所述的 LED 灯模拟自然光强系统, 以 AT89C51 单片机为核心控制芯片, 实现在阴雨天的昏暗早晨, 利用 LED 灯补光以模拟最佳自然光强渐亮的效果, 将有助于改善人们起床后的精神状态. 系统采用 PT4115 大功率 LED 恒流驱动方案, 可实现对 LED 灯的多级 PWM 调光控制. 本文给出了系统的硬件与软件设计, 并以自然光强变化的拟合曲线作为标准, 对 LED 光亮进行控制.

[关键词] LED, 模拟自然光, 单片机, PWM

[中图分类号] TB472, TP273 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2014)03-0028-05

Design of LED Lights System Based on PWM for Simulating Natural Light Intensity

Qian Xingsheng¹, Li Wei¹, Liu Hao¹, Yuan Jialei², Xu Yinlin¹

(1. School of Physics and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(2. Honor School, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: LED is a new type of light source with high-energy, green-environmental protection, long-life and other advantages. In this paper, the LED lighting system for simulating natural light intensity uses AT89C51 MCU as the core control chip, with LED light compensation, to achieve the best gradually bright effect of simulating natural light intensity in the rainy dark morning, which will improve the mind states when people wake up. The system adopts PT4115 high-power LED constant current driving scheme, which can realize multistage PWM dimming control of LED lights. The paper gives the hardware and software design of the system and uses the fitting curve of natural light intensity as the standard curve of LED brightness control.

Key words: LED, simulating natural light, MCU, PWM

由于地球自转的影响,形成了白昼、黑夜的交替,而地球公转的影响,则形成了白昼、黑夜长短变化的自然现象;同时,由于天气变化,晴天与阴雨天的早晨光强变化也不甚相同. 这些不同天气自然现象的差别,往往会影响人们整个白天的工作情绪. 因此,研究不同季节、不同天气下清晨自然光变化规律,从而在人们的卧室中模拟营造出晴天早晨自然光强变化的环境,将会有助于人们起床时适应环境光强而减少困乏,从而精神饱满.

为了解决上述问题,设计出能够模拟自然光强变化的控制系统,将有助于改善人们起床后的精神状态. LED 作为一种新型光源,具有高效节能、绿色环保、使用寿命长等优点^[1],本文以对 LED 灯珠的控制展示为例,基于单片机控制器件,用 PWM 控制技术对该想法的功能予以实现.

1 系统硬件设计

该 LED 灯模拟自然光强系统由控制模块、按键模块、光强采集及 A/D 模块、LED 恒流驱动模块、液晶显示模块、时钟模块、测温模块、闹钟模块组成. 系统结构框图如图 1 所示. 其简易实现方案如下:采用 6 只

收稿日期:2014-07-20.

基金项目:国家级大学生创新创业训练计划项目(201310319021Z).

通讯联系人:徐寅林,博士,教授,研究方向:生物医学电子学. E-mail: xuyinlin@njnu.edu.cn

高亮白光 LED 灯珠为光源;以 AT89S51 单片机为主控芯片;用 PT4115 高调光比 LED 恒流驱动器实现 LED 台灯的 400 级 PWM 调光控制^[2,3];用 1602 液晶实时显示时钟、日历与环境温度信息;闹钟部件用蜂鸣器,功能采用声光报警方式,即一旦到达闹钟时间,LED 台灯光强渐亮达到最大,并且蜂鸣声发声闹铃,以唤醒用户;用户可通过按键系统实现对时间、日期与闹钟参数的设置、LED 亮度的调节以及闹钟报警的解除;DS1302 作为时钟芯片;温度检测系统选用 DALLAS 公司“一线总线”接口的数字温度传感器 DS18B20.

2 自然光数据采集与分析

2.1 光强数据采集

由于全年季节变化,不同季节相同时间段的光强变化不同,而本文所述系统只需达到模拟能使人起床精神较佳的晴天光强变化即可,选择入夏晴天的早晨光强作为目标更为合适.其次,在季节稳定(非季节交替时间段)的短期时间段内,可近似认为每天光强变化只受天气影响,而忽略季节变化对其影响.

运用光敏电阻阻值随光照强度变化的原理,利用 8 位 A/D 转换,通过串行口将测量光强的数据实时传入到电脑并记录.光强共分为 256 个等级,实时传入电脑的数据范围即为 0 ~ 255.测试时为了增强实验数据的多样性和一般性,采集了晴天和阴天(各 10 天)作为样本并选取了凌晨 4 点到早晨 7 点的光强变化(数据采集间隔为 10 s).数据样本采集于 2014 年 5 月 20 日至 6 月 30 日.对晴天和阴天采集的光强数据取平均值后,其变化曲线如图 2 所示.

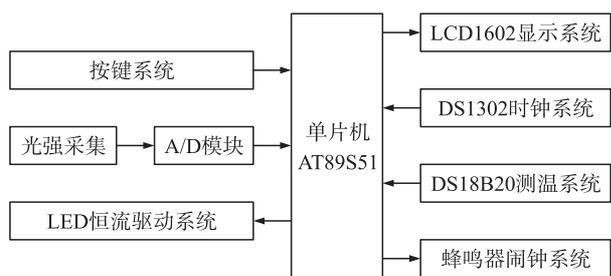


图 1 系统结构框图

Fig.1 Block diagram of the system

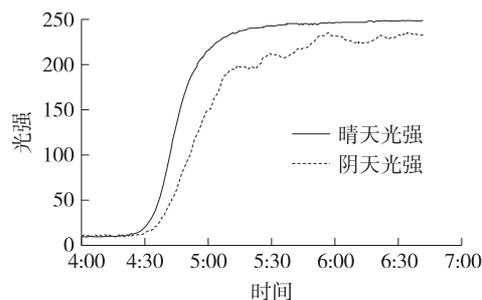


图 2 晴天和阴天光强变化曲线

Fig.2 Light intensity curve of the sunny and cloudy

由图 2 可得出以下结论:

- (1)晴天光强变亮的时间约为 4:30 ~ 5:30 之间,阴天光强变亮的时间段约为 4:30 ~ 6:00 之间,阴天渐亮的周期长于晴天的渐亮周期;
- (2)同一时刻,晴天的光强高于阴天的光强;
- (3)阴天光强变化在较亮后抖动厉害(多个阴天均遵循此规律,非测量误差,分析原因可能是阴天不同厚度乌云飘过造成的);
- (4)光强的总体呈现“S”型曲线变化,天气变亮主要集中在 0.5 h ~ 1 h 这一个时间段内.

取 3 天(分别为 5 月 21 日、5 月 23 日、5 月 26 日)晴天光强变化数据作样本分析,得出 3 天各自的晴天光强变化曲线,如图 3 所示.局部放大如图 4 所示.

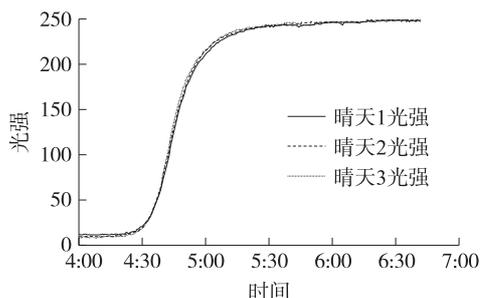


图 3 3 天晴天光强变化

Fig.3 Light intensity curve of 3 sunny days

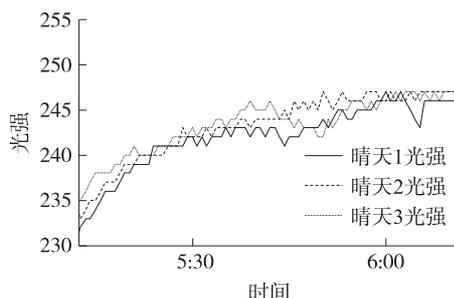


图 4 局部放大

Fig.4 Partial zoom

从图3、图4可知:

(1)同一天的光强数据,从图3看,宏观上变化较为平滑,但从图4看出微观上细节放大后数据变化高低起伏,光强数值离散较严重.

(2)不同晴天的光强数据,从细节角度分析相差较大.

由此可见,从实验数据中选择一条基准曲线有许多不便.首先,通过PWM来控制LED灯光强,若以微观上高低起伏的数据作为基准,会给控制带来困难;其次,不同晴天的光强变化不同,以某一天光强变化作为基准不可行,虽可采用多天数据平均值的方法,但也无法从微观上得到平滑的基准数据.而利用数学模型,运用数学公式拟合出宏观上晴天的光强变化,将是可行方案.

2.2 模型的拟合与分析

由上文可知,光强的总体呈现“S”型曲线变化,类似于数学建模上常见的阻滞增长模型(logistic模型)^[4],因而用该模型来拟合光强曲线.

2.2.1 假设

(1)光强变化率 r 为光强 $x(t)$ 的减函数 $r(x)$,最简单假定 $r(x) = r_0 - sx$, $r_0, s > 0$ (线性函数), r_0 为固有增长率;

(2)自然环境条件最大光强为 x_m .

2.2.2 建立模型^[5]

记时刻 t_0 时的光强为 x_0 ,时刻 t 时的光强为 $x(t)$,由于光强的采集量很大, $x(t)$ 可视为连续、可微函数.于是 $x(t)$ 满足微分方程:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = r(x)x(t), \\ x(t_0) = x_0. \end{cases} \quad (1)$$

当 $x = x_m$ 时,变化率应为0,即 $r(x_m) = 0$,于是 $s = \frac{r_0}{x_m}$,代入 $r(x) = r_0 - sx$ 得:

$$r(x) = r_0 \left(1 - \frac{x}{x_m} \right). \quad (2)$$

将(2)式代入(1)得,模型为:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = r_0 \left(1 - \frac{x}{x_m} \right) x, \\ x(t_0) = x_0. \end{cases} \quad (3)$$

2.2.3 模型的求解

解方程组(3)得

$$x(t) = \frac{x_m}{1 + \left(\frac{x_m}{x_0} - 1 \right) e^{-r_0(t-t_0)}} + 10. \quad (4)$$

2.2.4 模型的参数估计

利用晴天所测的数据代入模型拟合求得: $r_0 = 0.02475$, $x_m = 234$, $t_0 = 179.2$.

2.2.5 模型检验

将 $r = 0.02475$, $x_m = 234$, $t_0 = 179.2$ 代入公式(4),得出晴天光强变化如图5、曲线局部放大如图6所示.从图6和图7可以看出,整体上拟合的曲线和晴天的光强变化较为相近,并且拟合出的光强变化曲线相对于采集的光强变化更为平滑.为了使得硬件模拟时所用的光强数据符合自然光强的变化,从而更加适宜人眼的适应,故在晴天拟合的曲线上均匀取出500个光强数据服务于系统软件编程时所需的数据,并将数据存于硬件电路的存储器中,作为LED灯自动调整光强达到模拟自然光效果的基准参考数据.

2.3 模拟自然光算法思想

在过程控制中,PID控制器是应用最为广泛的一种自动控制器,其算法一般公式为:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \frac{d(e(\tau))}{dt} \right], \quad (5)$$

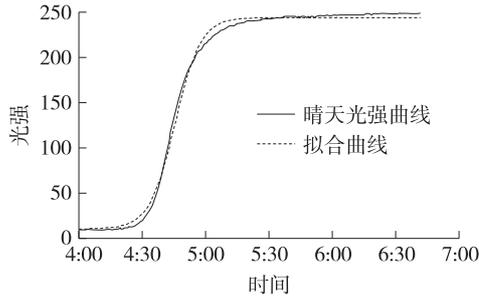


图5 晴天光强拟合曲线

Fig.5 Light intensity fitting curve of the sunny

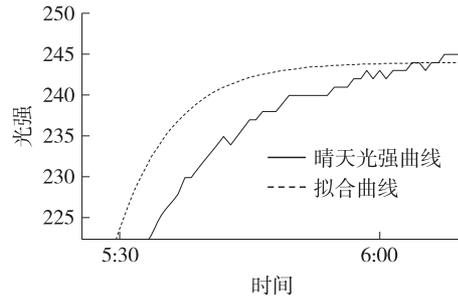


图6 拟合曲线局部放大

Fig.6 Partial zoom of fitting curve

式中, K_p 为比例放大系数, T_i 为积分时间, T_d 为微分时间.

PID 控制算法的系数确定需要工程经验积累,较为复杂费时^[6]. 鉴于本系统的简易性和硬件功能的简单,故模拟自然光光强的算法采用类 PI 控制算法即可,算法思想与 PI 算法类似. 类 PI 控制算法的流程如图 7 所示. 其公式如下:

$$\text{scale} = \begin{cases} \text{scale}, & e(t) \leq 0 \\ \text{scale}+1, & 0 < e(t) < 5, \quad e(i) = \text{light}(i) - \text{ADTemp}. \\ \text{scale}+2, & e(t) \geq 5 \end{cases} \quad (6)$$

系统采用的反馈是光敏电阻实时采集的光照强度,由于阴天的光强较小,本系统内部存储 500 组拟合后的晴天光强渐亮数据数组,每隔 10 s 取该数组的一个数据与实时采集的光强相减,计算出系统的当前偏差,利用 P 算法,当偏差为正时,增加 PWM 占空比来弥补光强,当偏差为负时,系统待机等待时间流逝. 仅用 P 类似算法,有时会造成系统不稳定,如每次进行 PID 调节,PWM 占空比增加一定值,在曲线斜率大的区域,调节量过小,会使拟合后的曲线一直低于系统存储的光强拟合曲线,在曲线斜率较小的区域,调节量过大,又会使系统反馈的光强拟合强度一直大于实际光强值. 这种情况会使模拟出的拟合曲线严重偏离原定曲线. 因此,系统还需引入 I 类似算法,通过计算系统的累计偏差,使系统消除稳态误差,提高无差度. 本次系统中,通过计算误差值 $e(t)$,当 $e(t) \geq 5$ 时,PWM 等级增加 2,当 $0 < e(t) < 5$ 时,PWM 等级增加 1. 这样有效地增加了系统的可靠性,使拟合曲线逼近先前采集的实际晴天光强曲线.

将上述模拟所得晴天曲线,在时域上取出离散的 500 个光强数据存储到 $\text{Light}[i]$ 数组中,利用 A/D 转换实时测出当前光强 ADTemp 与存储到 $\text{Light}[i]$ 数组中理想光强数据作比较,若当前光强小于理想光强的数据,则利用 scale 调节 PWM 的占空比,提高 PWM 等级,对 LED 灯的光强进行弥补,从而使得用户起床的前 4 个小时的光强变化满足凌晨 4 点到早晨 7 点的实际光强. 在闹钟响起时,用户起床感受到的光强即为正常晴天早晨 7 点的光强,达到模拟自然环境的光照强度,从而使人们起床后精神饱满.

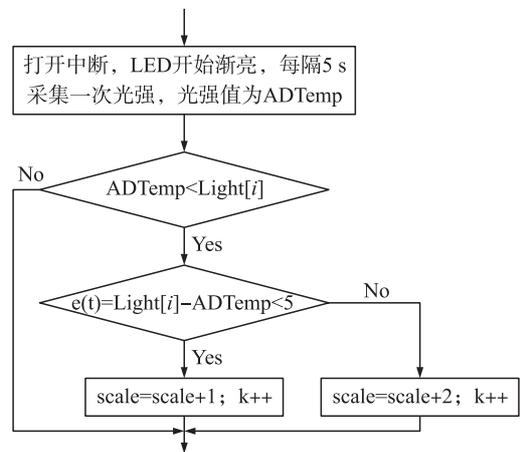


图7 类 P 控制算法流程图

Fig.7 PI like control algorithm flow chat

3 系统软件设计

以拟合出的晴天渐亮理想曲线作为标准曲线,利用简易型 PID 算法思想根据实时采集到的环境光强控制 LED 灯光,使得环境光和 LED 光综合效果符合标准曲线变化. 系统软件程序采用 C 语言编写,利用 KEIL 编程软件对源程序进行编程并调试. 系统主程序流程图如图 8 所示. 其中,正常模式为当前时间的显示,模式 1 和模式 2 分别为时间日期和闹钟设置的修改.

4 测量结果

根据以上硬件及软件设计思路,制作出实际系统.根据实物测得数据,画得实物光强测量变化图 9.

图中曲线 1 为拟合的晴天光强;曲线 2 为阴天时测得的环境光加上 LED 灯增补后的综合光强;曲线 3 为阴天环境光强;曲线 4 为用综合光强减去阴天光强得出的 LED 灯光强变化.其中曲线 1 和曲线 2 宏观上变化一致,相似度较高.从实验结果上看,方案较好地实现了模拟晴天早晨环境光强的变化.

5 结语

本文研究的课题是基于单片机的 PWM 控制 LED 灯模拟自然光强渐亮系统.该系统能够实时采集自然光强,并对自然光强进行分析,从而控制 LED 光强变化.系统采用 DS18B20 作为温度传感器,蜂鸣器作为闹铃,DS1302 作为时钟系统,同时系统用 LCD1602 进行显示温度、时间、等光强信息,实现了系统各个模块的功能实现.本文给出了设计一个集成温度、时间、闹铃等功能的模拟自然光强变化智能灯等系统的可行方案.在本文叙述基础上,可用产品化的部件代替本文作品的各个功能模块,生产出方便人们生活的多功能灯具产品.

[参考文献](References)

[1] 朱辉朝,张立贤. LED 绿色照明产业发展趋势分析[J]. 科技创新与生产力,2010(5):50-52.
Zhu Huizhao, Zhang Lixian. Analysis of the development trend of LED green lighting industry [J]. Technology Innovation and Productivity. 2010(5):50-52. (in Chinese)

[2] 张昊程. LED 调光方案及其驱动器设计[D]. 西安:西安电子科技大学电子工程学院,2012.
Zhao Haocheng. Design of the Dimmable LED Schem and its Driver[D]. Xi'an: School of Electronic Engineering, Xidian University, 2012. (in Chinese)

[3] 陈雷,赵艳军,王艳玲. 基于 PT4115 的大功率 LED 恒流驱动的设计[J]. 灯与照明,2008,32(4):31-34.
Chen Lei, Zhao Yanjun, Wang Yanling. The high-power LED constant current driven design based on PT4115 [J]. Light and Lighting, 2008, 32(4):31-34. (in Chinese)

[4] 李生彪. 基于阻滞增长模型的山东省职工的年平均工资预测[J]. 时代金融,2013(11):124-125.
Li Shengbiao. The average annual wage prediction of workers in Shandong Province based on logistic model [J]. Times Finance, 2013(11):124-125. (in Chinese)

[5] 郑洲顺,曲选辉. Logistic 阻滞增长模型的稳定性与混沌[J]. 数学理论与应用,2003(3):57-59.
Zheng Zhoushun, Qu Xuanhui. Stability of logistic model and chaos [J]. The Theory and Application of Mathematics, 2003(3):57-59. (in Chinese)

[6] 朱丹. 基于 C8051F020 的 PID 参数自整定控制器的研究与实现[J]. 微型机与应用,2013(9):21-23.
Zhu Dan. Research and implementation of PID parameters self-tuning controller based on C8051F020 [J]. Microcomputer and Application, 2013(9):21-23. (in Chinese)

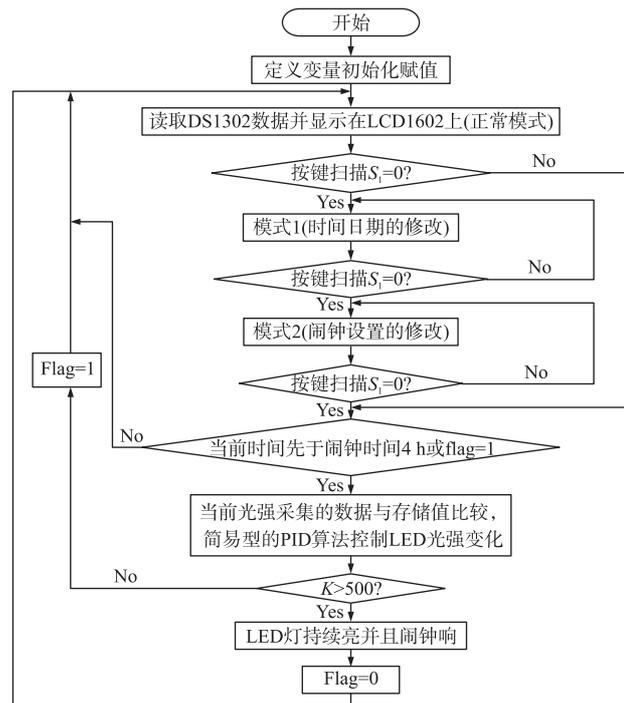


图 8 系统主程序流程图

Fig. 8 Flow chat of system main program

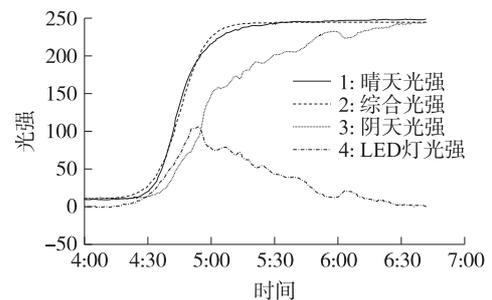


图 9 实验结果光强测量

Fig. 9 Experimental results of light intensity measurement

[责任编辑:严海琳]