

基于 Wi-Fi 的家用智能照明控制系统设计

吕 庭, 高维强, 殷 昊

(常熟理工学院 电气与自动化工程学院, 江苏 常熟 215500)

摘要: 智能照明控制系统是 LED 照明技术、智能感知技术、物联网技术相结合的产物, 随着家庭 Wi-Fi 网络和智能移动设备的逐渐普及, 采用 Wi-Fi 技术实现的家用智能照明系统具有组网灵活、成本低廉、低碳绿色的特点, 非常适合家庭使用; 系统采用 STC12C5A60S2 单片机为主控制器实现了室内人体红外感应、光照检测等环境参数的感知, 以 ESP8266 模块构建了 Wi-Fi 无线局域网并实现了 Wi-Fi 无线网络与 UART 串口之间的控制信号转换, 最终通过 Android 手机应用程序实现了一个家用 LED 灯的智能控制系统; 测试结果表明, Android 手机客户端能够对 LED 灯进行远程开关控制, 并且能够根据传感器的感知情况自动实现延时关断控制及智能调光功能。

关键词: 智能照明系统; 单片机; Wi-Fi 网络; 手机应用程序

Design of Home Intelligent Lighting Control System Based on Wi-Fi Network

Lü Ting, Gao Weiqiang, Yin Hao

(School of Electrical Engineering and Automation, Changshu Institute of Technology, Changshu 215500, China)

Abstract: Intelligent lighting control system is the product of LED lighting technology, intelligent perception technology and Internet of things technology. With the gradual popularization of home Wi-Fi network and intelligent mobile devices, the home intelligent lighting system using Wi-Fi technology is very suitable for family use, which has the characteristics of flexible networking, low cost, low carbon and green features. The system uses STC12C5A60S2 MCU as the main controller to realize the indoor infrared sensor and light detection, the Wi-Fi wireless LAN is constructed with ESP8266 module to realize the control signals conversion between the Wi-Fi wireless protocol and UART serial port protocol, finally through the Android mobile phone application implements a home intelligent LED lamp control system. The test results show that the smartphone APP can remotely switch the LED lights, and it can automatically realize the delay and turn off control and intelligent dimming control according to the sensing of the sensor.

Keywords: intelligent lighting control system; single-chip; Wi-Fi network; smartphone APP

0 引言

一个智能照明控制系统主要由三个部分构成, 分别是传感器网络、照明灯具及其控制技术以及照明控制系统的组网方式。传感器网络为智能照明系统提供对环境的感知, 使系统更加人性化、节能效果更好。随着技术的进步和成本的下降, LED 照明逐渐代替白炽灯照明已经是大势所趋。LED 照明不仅功耗低、效率高, 而且采用 PWM 技术进行调光的 LED 照明系统解决了传统的白炽灯照明采用可控硅调光的场合会产生较多的谐波、低功率因数以及低效率的问题, 更契合环保绿色的发展理念。随着人们节能意识的增强和生活品质的提升, 关注人本身的需求, 能够为人们提供舒适、安全、节能的光环境的 LED 照明系统是未来智能照明系统的发展方向。

照明控制系统组成方式主要有总线式、电力线载波式以及无线网络等。传统的总线式和电力线载波式智能照明控制系统在建筑照明、大型体育场馆照明等领域已经有了很多的应用。但是迄今为止, 这些照明智能控制系统在系统安装、设定上存在专业性太强, 编程麻烦而难以在家用领域得到普及^[1]。

家用智能照明控制系统应该是一种组网灵活、使用方便、成本低廉的系统。随着物联网技术的发展 LED 灯具等智能电器都可以实现无线网络接入^[2], 而无线通信技术也是种类繁多, 出现了诸如 ZigBee、蓝牙以及 Wi-Fi 等无线通信技术。这些无线通信技术各有优点, 也各有其应用领域。但相比较而言, Wi-Fi 无线网络的覆盖范围最广, 信号的穿透能力更强, 因此在家用领域也更为普及, 成为住宅智能照明系统首选的组网方式。由 LED 照明设备、Wi-Fi 无线网络以及智能手机应用程序构成的智能照明控制系统成为一种趋势, 并且正逐渐取代传统照明控制系统^[3]。传感器使智能照明控制系统能够聪明的感知周围环境, 并

收稿日期: 2017-11-05; 修回日期: 2017-12-07。

作者简介: 吕 庭(1977-), 男, 硕士, 实验师, 主要从事电力电子及电气传动方向的研究。

根据环境的变化对室内 LED 照明进行控制, 为用户提供方便高效的服务^[4]。

1 系统总体方案设计

基于 Wi-Fi 的家用智能照明控制系统总体方案如图 1 所示。整个系统包括基于 STC12C5A60S2 单片机的最小系统、红外及光敏参数检测电路、LED 驱动控制电路以及 ESP8266 与单片机的接口电路等几个部分。人体红外传感器用以检测是否有人, 微处理器根据其检测信号控制照明灯具; 需要自动调光的场合则依赖于光敏传感器的检测数据。为了满足室内照明的功率的实际需求 LED 驱动电路采用了大功率驱动模块。

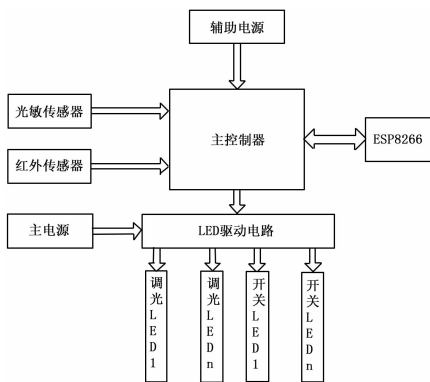


图 1 家用智能照明控制系统总体方案

ESP8266 模块与单片机采用 UART 串口连接可以实现串口到 Wi-Fi 无线网络之间的控制信号转换; 通过配置可以让 ESP8266 工作于 AP 服务器模式并以此来构建室内的 Wi-Fi 无线局域网。

基于 Android 实现的手机应用程序使用户能够很方便地在 Wi-Fi 覆盖到的地方通过手机进行照明控制。对于无线局域网而言, 通信协议是基于 Wi-Fi 的住宅智能照明控制系统的重要部分^[5]。手机客户端与 AP 服务器之间的无线通信是基于 UDP 协议的。AP 服务器将接收到的指令后, 经相应处理后再通过 UART 串口将控制指令发送给单片机, 最终由单片机实现 LED 灯的开关控制、延时关断控制和调光控制等功能。

2 硬件电路设计

家用智能照明控制系统按照三室二厅居的普通住宅进行设计, 整个系统设有两路调光照明和若干路开关照明。调光照明用于主卧室和次卧室的房间照明; 其余房间及楼道、阳台等地的照明采用开关照明。开关照明的控制分为两种: 一种方式完全由手机 App 实现其开关控制, 适合于室内灯光的控制; 另一种方式由手机 App 的控制信号和人体红外检测信号共同实现的灯光延时关断控制, 比较适合楼道照明的场合。

2.1 单片机主控制电路的设计

基于上述控制要求, 家用智能照明控制系统选用

STC12C5A60S2 单片机作为主控制器, 该单片机是一款增强型的 8051 单片机, 自带 2 路 PWM 输出以及 8 路高速 10 位 A/D 转换。满足采用 PWM 技术的调光输出以及处理光敏传感器的模拟输入信号的需要。STC12C5A60S2 单片机的控制电路如图 2 所示, 除了复位、晶振电路构成的最小系统以外, 主要还包括基于 LHI778 探头的 HC-SR501 热释电人体红外感应电路和光照度模拟信号采集电路。人体红外传感器探测距离可达 7 m 且对 10 μm 的人体红外辐射敏感, 其输出端 OUT 接单片机 P0.0 端口。光照度采集电路由阻值为 10 kΩ 的电阻 R₂ 与光敏电阻 R₃ 串联构成, 利用光敏电阻的光线敏感特性, 当室内光照发生变化时采样电压也随之变化, 两个电阻的分压输出信号接单片机 ADC0 引脚, 由单片机完成信号的模数转换, 单片机控制的 LED 调光的电路以该信号为基础。

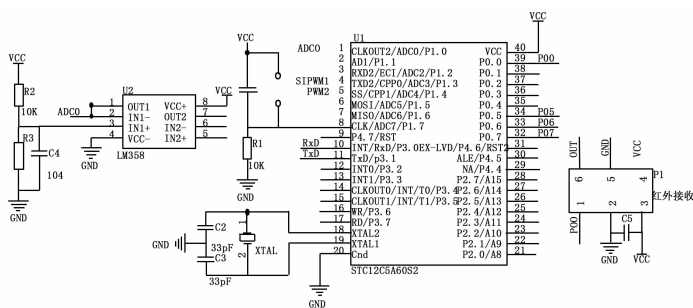


图 2 单片机主控制电路

2.2 Wi-Fi 模块电路的设计

ESP8266 是一款专为移动设备和物联网应用设计的具有超低功耗的 UART-WiFi 芯片, 该模块为用户提供了高度集成的 WiFi SoC 解决方案, 可以作为从机搭载于其他主机 MCU 运行^[6]。该模块为 Wi-Fi 无线网络嵌入其他系统提供了途径, 在 ESP8266 的开发环境 (SDK) 下, 通过相应配置即可组建一个小型的无线局域网。ESP8266 的硬件接口丰富, 支持 UART、I²C、PWM、GPIO 以及 ADC, 对于物联网的应用而言是一款非常合适的模块。

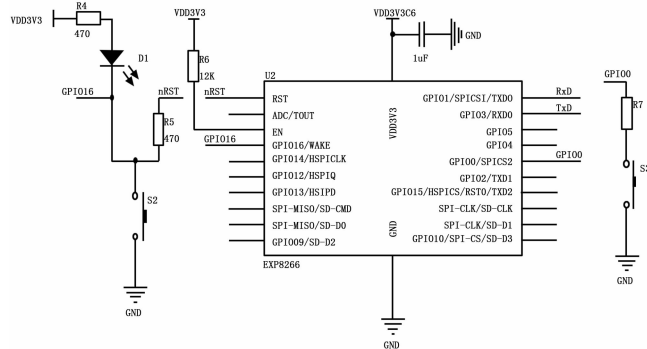


图 3 ESP8266 Wi-Fi 模块电路

由于采用 STC12C5A60S2 单片机为主控制器, ESP8266 模块是作为从机使用的, 其作用是接收手机端的控制指令并转发给单片机, 该模块的硬件电路如图 3 所示。

EN 是芯片工作使能端, 芯片正常工作时该引脚应由外加电源置高电平。TXD0 和 RXD0 两个引脚与单片机的 TxD 和 RxD 引脚交叉相连, 实现正确的 UART 通信。RST (GPIO16) 引脚是外部复位引脚, 正常工作时应置高电平。GPIO0 用于工作模式的选择, 当按钮 S3 按下 GPIO0 被置为低电平, 此工作模式用于 UART 下载程序; S3 未按下时 GPIO0 为高电平。默认情况下, 在模块初始化时 GPIO0 和 GPIO2 两个引脚为高电平, 使芯片处于正常工作模式。

2.3 LED 驱动电路设计

LED 灯的控制方式有: 开关控制、延时关断控制和调光控制, 虽然控制方式不同但驱动电路是一样的, 只是控制方式有所不同。这里采用 XL4005 芯片设计了降压型 LED 驱动电路。XL4005 芯片是一款大功率的 LED 驱动芯片, 其输入电压范围 5~32 V, 输出电压范围 0.8~30 V, 采用 300 kHz 固定频率工作。如图 4 所示为调光 LED 驱动电路, 输入为交流 220 V, 经 AC/DC 转换后得到 24 V 直流电压作为 XL4005 的输入电源。SW 为芯片驱动输出引脚, 输出电压 12 V, 最大驱动电流为 4 A。FB 为反馈引脚, 该引脚采样得到的反馈电压与芯片内部的 0.8 V 基准电压比较后通过改变 PWM 波形占空比从而得到稳定的输出电压。输出电压由公式 (1) 确定。

$$V_{out} = V_{fb} \times \left(1 + \frac{R_9}{R_8}\right) \quad (1)$$

式中, V_{fb} 取 0.8 V, R_8 取 2 k Ω , R_9 取 28 k Ω , 此时输出电压 V_{out} 为 12 V。

EN 为芯片的使能端, 高电平工作。需要进行调光控制时, 该引脚与单片机 P1.3 或 P1.4 相连, 利用单片机输出的 PWM 波控制 EN 引脚, 改变 PWM 的占空比即可实现 LED 的亮度调节。对于不需要调光的 LED 灯来说, 只需要将 XL4005 的使能端改为由单片机 IO 口控制其通断即可, 比如单片机的 P0.5 输出接 XL4005 的 EN 使能端。STC12C5A60S2 的 IO 口能够满足普通住开关式控制的实际需要。

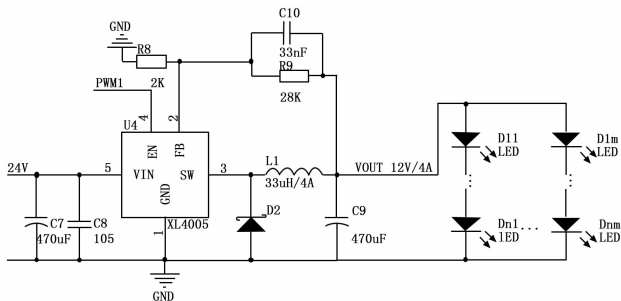


图 4 LED 驱动电路

2.4 电源电路设计

系统电源主要有给各类芯片供电的直流 24 V、5 V 和 3.3 V。24 V 直流电源为 LED 驱动芯片 XL4005 的输入电源, 采用 MAY50-220S24N 的 AC/DC 模块实现, 该模块

输入交流 220 V, 输出直流 24 V, 输出额定功率为 48 W。5 V 直流电源采用 LM7805 三端稳压芯片得到, 作为 STC12C5A60S2 单片机和 LM358 运放的输入电源。3.3 V 直流电源是 ESP8266 模块的输入电源, 采用低噪声的 LDO 稳压芯片 SPX3819M5 得到。

如图 5 所示为 ESP8266 模块的供电电路, SPX3819M5 芯片采用 5 个引脚的 SOT-23 封装, 其 EN 使能端电压大于 2 V 时芯片正常工作, 因此将 EN 与输入端 V_{in} 短接后接 5 V 输入电源。ADJ/BYP 是调整/反馈复用引脚, 这里不使用调整输出功能, 因此 BYP 引脚串接 1 个 10nF 的电容后接地以减少输出噪声。

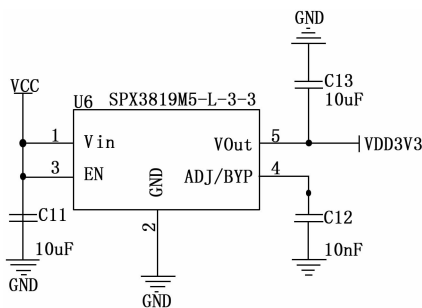


图 5 ESP8266 模块供电电路

3 软件设计

整个智能照明控制系统的软件主要包括单片机的主控程序、ESP8266 模块的通信配置程序以及手机移动端 App 程序三个部分。

3.1 单片机主程序设计

单片机上电后系统进行初始化, 然后调用串口中断服务函数等待触发中断。串口中断由 ESP8266 模块发出, 中断触发后单片机提取控制信息。开关方式控制的 LED 灯根据相应的控制信号改变 LED 灯的开关状态。而其他方式控制的照明灯需要综合其他检测信号实现控制。调光 LED 灯打开后根据室内光敏电阻的检测信号进行调光, 采用定时中断方式采集光敏信号并对采集信号进行了平均值处理, 这样有效避免了因环境明暗变化较大造成 LED 灯忽亮忽暗。楼道 LED 灯是否开启取决于控制信号和红外检测信号, 两个信号同时满足则 LED 灯亮, 30 秒以后自动关闭。如图 6 所示为单片机主程序流程图。

3.2 Wi-Fi 模块通信配置程序设计

ESP8266 模块内置 32 位 MCU, 因此上电时该 Wi-Fi 模块也有初始化, 初始化主要包括设置 ESP8266 模块的工作模式、建立 Wi-Fi 热点以及配置 UDP 通信方式这几个步骤。ESP8266 的通信配置程序在专用的开发环境 (SDK) 中编写, 编写好的程序通过该模块自带串口下载至模块。

ESP8266 模块的工作模式的设置及 Wi-Fi 热点的建立步骤如下。首先通过调用 `wifi_set_opmode (uint8 opmode)` 函数来设置模块的工作模式, 将 `opmode` 参数设置为

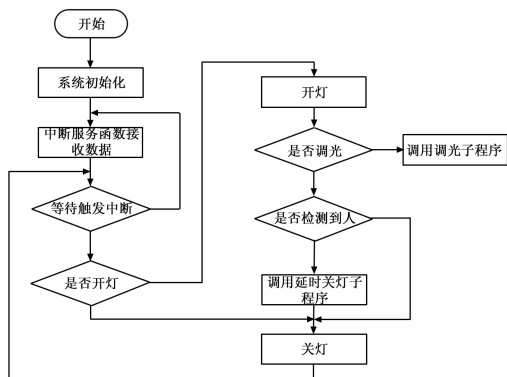


图 6 单片机主程序流程图

0X02 使 ESP8266 模块工作于 SOFTAP_MODE, 即 AP 服务器模式。AP 服务器的作用是建立 Wi-Fi 热点, 为此需要设置 Wi-Fi 热点的服务集标识 (SSID) 及其密码, 通过调用 softap_config 结构体完成参数设置, 其中 os_memcpy (config.ssid, "WiFi_AP", 7) 语句设置了 Wi-Fi 热点的 SSID, os_memcpy (config.password, "12345678", 8) 设定热点的连接密码。另外在该结构体内还指定了无线安全类型及接入点的数量, 无线安全类型需要给 config.authmode 赋值, 默认情况下赋值为 "AUTH_WPA_WPA2_PSK"; 接入点数量需要给 config.max_connection 赋值, 该值根据实际情况设置。

Wi-Fi 热点建立后需对数据报协议 (UDP) 通信协议进行配置。UDP 是 OSI 参考模型中一种无连接的传输层协议, 提供面向事务的信息传送服务。实现 UDP 通信的配置流程如下: ①调用 wifi_set_broadcast_if (SOFTAP_MODE) 函数设置 UDP 广播采用 soft-AP 模式发送数据。②设置建立的数据连接为 UDP 类型, 通过将 PhoneConn.type 赋值为 ESPCONN_UDP 来实现。③设置本地及远程端口为 5555, 本地端口通过语句 PhoneConn.proto.udp->local_port = 5555 设置; 远程端口通过 PhoneConn.proto.udp->remote_port = 5555 设置。④注册 UDP 数据包的接收回调与发送回调函数。调用函数 espconn_regist_recvcb (&PhoneConn, udpclient_recv) 注册接收回调,; 调用函数 espconn_regist_sendcb (&user_udp_espconn, user_udp_sent_cb) 注册发送回调。⑤调用 espconn_create (&PhoneConn) 函数建立 UDP 通信。⑥调用发送回调或者接受回调函数来发送/接受数据。接收回调函数用于接收手机 App 的 LED 控制信号; 发送回调函数将 LED 灯的实际开关状态发送给手机 App, 使手机上灯标点亮与否与 LED 灯的实际状态一致。

在 ESP8266 模块的初始化和单片机初始化完成以后, 整个系统的初始化工作完成, 手机会自动连接到该模块建立的 AP 服务器。如图 7 所示为 ESP8266 模块程序接收回调控制程序流程图, ESP8266 接收回调函数通过定时扫描手机端应用程序发出控制指令接收实时控制信息, 当接收

到数据时通过串口中断将相应开关指令发送给单片机实现 LED 灯控制。ESP8266 模块的发送回调控制程序与接收回调是类似的, 不再赘述。

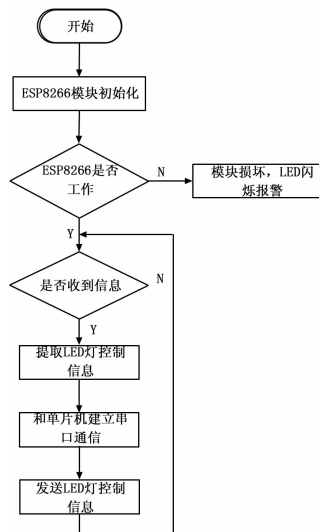


图 7 ESP8266 模块接收回调控制程序流程图

3.3 手机移动端程序设计

Android 手机客户端软件基于 E4A (易安卓) 平台进行开发。Android 手机客户端主要有登录管理功能、房间灯组照明控制功能以及全局照明控制功能, 如图 8 所示为系统的登录界面和全局 LED 灯控制界面。登录管理功能可以设置用户账号及密码, 保证具有权限的用户才有照明控制系统的控制权限, 避免被人恶意控制, 保证了系统的安全性。全局照明控制管理能够在用户出入住宅时, 实现对所有灯的开关控制。房间灯组照明控制功能能够方便用户对单个房间的灯组管理。



图 8 Android 手机客户端软件界面

4 实验结果与分析

家用智能照明控制系统在上电并完成单片机和 ESP8266 模块的初始化后, 由 ESP8266 建立 Wi-Fi 热点, 接着 ESP8266 以当 UDP 通信方式获取手机移动端的 MAC 地址并且向手机端发送数据, 数据成功发送后使用定时器继续进行数据收发。从图 9 中可以看到 Android 手机已经连接到名为 “WiFi_AP” 的无线热点。

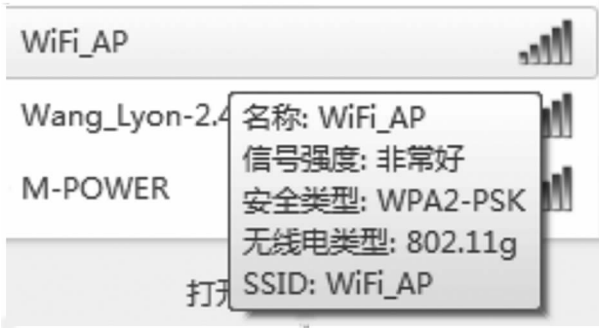


图 9 Wi-Fi 网络热点

Wi-Fi 网络测试正常后，打开手机客户端软件输入账号和密码登录系统，即进入控制界面实现对家中 LED 灯的开关操作。开关操作由一组按钮完成，LED 的实际开关状态由一组灯标显示，高亮和灰暗分别表示灯的亮灭。经测试 AP 服务器的定时信息收发功能正常，手机客户端发出的控制信息经 AP 服务器转发给单片机，并最终由单片机控制 LED 灯的开关；而单片机将实时的 LED 灯开关状态通过 UART-WiFi 接口转换后发送给手机客户端，手机界面能正确显示室内 LED 的亮灭情况。另外在手机客户端发出开灯信号后调光 LED 的工作根据环境明暗情况进行智能调光；而过道 LED 灯也能够在检测到红外信号后点亮，延时后自动熄灭。

(上接第 69 页)

使用率并调整控制增益的反馈调度方法。通过仿真分析，该方法能够在航天器在轨的工作与非工作时段动态分配系统的计算资源。从而使得航天器控制系统具有了在工作时段提供高精度指向控制，满足任务需求，在非工作时段保证姿态稳定，节约系统功耗及计算资源的动态资源管理能力。同时在遇到星上计算机故障时，能够通过调整任务周期的方式，保证姿态稳定，达到容错控制的目的。

参考文献:

[1] Lee E A. Cyber physical systems: design challenges [A]. Proceedings of 11th IEEE international symposium on object oriented real-time distributed computing (ISORC) [C]. IEEE Computer Society, 2008, 363 - 369.

[2] 杨孟飞, 王磊, 顾斌, 等. CPS 在航天器控制系统中的应用分析 [J]. 空间控制技术与应用, 2012, 35 (15): 8 - 13.

[3] 高家一, 吴义田, 徐文彬, 等. 空间运输航天器故障诊断系统架构研究 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (5).

[4] Lu C, tankovic J S, Tao G, et al. Feedback control real-time scheduling: Framework, modeling and algorithms [J]. Real-Time Systems, 2002, 23 (1): 67 - 70.

[5] Marinoni M, Buttazzo G. Adaptive DVS Management through Elastic Scheduling [A]. Proc. of the 10th IEEE Int. Conference on Emerging Technologies and Factory Au-

5 结论

基于 Wi-Fi 方式组网的住宅智能照明系统与传统的照明控制相比采用了嵌入式技术和物联网技术，具有布线简单、使用方便的优势。随着智能手机的普及以及 LED 照明逐渐成为主流，具备手机端软件控制的智能照明系统能够满足普通家庭对智能照明控制的基本要求，代表着今后照明系统的发展方向，具备良好的应用前景。

参考文献:

[1] 梁人杰. 智能照明控制技术发展现状与未来展望 [J]. 照明工程学报, 2014, 25 (2): 15 - 26.

[2] 陶涵迤. 采用 2.4G WiFi 技术的智能家居照明产品 [J]. 光源与照明, 2016 (3): 3 - 8.

[3] 唐鹏光, 付蔚. 基于无线传感网智能家居照明控制系统的研究与实现 [J]. 世界电子元器件, 2012, 18 (11), 52 - 55.

[4] 何永玲, 吴耀龙. 基于 WiFi 和移动终端的智能照明控制系统设计 [J]. 物联网技术, 2016, 6 (12): 102 - 104.

[5] 赵飞, 叶震. UDP 协议与 TCP 协议的对比分析与可靠性改进 [J]. 计算机技术与发展, 2006 (9): 219 - 221.

[6] 乐鑫信息科技有限公司. ESP8266 技术规格书 [EB/OL]. <http://espressif.com/zh-hans/support/download>.

[7] Tommaso Sassi, et al. Real-time control of a multi-robot system (ETFA 2005) [C]. 2005, Catania, Italy, Sept.

[8] Simon D, Robert D, Sename O. Robust control/ scheduling co-design: application to robot control [J]. Proceedings of the 11th IEEE Real Time and Embedded Technology and Applications Symposium, March 2005, 118 - 127, San Francisco, Calif., USA.

[9] Feng Tang, Ping Zhang, and Fang Li. The fuzzy feedback scheduling of real-time middleware in cyber-physical systems for robot control [J]. 2016, Journal of Sensors, 20 (2016): 1 - 10.

[10] Hyun-Jun Cha, Woo-Hyuk Jeong, Jong-Chan Kim. Control-Scheduling Co-design Exploiting Trade-Off between Task Periods and Deadlines [J]. 2016, Mobile Information Systems.

[11] Yin S, Xiao B, Ding S X, et al. A Review on Recent Development of Spacecraft Attitude Fault Tolerant Control System [J]. IEEE Transaction on Industrial Electronics, May 2016, 63 (5).

[12] 屠善澄. 卫星姿态动力学与控制 [M]. 北京: 中国宇航出版社, 2003.

[13] 王磊, 袁利, 戴居峰. 卫星控制系统时序建模分析方法研究 [J]. 空间控制技术与应用, 2014, 40 (3): 31 - 35.

[14] Bradley J M, Atkins E M. Coupled Cyber - Physical System Modeling and Coregulation of a CubeSat [J]. IEEE Transaction on robotics, 2015, 31 (2).