

分布式无线智能 LED 光照度调控系统

顾 梁¹, 茅靖峰¹, 程 莹¹, 赵苏华²

(1. 南通大学 电气工程学院, 江苏 南通 226019; 2. 南通大学 工程训练中心, 江苏 南通 226019)

摘要: 针对现代智能楼宇与基于物联网技术的 LED 光源调控应用需求, 设计了一套分布式无线智能 LED 光照度调控系统; 系统采用上下位机结构, 以 MSP430 微处理器为分布式控制终端的主控单片机, 根据控制终端内部预制的 LED 开启时间段和预期光照度参数, 进行基于光照度反馈的分布式 LED 光源亮度 PWM 闭环调控, 并通过无线通讯方式实现上位机对分布式多点 LED 调光控制终端的开关控制、预制参数调整和光照度状态监测。通过测试实验验证了系统设计的正确有效性。

关键词: 智能调光; LED 照明; 无线通讯; MSP430 微处理器

Distributed Wireless Intelligent LED Illumination Dimmer System

Gu Liang¹, Mao Jingfeng¹, Cheng Ying¹, Zhao Suhua²

(1. School of Electrical Engineering, Nantong University, Nantong 226019, China;

2. Engineering Training Center, Nantong University, Nantong 226019, China)

Abstract: This paper presents a distributed intelligent LED illumination dimmer system based on wireless communication technology, which can meet the needs of the modern intelligent building and networking-based light source control applications. The system consists of MSP430 microprocessor-based digital control terminals and PC-based host computer. According to the reference parameters of LED illumination and turn-on time saved inside the microprocessor, the digital control terminals carry out closed-loop PWM control algorithm to realize illumination adjustment of distributed LED light sources. By using wireless communication method, the host computer can control remote distributed LED terminals to execute several operations, including switching manipulation, reference parameters update, illumination condition monitoring. Test experimental results indicate that the proposed illumination dimmer system works reliably, and achieves required functions.

Keywords: intelligent dimming; LED lighting; wireless communication; MSP430 microprocessor

0 引言

高亮度 LED 照明具有发光效率高, 可控性好, 响应速度快, 寿命长等特点, 正逐渐被认可为传统白炽灯和荧光灯的一种理想替代方案, 而受到普遍重视和广泛研究^[1-5]。在 LED 照明设计中, 依据不同的应用场合、位置和时间段的实际光照度需求, 充分发挥 LED 良好的调光作用, 不仅可以提高光照舒适度、体现智能化, 还可以进一步节能省电, 符合绿色环保要求。

本文结合现代智能楼宇与基于物联网技术的 LED 光源调控应用需求, 设计了一套分布式无线智能 LED 光照度调控系统。系统以 MSP430 微处理器为分布式终端主控单片机, 根据控制终端内部预制的 LED 开启时间段和预期光照度参数, 进行基于光照度反馈的 LED 亮度 PWM 闭环调控, 并通过无线通讯方式实现上位机对分布式多点 LED 调光控制终端的开关控制、参数调整和状态监测, 以克服传统有线布置弊端, 使得用户能够方便地调节光照度。

1 总体设计

系统主要由分布式 LED 光源、分布式 LED 调光控制终端、上/下位机无线通讯模块以及上位机 (PC 机) 等部分组成, 总体结构如图 1 所示。

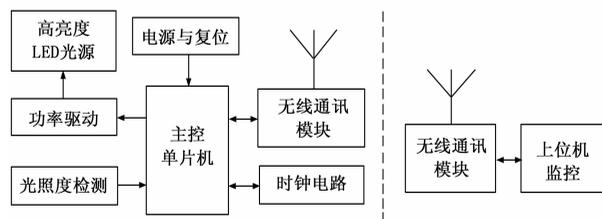


图 1 总体结构图

分布式 LED 调光控制终端包括主控单片机、电源与复位电路、时钟电路、光照度检测模块、LED 驱动模块等部件。

分布式 LED 调光控制终端, 不仅可以自主地根据其内部预先存储的工作参数, 对分布式 LED 光源进行定时开启与调光控制, 还可以通过无线通讯模块接收并执行上位机 (PC 机) 给出的实时控制指令和参数更改命令, 完成强制开、强制关、开启时间段调整、预期光照度设置、光照度信息上传等操作。

2 系统硬件设计

2.1 主控制模块

选用 TI 公司超低功耗 16 位 FLASH 型混合信号微处理器 MSP430F2112PW 作为 LED 控制终端的主控单片机。其片内资源包括: 2 个 16 位定时器, 24 个复用 I/O 端口, 8 通道 10

收稿日期: 2014-05-18; 修回日期: 2014-07-07。

基金项目: 国家自然科学基金 (61004053); 江苏省自然科学基金 (BK2014275); 江苏省教育厅“青蓝工程”项目资助。

作者简介: 顾 梁 (1990-), 男, 江苏泰兴人, 硕士研究生, 主要从事计算机控制与智能系统方向的研究。

茅靖峰 (1976-), 男, 博士, 浙江宁波人, 副教授, 主要从事计算机控制与智能系统方向的研究。

位 A/D 转换器, 2 套 UART、SPI、I²C 通用串行通讯接口。器件工作电压 1.8~3.6 V, 具有 5 种低功耗模式, 最小待机工作电流 0.1 μA, 低功耗模式唤醒时间少于 6 μs; 由于 MSP430F2112 采用了两线 JTAG 技术, FLASH 在线编程技术等, 开发方便, 性价比高^[6-8], 适合本系统的功能需求。

本系统中, MSP430F2112PW 除了第 2 和第 4 引脚分别为电源和地线引脚、第 5 和第 6 引脚接入 32.768 kHz 低速晶振用作 UART 通讯时钟、第 1 和第 7 引脚作为二线 JTAG 功能仿真和 Flash 下载引脚而不能被用户配置外, 其它 22 个引脚均可作为通用用户引脚而任意配置。

为了给 MSP430F2112PW 提供良好的供电电源与复位时序, 应用 TPS70302 设计 5 V 和 3.3 V 的双电源电路原理图如图 2 所示。

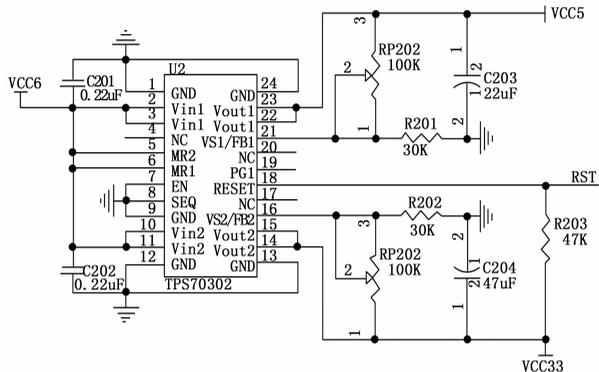


图 2 供电与复位电路

图 2 中, 电源芯片 TPS70302 输入电压为 6 V, 电位器 RP1 和 RP2 分别为 5V@1A 和 3.3 V@2 A 电压输出的调节电阻; 由于 SEQ=0, 芯片/RESET 引脚的输出逻辑为先 5 V 再 3.3 V, 为 MSP430F2112PW 提供良好的复位时序。

2.2 光照度检测模块

选用 SEMEFAB 公司的可见光线性检测元件 412101 作为光照度检测传感器, 其特性为: 工作电压 5 V, 电流输出, 最大线性可见光测试范围 1000Lux, 工业级工作温度, 高红外光谱抑制, 具有电流饱和特性, 受温度影响小。

通过多类电阻配合方案, 412101 元件具有多种可见光照度线性度检测范围, 其中在 5 V 工作电压和 10 K (负载电阻匹配下), 412101 元件的光照度输出特性如图 3 所示^[9]。

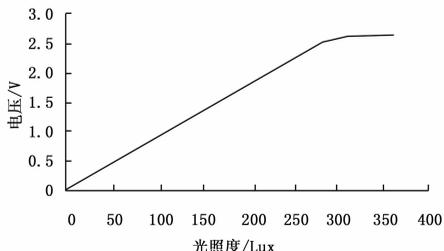


图 3 光照度输出特性

由于 MSP430 的 ADC 转换器为单极性转换, 采用内部 2.5 V 参考电压, 因此, 需要设计 412101 元件的电流/电压调理电路, 如图 4 所示。

图 4 中, 可见光检测元件 412101 采用 5 V 工作电压, 通过并接 10 kΩ 电阻, 使其在可见光 250 Lux 照度线性检测范围内形成 0~2.5 V 区间内的电压信号输出, 再通过电压跟随和

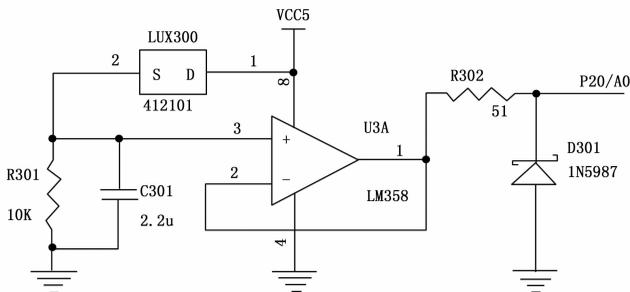


图 4 光照度检测模块调理电路

输出电压幅值保护后, 引入 MSP430 的 P20/A0 口。

MSP430 的 ADC 转换采用单通道单次转换方式, 由内部采样定时器定时中断引发 ADC 触发事件, 获取环境的光照度信号。

2.3 时钟电路

选用 NXP 公司的工业级低功耗 CMOS 实时时钟/日历芯片 PCF8563 作为日历时钟。其特点为: 低工作电流, 典型值为 0.25 μA; 宽工作电压范围 (1.0~5.5 V); 400 kHz 的两线制 I²C 总线通讯方式; 内部集成的振荡器电容; 每次读写数据后内嵌的字地址寄存器会自动产生增量。

PCF8563 芯片的运行状态配置及日历时间设定采用读写其内部的 16 个可寻址的 8 位并行寄存器完成。前两个寄存器 (内存地址 00H, 01H) 用于控制寄存器和状态寄存器, 内存地址 02H~08H 用于时钟计数器 (秒~年计数器), 地址 09H~0CH 用于报警寄存器 (定义报警条件), 地址 0DH 控制 CLKOUT 管脚的输出频率, 地址 0EH 和 0FH 分别用于定时器控制寄存器和定时器倒数计数数值寄存器。表 1 所示为寄存器的局部空间映像^[10]。

表 1 PCF8563 寄存器局部空间映像

地址	寄存器名称	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
02H	秒	VL	00~59 BCD 码格式						
03H	分钟	—	00~59 BCD 码格式						
04H	小时	—	—	00~23 BCD 码格式					
05H	日	—	—	01~31 BCD 码格式					
06H	星期	—	—	—	—	—	0~6		
07H	月/世纪	C	—	—	01~12 BCD 码格式				
08H	年	00~99 BCD 码格式							
09H	分钟报警	AE	00~59 BCD 码格式						
0AH	小时报警	AE	—	00~23 BCD 码格式					
0BH	日报警	AE	—	01~31 BCD 码格式					
0CH	星期报警	AE	—	—	—	—	0~6		

由表 1 可见, PCF8563 芯片除了必须配置控制寄存器相关数据位之外, 还需配置 02H~08H 寄存器的值, 使之与当前实时时钟/日历一致, 并根据应用场合所规定的每日 LED 开关时间来设置 0AH 寄存器的小时报警值。

图 5 为设计的 PCF8563 与 MSP430 的接口电路原理图。

PCF8563 芯片出厂时已设定了 I²C 通讯的从地址读为 A3H, 写为 A2H。MSP430 单片机的 P3.1 和 P3.2 口线作为 I²C 总线功能引脚与 PCF8563 进行双向通讯。

系统中, 配置 PCF8563 的工作电压为 3.3 V, 小时报警使能, INT 引脚为低有效的报警输出, 并接入 MSP430 的 P1.4 引脚。MSP430 使能 P1.4 下降沿中断, 当小时报警时间到,

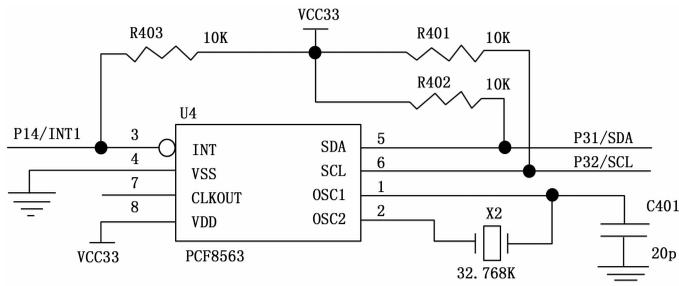


图 5 时钟芯片接口电路

INT 引脚由高变低, 触发 MSP430 的 P1.4 引脚中断。中断服务子程序里, 首先要向 PCF8563 写控制命令字以清除控制寄存器和状态寄存器的 AF 状态位, 拉高 INT 引脚, 然后写入新的小时报警时间, 最后清除 MSP430 引脚上的 P1IFG.4 中断标志, 并触发 LED 的开关控制操作。

2.4 无线通讯模块

选用 TI 公司的低成本单片射频集成电路 CC1020 作为收发通信芯片。该芯片主要设计用于工业科学及医疗 (ISM) 以及短距离通讯设备 (SRD) 方面, 可视传输距离达千米以上, 载频频率可编程在 402~470 MHz 和 804~960 MHz, 具有工作电压低 (2.3~3.6 V)、能耗低、体积小等特点。

由于 CC1020 射频芯片的工作参数配置和收发数据通信需通过串行总线接口进行, 因此, 采用 ATmega8L 单片机构建此无线通讯模块。图 6 所示为上位机无线收发模块接线原理图。

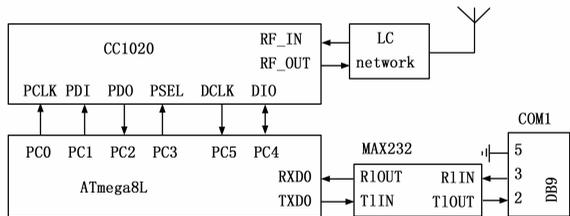


图 6 上位机无线通讯模块原理图

上位机通过 RS232 串口总线与单片机 ATmega8L 进行双向数据通讯。ATmega8L 作为此无线通讯模块中的主控器, 上电时首先利用 CC1020 的 4 串行 SPI 总线 (PSEL、PCLK、PDI、PDO) 对 CC1020 的工作参数进行配置; 待 CC1020 工作稳定后, 通过 DCLK 和 DIO 引脚实现无线数据的收与发。

CC1020 一次完整的配置要求发送 33 个数据帧, 每帧 16 位 (内部寄存器地址 7 位, R/W 1 位, 数据 8 位), 一次完整配置所需时间取决于 PCLK 的频率。模块的发射和接收频率由 CC1020 的晶振及外部元件决定。本系统选择 433 MHz 的收发频率, GFSK 的调制方式, 选用 14.745 6 MHz 晶振, 各寄存器的取值可由厂商提供的软件 SarmtRF Studio 计算得到。

2.5 LED 驱动模块

选用 Maxim 公司的多 LED 变换器 MAX8596Z 作为驱动主芯片。该芯片能够驱动多达八只串联白光 LED, 工作电压范围宽 (2.6~5.5 V), 调光控制输入可为模拟信号或 PWM 信号, 具有开路保护和高温降额功能。

MAX8596Z 芯片的调光控制输入端 CTRL 具有高阻和宽电压 (-0.3~6 V) 输入特性, 并采用 0.24~1.72 V 的引脚电压范围驱动白光 LED 从最暗到满亮度变化, 超过 1.72 V

时, 输出电流则稳定在最大值。

由于 MAX8596Z 芯片的模拟调光方式是直接改变流过 LED 电流的大小来实现亮度调节, 除了亮度会改变以外, 也会影响白光的质量, 即不同电流下引起的白光色偏。因此, 本文采用 PWM 调光方案。PWM 调光的优势是 LED 正向导通的电流是恒定的, 其色度不会如模拟调光时产生变化。它利用人眼的视觉残留效应, 当 LED 开关变化频率大于 120 Hz 时, 就不会感觉到闪烁, 而看到是 LED 的平均亮度。图 7 所示为设计的 LED 驱动模块电路。

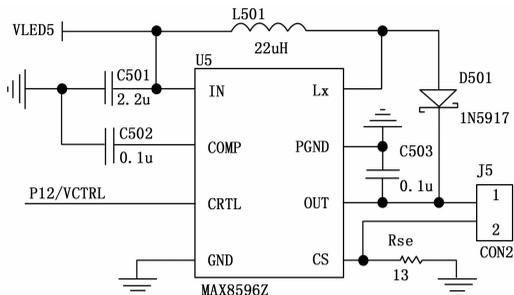


图 7 LED 驱动模块电路

图 7 中, MAX8596Z 芯片采用 5 V 电压供电, MSP430 单片机的 P1.2 口与其调光控制输入端 CTRL 直接相连。MSP430 单片机的 P1.2 口配置为 TA1 比较功能输出引脚模式, 通过 Timer_A 定时器周期和比较中断的方法, 产生周期固定占空比可调的 PWM 调光脉冲信号, 实现 LED 灯亮度的平滑调节。

3 软件设计

本系统软件包括 ATmega8L 单片机的无线通讯接口软件、MSP430F2112PW 单片机的终端控制软件以及上位机的监控管理软件 3 个部分。

在无线通讯模块中, 分布式系统采用半双工广播通讯模式, 上位机设定为通讯广播主站, 各终端下位机设定为通讯从站, 收与发的来回时序关系严密, 因此, ATmega8L 软件需严格按照通讯协议编写。通讯协议中定义 2 类通信帧: 信令帧 (命令数据的发送格式)、数据帧 (数据传输的发送格式), 帧格式分别如表 2、表 3 所示。

表 2 信令帧格式

通讯报头	帧标识	地址编码	命令编码	校验和
0xFFAA	0xF5	1 字节	3 字节	1 字节

表 3 数据帧格式

通讯报头	帧标识	有效数据	附加标志	校验和
0xFFAA	0xFA	8 字节	1 字节	1 字节

单片机 ATmega8L 加电后, 首先将 CC1020 配置为接收模式, 若有串口写来数据, 则先将 CC1020 配置为发送模式, 再分析数据中隐含的发送模式命令, 按照发送要求将数据发送出去, 最后配置 CC1020 回到接收模式; 若有 CC1020 写来数据, 则进行此通信帧的类别判断和地址编码的匹配, 并依据通信帧的长度要求, 全部接收完毕后, 再根据地址匹配逻辑, 通过串口整体发送。在发送数据时, 适当加入延时, 以保证接收方处于稳定的接收状态, 同时也提高数据传输的正确性。

(下转第 131 页)

障诊断的可行性和正确性。

5 结束语

基于 CAN 总线的数字化战车自动测试系统采用模块化、标准化设计, 实现了检测控制数字化、故障分析的智能化, 从根本上提高了测量与控制的精确度, 减少了传送误差, 增强了故障分析的准确度。采用的适配器与上位机测试软件的分体式设计, 实现了平台物理资源复用和测试程序与硬件无关, 从而实现了底层设备的通用、互换, 保障了测试一致性, 提高了系统工作可靠性。同时充分利用了数字化战车车载备份 CAN2 总线, 减少了复杂配套连接电缆, 增强了检测设备的便携性和环境适应性。适配器部分采用了 DSP+FPGA 的复合结构, 因此在运算速度和工作效率方面得到了很大提高, 为了适应战车电气与电子系统检测信号的复杂特点, 在高速数据采集电路前还增加了专用信号融合调理电路, 实现了检测信号与采集电路的完好匹配。上位机故障诊断模块采用 AFPN 故障诊断方法,

在诊断过程中对功能模块的每个扩展方向分别建立模糊 Petri 网模型, 不仅能够给出更加精确的诊断结果, 而且对系统拓扑变化具有较好的适应能力, 实际验证表明该方法特别适用于数字化战车复杂系统的故障诊断。

参考文献:

- [1] 韩大伟, 周 军, 于晓洲. 基于 PXI 总线的导弹自动测试系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2008 (1): 1650—1653.
- [2] 杨云飞, 高 强, 葛 玉. 基于嵌入式系统的某型火控系统检测仪设计 [J]. 计算机测量与控制, 2010 (12): 2786—2788.
- [3] 梁宇恒. 高精度数据采集及 DSP+FPGA 高速信号处理硬件系统设计 [D]. 西安: 电子科技大学, 2012.
- [4] 高梅梅. 模糊推理 Petri 网及在故障诊断中的应用 [J]. 自动化学报, 2000 (5): 677—680.
- [5] 梁宇恒. 基于 CAN 总线的测试系统研究与设计 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2004.

(上接第 117 页)

调光控制终端的 MSP430 单片机软件主要包括联机应答测试、工作模式设置、时钟配置与管理、PWM 调光控制、现场光照度参数上传等功能模块。

其中, 工作模式设置模块依据上位机信令帧命令编码中的强制开、强制关、开启时间段、预期光照度等指令信息, 以及装置面板上的动手按键状态, 进行工作模式状态字变量的修改, 并完成相应功能模块子程序的跳转和调用。

PWM 调光控制模块, 通过光照度反馈信号与预期值的比较来判断是否需要增减 LED 光源控制引脚 P1.2 的占空比以使环境光照度保持在预期光照度状态下。若光照度过强, 则减少单片机 Timer_A 定时器比较寄存器 TA0CCR1 初值 (占空比递减), 否则增加 TA0CCR1 初值 (占空比递增); 若光照度等于预期值, 则 TA0CCR1 初值保持不变 (占空比不变)。

上位机监控管理软件主要由无线通讯协议处理、数据显示/存储与回调、人机接口等 3 类功能子程序组成, 由 VB 编程实现。程序设计中, 计算机与无线通讯模块的 RS232 串口通信处理可直接使用 ActiveX 控件 MComM。当 RS232 通信过程中有事件或错误发生, 就会引发 OnComm 事件并由 CommEvent 代码表示事件或错误, 程序根据不同的属性处理数据的收发或错误处理。

4 测试结果

在实验室环境进行系统的模拟测试以验证系统设计的可靠性和准确性。每个分布式 LED 光源由八只白光 LED 串联组成, 并利用反射聚光型灯具罩以增加 LED 光束的集中度和方向性。

通过测试, 分布式系统无线节点间的通信数据传输稳定, 可以完成强制开关、开启时间段调整、光照度数据上传等操作。控制终端 LED 调光控制运行可靠, 光照度调节线性度良好, 测试结果如表 4 所示。表明系统达到设计的功能要求。

表 4 光照度调节测试数据

数据编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
占空比/(%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
光照度/(Lux)	15	34	47	59	80	97	109	124	135

5 结论

本文应用无线通信技术和 LED 集成驱动技术, 以 MSP430 微处理器为控制终端核心, 设计了分布式智能 LED 光照度调控系统。该系统能够实现广域范围内的 LED 光源开关控制、开启时间段自动控制和 PWM 闭环调光控制, 以及光照度远程监控。系统具有较好的灵活性和扩展性, 为智能楼宇和基于物联网技术的 LED 光源调控, 提供了技术方案, 具有良好的应用前景和借鉴价值。

参考文献:

- [1] Huynh T P, Tan Y K, Tseng K J. Energy-aware wireless sensor network with ambient intelligence for smart LED lighting system control [A]. 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society [C]. Melbourne, Australian: IEEE, 2011: 2923—2928.
- [2] 窦林平. 国内 LED 照明应用探讨 [J]. 照明工程学报, 2011, 12 (6): 51—58.
- [3] 陈大华, 章荷珍. 物联网 LED 智能照明产业的崛起 [J]. 中国照明电器, 2013 (1): 11—15.
- [4] 谢 永, 许 炜, 王新勇. 基于 ARM 的智能节能照明系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (10): 2794—2797.
- [5] 刘雨鑫, 刘诗斌, 荣皖芳. 一种用于白光 LED 的亮度控制电路 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (3): 555—557.
- [6] 沈建华, 杨艳琴. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与实践 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
- [7] 魏小龙. MSP430 系列单片机接口技术及系统设计实例 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [8] 吴爱华, 茅靖峰, 吴国庆, 等. 基于 MSP430 的风力风向无线数据采集系统 [J]. 低压电器, 2010, 16: 24—28.
- [9] Semefab Limited. Visible light detector product data sheet [EB/OL]. http://www.semefab.com/media/21073/412101_b_rev_d.pdf, 2014-05-04.
- [10] NXP Semiconductors. Real-time clock/calendar product data sheet [EB/OL]. http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PCF8563.pdf, 2012-04-03.