

Design of Electronic
Application System

电子应用系统设计

李春雷 郭振铎 杨瑞敏 编著

Design of Electronic
Application System

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

电子应用系统设计

李春雷 郭振铎 杨瑞敏 编著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书涵盖电子技术、通信技术、自动控制技术等领域。本书通过典型案例的分析、工作原理介绍、系统方案选择与论证、软硬件设计、调试以及数据测试与结果分析等,介绍了电子应用系统设计的基本步骤和方法,给出了这些典型案例的具体参考电路和部分软件源程序。

本书可作为高等院校电子信息类专业本科生和研究生提高型实践教学、挑战杯、大学生电子设计竞赛赛前集训和学生课外科技活动的参考书籍,也可作为工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电子应用系统设计/李春雷,郭振铎,杨瑞敏编著.

徐州:中国矿业大学出版社,2017.3

ISBN 978-7-5646-3503-9

I. ①电… II. ①李… ②郭… ③杨… III. ①电子系统—系统设计 IV. ①TN02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 073372 号

书 名 电子应用系统设计

编 著 李春雷 郭振铎 杨瑞敏

责任编辑 满建康

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 18.5 字数 352 千字

版次印次 2017 年 3 月第 1 版 2017 年 3 月第 1 次印刷

定 价 36.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

电子应用系统是由电子元器件或部件组成,能够产生、传输、采集或处理电信号及信息,从而实现具体的应用的客观实体,涉及计算机产业、通信、科学技术、工农业生产、医疗卫生等各个应用领域。鉴于该领域的重要性及今后的巨大应用前景,以及信息与通信专业本科生以及研究生工程实践能力培养的需求,本书以典型应用课题为实例,通过工作原理介绍、系统方案选择与论证、软硬件设计、调试以及数据测试与结果分析,介绍电子应用系统设计的基本步骤和方法。本书可作为高等院校电子信息类专业本科生和研究生提高型实践教学、挑战杯、大学生电子设计竞赛赛前集训和学生课外科技活动的参考书籍,也可作为工程技术人员的参考用书。全书共分为 10 章,每章为一具体的电子应用系统实例。

第 1 章介绍了基于大功率白光 LED 的可见光通信系统。根据可见光通信原理,基于 STC12C5A60S2 单片机提出了一种通过可见光传送语音信号的通信系统。该系统主要分为发送与接收两部分。在发送端,通过驻极体话筒采集语音信号,经过放大滤波后,进行极性的偏置,把双极性的语音信号偏置成单极性的,以便于 AD 的采集,把 AD 采集到的数据调制到占空比可变的 PWM 上面,用 PWM 波驱动大功率的 LED,以实现把需要传输的信息调制到可见光上面。在接收端,通过光敏二极管把接收到的可见光信号转换成电信号,然后对其进行放大滤波、整形之后,输入单片机进行解调,把解调后的数据进行 DA 转换,恢复成双极性信号,然后对其进行前置放大,功率放大以驱动负载喇叭把语音信号播放出来。

第 2 章介绍了基于 JN5168 无线 MCU 及 ZigBee RF4CE 协议的智能家居遥控器,主要包括控制器硬件电路设计、ZigBee RF4CE 网络

实现及上位机和液晶界面开发。硬件电路主要包括微控制器部分和 LCD 显示部分,微控制器设计采用 JN5168 MCU,LCD 部分设计采用 Nokia 5110 显示屏,可以显示发送或者接收到的信息;RF4CE 组网实现利用的是 ZigBee 网型拓扑中的树形拓扑结构,采用的是 3 对 3 结构,中间进行一级和两级转发,由此可以建立静态路由或者动态路由,本章设计了建立动态路由的一种算法,从而满足复杂拓扑机构的信息接收和发送;上位机利用 LABVIEW 制作,分别模仿电灯和空调,可以将接收到的信息显示在计算机上,液晶界面采用的是 ZTM 系列智能串口显示终端,用于模仿智能家居人机界面。最终,本系统经过一些节点的转发和中继,遥控器节点能够控制网络中的任何一个目标节点。

第 3 章介绍了便携式心电信号采集系统。该系统信号采集部分采用高精度、低噪声的仪表放大器 AD620 作为前置放大电路,低功耗的 OP07 作为主放大电路对心电信号进行放大。后续采用带通滤波器和有源双 T 陷波器对信号进行滤波。数据处理部分是基于 STM32F407 微处理器对心电信号进行分析和处理。AD620 具有低噪声、高共模抑制比和低功耗等优点,适合用于便携式设备的信号放大。ST 公司 STM32F407ZET6 单片机是一款功耗低、速度高的微控制器,可以实现对心电信号的高保真采集。最后采用 TFT-LCD 全彩触屏实时显示心电信号波形,具有非常友好的人机交互界面。

第 4 章介绍了基于 2.4G 的无线遥控车。主要分为遥控部分和遥控车部分,两部分均采用性能优良的 STM32 微控制器为核心控制器。遥控器上电后,首先通过 2.4G 无线信号发送配对命令,若在规定时间内收到遥控车回复则配对成功进入正常工作模式,否则配对失败给予提示。遥控部分由按键部分产生原始控制信号,STM32 检测到按键触发后,根据遥控器自身编号按自定义协议封装控制命令,然后通过 2.4G 无线信号发送出去。遥控车端上电后一直等待着 2.4G 无线信号的发送,当收到遥控器发来的数据以后,首先对数据包中的地址进行识别,若地址识别正确则进行控制命令的解析,如果和本地拥有的设备号不同则不产生动作控制。对收到的数据包中的命令进行识别,然后根据本地的算法换算成不同占空比的 PWM 波,PWM

波输入到电机驱动芯片,进而实现对遥控车四组电机转速的调节,最终实现对小车的控制。

第5章介绍了基于单片机的磁悬浮系统。即根据PID算法的原理,基于STC12C5A60S2单片机提出的一种控制磁悬浮平衡的设计方案。磁悬浮系统以单片机为控制核心,处理系统所传输的数据。以霍尔传感器CS3503为位移量测量,用来检测浮子的位移偏移量,将检测到的数据经过由LM324组成的数据采集电路处理后,反馈给微处理器。以L298N为功率驱动电路的控制核心,根据单片机传输给功率驱动电路的信号,输出对应的电压到线圈,通过线圈所产生的电磁力对浮子的位置进行控制。单片机的运行速度很快,调节后的浮子的位置会很快地又一次被霍尔传感器所采集,所以,本次设计的系统为一个闭环回路,便于反馈控制。

第6章介绍了基于STM32的四轴飞行器控制系统。四轴飞行器的硬件部分设计主要以STM32处理器为核心,来处理飞行器的检测数据,并且根据检测到的数据来控制电机的转速,从而达到飞行器的飞行。以MPU6050为惯性测量,用来检测飞行器当前飞行的状态,将检测到的数据传输给处理器。以LT8900为无线传输、通过接收地面遥控的数据,来判断发送者需要完成的姿态。最终处理器根据得到的数据控制电机的转速,来完成飞行器的各种姿态。系统的软件主要通过解析2.4G无线的遥控信号,融合当前传感器的测量数据,进行姿态估算,通过计算得到电机的控制量,从而控制电机调整飞行器的运动状态。最终对飞行器软件和硬件进行调试,可以实现通过遥控器来操控飞行器的飞行。

第7章介绍了基于CC2540的防丢器。通过以TI公司的蓝牙4.0低功耗芯片CC2540BLE为核心组成的系统,来实现低功耗便携式防丢器的设计,分为主机(拥有者所持有)和从机。蓝牙技术协议的实现是基于TI公司的蓝牙BLE协议栈,通过了解蓝牙协议栈并基于它去开发本设计所要求的功能程序,由协议栈、CC2540模块、声音报警模块、光报警模块、电源模块等共同完成本次设计,并依靠系统来获取RSSI(信号强度指示)值,并以此来判断主机和从机之间大概的距离,做出相应的处理。防丢器的功能是判定物品是否与携带有主机设

备的拥有者的距离大于设定值,如果是则报警处理,相反则没有反应。经设计和调试达到设计要求。

第8章介绍了无线数据采集传输系统。该系统的工作原理是利用专门设计的心率采集模块采集人体的心率,然后再把数据显示出来并传输给监护中心。系统选用单片机作为主控制器,系统中所有的模块都是在单片机的控制下工作的。硬件电路部分包含数据采集模块、显示模块以及传输模块三个部分,数据采集模块负责对人体心率的采集,原理是采用红外检测的方法;显示模块是把采集到的数据显示出来;传输模块负责命令和数据的接收及发送。软件部分包含数据采集控制程序、显示控制程序以及数据传输控制程序;数据采集控制程序实现的功能是控制采集模块采集数据;显示控制程序实现的功能是控制显示模块显示数据;数据传输控制程序实现的功能是控制传输模块进行数据收发的工作。

第9章介绍了简单无线组网与定位系统。基于 stm8s 主控芯片以及 LT8900 无线芯片,设计开发在一定区域内单片机之间的自组网协议。本系统主要包括硬件电路的设计、无线信号数据的收发、通信协议的编写。硬件电路主要包括主控系统的设计、人机交互模块、数码管显示部分、无线数据收发部分。主控芯片采用的是 stm8s,人机交互模块采用的按键电路设计,显示部分采用的是移位寄存器和数码管设计,无线收发部分采用的是 lt8900 这个 2.4G 芯片。本章采用的无线组网协议类似于 ZigBee 通信协议中网状拓扑中的星状拓扑结构。星状拓扑结构通过设定一个协调器和几个终端,终端之间的通信是通过与协调器之间的通信完成的。这样的设计可以完成在一定的范围内单片机系统间的自组网。组网成功后可以进行各个节点之间的通信和位置上的判定。最终,基于本章设计的组网协议,在局域网内单片机加入网成功后,可以组成一个局域网通信。

第10章介绍了基于 ZigBee 的无线定位系统。以学生宿舍为室内背景,给出了系统的主要硬件模块和重要模块芯片的选型,并设计了定位系统中三种不同功能的节点(协调器节点、参考节点、移动节点)的软件工作流程图和定位软件流程图。在搭建网络的基础上,本章做了大量的现场实验,分析了在相同的参考节点不同通信距离的情

况下,对定位结果的影响,能满足一般室内环境的无线定位需求。

作者多年来一直从事电子系统设计相关教学及相关课题开发工作。本书是作者多年从事该领域项目开发及研究工作的结晶。该书受到中原工学院学术专著出版基金的支持,在此表示感谢。本书由中原工学院的李春雷、郭振铎和杨瑞敏共同撰写。由于作者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作 者

2016 年 12 月

目 录

设计实例 1 基于大功率白光 LED 的可见光通信系统	1
1.1 可见光通信系统	1
1.2 总体方案设计	3
1.3 系统硬件设计	8
1.4 系统软件设计	18
1.5 系统调试	24
1.6 总结	34
设计实例 2 基于 JN516x 无线微控制器的家居智能遥控器	35
2.1 背景与意义	35
2.2 系统方案设计	41
2.3 系统硬件设计	49
2.4 系统软件设计	52
2.5 系统测试	63
2.6 总结	68
设计实例 3 便携式心电图仪的设计与实现	70
3.1 心电信号的产生及特征	70
3.2 整体方案设计	71
3.3 系统硬件设计	78
3.4 系统软件设计	87
3.5 系统调试	92
3.6 总结	100
设计实例 4 基于 2.4G 的无线遥控车设计与实现	101
4.1 国内外研究现状及发展动态	101
4.2 整体方案设计	103

4.3	系统硬件设计	108
4.4	系统软件设计	120
4.5	系统调试	125
4.6	总结	133
设计实例 5 基于单片机的磁悬浮系统设计与实现		135
5.1	磁悬浮技术综述	135
5.2	总体方案设计	137
5.3	系统硬件设计	143
5.4	系统软件设计	150
5.5	系统调试	157
5.6	总结	163
设计实例 6 基于 STM32 的四轴飞行器控制模块研制		164
6.1	四轴飞行器概述	164
6.2	总体方案设计	165
6.3	系统硬件设计	170
6.4	系统软件设计	179
6.5	系统测试	190
6.6	总结	191
设计实例 7 基于 CC2540 的防丢器的设计与实现		192
7.1	防丢器设计概述	192
7.2	总体方案论证	192
7.3	硬件设计	198
7.4	软件设计	203
7.5	总结	213
设计实例 8 无线数据采集传输系统设计与实现		214
8.1	本设计的背景	214
8.2	总体方案设计	215
8.3	硬件设计	216
8.4	软件设计	229
8.5	系统调试及结果	239

8.6 总结	239
设计实例 9 简单无线组网与定位模块的设计与实现	240
9.1 无线自组网	240
9.2 系统总体方案设计	241
9.3 硬件电路设计	245
9.4 软件设计	251
9.5 系统调试	260
9.6 总结	262
设计实例 10 基于 ZigBee 的无线定位系统设计与实现	263
10.1 概述	263
10.2 开发工具与技术简介	264
10.3 总体方案选择与规划	267
10.4 硬件设计	269
10.5 定位系统软件	272
10.6 系统调试	278
10.7 总结	281
参考文献	282

设计实例 1 基于大功率白光 LED 的可见光通信系统

1.1 可见光通信系统

进入 21 世纪以来,LED(Light Emitting Diode,发光二极管)照明以其节能、环保的优势,受到了很多国家的重视。各国政府纷纷出台相关政策和举措推广 LED 照明的发展。随着 LED 照明技术的发展和人们对无线宽带通信需求的日益增强,结合了无线通信和光通信技术的 VLC (Visible Light Communication,可见光通信技术)应运而生。

VLC 利用 LED 作为光源,使 LED 在提供照明的同时进行高速通信,其拥有众多优点。作为一种宽带无线接入技术,VLC 以光信号为载体、大气作为传输媒质来传送信息,具有信息容量大、灵活方便、易于维护及安全保密等特点。推动下一代照明和接入网技术的发展和进步,已成为国内外竞争的焦点和制高点,越来越受到人们的关注。

VLC 利用白光 LED 高速明暗闪烁,发出人眼分辨不出的高速闪烁信号来传输信息,从而构建可见光通信网络。例如,将高速互联网的电线装置,连接在 LED 装置上,插入电源插头就可以实现无线网络覆盖,在可见光信号能够覆盖的范围,个人电脑等终端不需要有线连接,即可通过可见光信号实现网络接入,如图 1-1-1 所示。

可见光通信系统融合了照明技术、电子技术、计算机技术、网络通信技术、图像处理技术、嵌入式控制技术等。基于可见光发光二极管利用可见光波段的光作为信息载体,在空气中直接传输无线光信号的通信方式,在实现照明的同时进行高速数据的传输,用这种技术做成的系统能够覆盖室内灯光达到的范围,各种终端设备都可以通过灯光进行数据的接收与发送。

可见光通信能够同时实现照明与通信的功能,具有传输数据率高、保密性强、无电磁干扰、无需频谱认证等优点,是理想的室内高速无线接入方案之一。由于 LED 的调制速率非常高,人眼完全感觉不到其闪烁。



图 1-1-1 可见光通信概念图

可利用室内白光 LED 照明设备代替无线局域网基站,其通信速度可达每秒数十兆至数百兆,只要在室内灯光照射到的地方,就可以实现无间断的高速数据传输。可见光通信系统还具有安全性高的特点:室内的信息不会泄漏到室外;而在室外,将信号调制到 LED 显示屏或指示灯上,人们除了能通过肉眼得到视觉信息外,还能通过装有可见光信号接收器的移动设备接收更多的信息。两辆汽车的前后 LED 照灯之间也可以通过可见光信号传递刹车等信息,避免交通事故等。

可见光通信有许多优点,比如可见光对人眼无伤害,所以可见光通信的信号光源的发射功率可以比较高。由于不使用无线电波通信,在对电磁信号敏感的环境中可以不受限制地使用该系统,故可应用于医院、机场等严格限制电磁干扰的场所。

与传统的射频通信以及红外无线光通信技术相比,可见光通信具有对人体安全、频率资源丰富等优点。可见光通信在全球已经成为了研究的热点,特别是日本、欧洲和美国对可见光通信的研究投入了大量的人力和物力,并取得了一定的进展。世界光通信市场现状如图 1-1-2 所示。

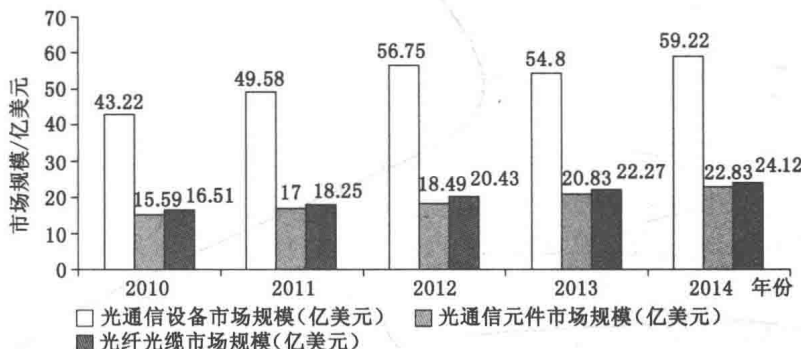


图 1-1-2 世界光通信市场现状

同时应该注意到,作为一种全新的无线光通信技术,可见光通信技术并不是要取代射频通信或某种无线通信方式,而是对现有无线通信技术的一种有效补充,与传统通信方式相辅相成,分担传输量。至于光线无法穿透时通信便中断的缺点,有时反而可保护信号传递的安全性。例如在对电磁干扰和发射功率有所限制的场所,如医院、机场等,应用可见光通信进行信息传输将是理想的选择。因此,对于一个具体的应用环境,选用无线光通信还是无线射频通信、可见光通信,或是室内无线红外通信,要根据实际的条件 and 需求来决定。FSO、室内红外通信、室内 VLC 三种无线光通信技术的比较如表 1-1-1 所列。

表 1-1-1 三种无线光通信技术的比较

通信方式	FSO	室内红外通信	室内 VLC
信号源	红外激光	红外 LED、 红外 LD、半导体激光	白光 LED
工作波长	850 nm 或 1 550 nm	800~900 nm	380~780 nm
信道速率	10 M~2.5 Gbit/s	100 M~1 Gbit/s	800 Mbit/s
设备布局	需架设发射接收设备, 且需严格对准	需另架设红外通信 光源和线路	室内线路布局简单
发射功率	需限制发射功率	发射功率需限制	通常情况下无限制
传输距离	2~4 km(1 km 内性能稳定)	100 m ² 以上	安放多个 LED 灯, 可覆盖整个室内面积
阴影效应	受天气、风力、大气尘埃、 散射影响	易受遮挡物影响	室内安放多个 LED 灯, 消除阴影效应
主要应用	室外,楼宇、山顶间的 较长距离通信	射频无线通信的场所, 一般室内不宜使用	室内及医院、机场等 限制电磁干扰的场所

1.2 总体方案设计

1.2.1 设计思路

设计要求如下:

(1) 自制±12 V、1 A 直流稳压电源 2 个,发送端、接收端分别采用此电源供电。

(2) 基于 STC12C5A60S2,构建最小系统,对语音信号进行调制与解调。

(3) 制作 LED 驱动电路,驱动 LED 发光,在进行数据传输的时候不能有明显的闪烁现象。

(4) 传输的语音信号或频率范围为 $300\sim 8\,000\text{ Hz}$,语音信号要求来自麦克风或 MP3。

(5) 在发送端发送音频信号时,接收端负载喇叭的声音应无明显失真。

根据项目设计要求,总的系统模型主要分为语音信号的发送和接收两部分,其中发送部分涉及语音信号的采集、AD 转换、调制、LED 驱动和电光转换。接收部分包含光电转换、解调、DA 和语音信号的恢复。整个系统如图 1-2-1 所示。

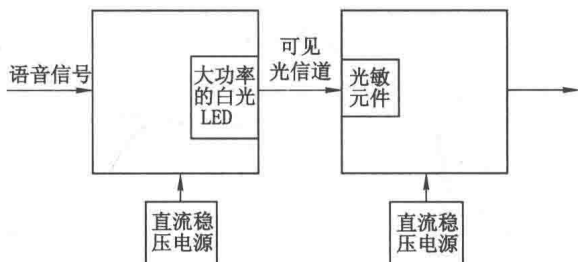


图 1-2-1 可见光通信系统整体框图

1.2.2 系统方案论证与选择

1.2.2.1 电源方案的选择

方案一:用单相桥式整流电路进行整流,利用电容的充放电原理做成滤波电路,用于滤除整流电路输出电压的交流成分,稳压芯片选用 LM78XX、LM79XX 系列芯片进行稳压。

方案二:用半波整流电路进行整流,利用电容的充放电原理做成滤波电路,用于滤除整流电路输出电压的交流成分,最后利用稳压二极管进行稳压。

桥式全波整流的输出电压是交流输入电压的 0.9 倍,效率较高,且脉动系数比较小,直流电压平稳,能充分利用变压器的功率。半波整流电路输出电压是交流输入的 0.45 倍,效率低,脉动系数较大,直流电压不平稳,波动幅度比较大,并且使用稳压管进行稳压容易造成变压器和稳压管严重发烫。本系统中,采用 $\pm 12\text{ V}$ 和 5 V 电压分别给电路供电,即采用经典的三端稳压芯片 LM78XX、LM79XX 制作 $\pm 12\text{ V}$ 和 5 V 电源。

1.2.2.2 语音信号采集方案的选择

方案一:采用驻极体话筒进行语音信号的采集,并进行放大、滤波。

方案二:采用耳机接头直接从手机的 MP3 播放器中把语音信号导出并进行放大。

采用手机播放音乐放在驻极体话筒附近采集语音信号的时候,由于环境中噪声的干扰,严重影响信号的采集,而且操作不便,所以选择方案二。

1.2.2.3 信号调制方案选择

方案一:利用模拟信号作为控制信号,控制 LED 光源的注入电流,使输出光功率随调制信号线性变化的方法。

方案二:利用单片机将一路模拟信号 AD 转换成数字信号,采用数字信号的调制方法:通过单片机内部的 PCA 模块把采集到的数据转换成占空比可变的 PWM 波连接至 LED 驱动电路控制端,实现可见光信号的调制。

方案三:通过调幅、调频及调相把信息调制到光上。

对于模拟调制技术来说,系统设备相对而言比较简单,但是在传输的过程中,由于可见光通信容易受到环境中光线的干扰,噪声很难消除,抗干扰能力差;在整个通信过程中,LED 光源始终处于导通状态,功耗大,而且系统的调制速度受到很大限制。对于数字调制技术,采用的是脉冲信号,只要通过判决再生就能够轻易地消除噪声,抗干扰能力强;还有易于加密,保密性能好的优点。因为 LED 光源的频谱不纯,中心频率也极不稳定,所以很难实现调频和调相。LED 激励电流的变化,发出的光会产生偏色,即显色性变差,变差的程度会随着激励电流偏离额定电流的程度而增加。综上所述,使用 PWM 的方式进行信号的调制。

1.2.2.4 主控芯片的选择

方案一:采用传统 MCS-51 单片机作为主控芯片。传统 51 单片机具有 8 位代码指令、8 位数据总线、16 位地址总线、6 个中断源、4 KB RAM、寻址范围 16 位地址宽度,是一款价格低廉、使用简单、应用广泛的芯片。但是由于本系统需要采集语音信号,如果使用 MCS-51 单片机势必要增加一个 AD 转换电路,这无疑增加了系统的复杂程度,且内部资源比较少,功能相对不丰富,实现过程比较烦琐。

方案二:采用宏晶科技生产的单时钟/机器周期(1T)的 STC12C5A60S2 型单片机为主控芯片,此单片机属于高速、低功耗、超强抗干扰的新一代 8051 单片机,指令代码完全兼容传统 8051,但速度比传统 8051 快 8~12 倍。内部集成 MAX810 专用复位电路,2 路 PWM,8 路高速 10 位 AD 转换(250 KB/s),适用非常强干扰场合。

因为本系统要对语音信号进行 AD 采集,并要把采集到的信号以 PWM 的方式发送出去,STC12C5A60S2 单片机内部具有 10 位高速 AD 转换模块和

PWM 调制模块,所以可以方便快捷地对信号进行调制,还能够大量减少外围电路的搭建,降低系统的复杂性,减少出错率。因此,本系统选用 STC12C5A60S2 单片机。

1.2.2.5 LED 驱动模块的选择

方案一:通过三极管的导通与截止来控制 LED 的点亮熄灭。

方案二:利用 TI 公司 LM3405 LED 驱动芯片,LM3405 提供了用于驱动高功率 LED 的简单、高效解决方案。用 0.205 V 参考电压反馈控制以使得功耗最小化,改变外部电阻可以控制驱动电流,可以用于驱动各种类型的发光二极管。

LED 需要恒流驱动,由于 LED 的动态电阻很低,驱动电压稍有变化就会导致 LED 电流的明显变化,而且是一个正反馈特性(在某种意义上说就是恶性循环)。与白炽灯不同,LED 的光强变化极其迅速,几乎没有惯性,电流稍有变化,光强就立刻显现出来,如果这个电流的变化频率低于 100 Hz,就会出现令人讨厌的闪烁现象。不稳定的电流会严重影响 LED 的使用寿命。综合以上因素,选用 TI 公司的 LM3405XMK 作为驱动芯片。

1.2.2.6 可见光通信系统中白光 LED 光源的选取

对于可见光通信系统来说,白光 LED 不但是照明光源,更是通信信号源。因此,在可见光通信系统光源的选择上,除了需要考虑光源功率特性和色稳定性外,还需考虑白光 LED 的调制特性和光谱特性等。表 1-2-1 列出了几种白光 LED 的特性比较。

表 1-2-1 几种白光 LED 的特性比较

对比指标	PC LED		MC LED	
	蓝光 LED+YAG 荧光粉	紫外光 LED+RGB 荧光粉	二基色芯片	RGB 三基色芯片
色稳定性	好	最好	一般	一般
流明保持率	一般	一般	好	好
效率	一般	最高	较高	较高
主要应用	背光光源	白光照明	特殊照明	显示
调制特性	蓝光可调	不可调制	分别可调	分别可调

蓝光 LED+YAG 荧光粉的白光 LED 在显色性和色度这两个方面的均匀性都比 RGB 三基色 LED 要好,更能满足基本的照明需要。另外,相比 RGB 三基色 LED,其调制电路更简单,成本也更低廉。因此,目前多采用蓝光