

论文题目 无线灯带控制系统的研究与实现

专业学位类别 工 程 硕 士

学 号 201192230816

作 者 姓 名 俞文斌

指 导 教 师 朱金奇 博士

分类号_____密级_____

UDC^{注1}_____

学 位 论 文

无线灯带控制系统的研究与实现

(题名和副题名)

俞文斌

(作者姓名)

指导教师

朱金奇

博 士

电子科技大学

成 都

温 泉

高 工

上海申通地铁

上 海

(姓名、职称、单位名称)

申请学位级别 **硕士** 专业学位类别 **工程硕士**

工程领域名称 **软 件 工 程**

提交论文日期 **2013. 9.25** 论文答辩日期 **2013.10.25**

学位授予单位和日期 **电子科技大学** **2013 年 12 月 24 日**

答辩委员会主席 _____

评阅人 _____

注 1：注明《国际十进分类法 UDC》的类号。

RESEARCH AND IMPLEMENTATION OF LIGHT STRIP WIRELESS CONTROL SYSTEM

A Master Thesis Submitted to
University of Electronic Science and Technology of China

Major: Master of Engineering

Author: Yu Wenbin

Advisor: Zhu Jinqi

School : School of Information and Software Engineering

独 创 性 声 明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得电子科技大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

作者签名：_____ 日期：_____ 年 _____ 月 _____ 日

论文使用授权

本学位论文作者完全了解电子科技大学有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权电子科技大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

（保密的学位论文在解密后应遵守此规定）

作者签名：_____ 导师签名：_____

日期：_____ 年 _____ 月 _____ 日

摘 要

LED 灯带目前不仅广泛用于勾画具有标志性的建筑物大厦楼阁，桥梁，公园广场等轮廓的亮化工程，更成为了工业设计上吸引客户的重要组成部分。鉴于其亮度高，柔韧性好，可塑性强，色彩绚丽变化多样，个人 DIY 家居装饰，橱窗，信号分辨，路径指示均可将之作为首选。在无线控制系统越来越受到众人欢迎的当下，传统的有线 LED 灯带控制方式已经不能满足客户方面的需求。于是，无线灯带的设计方案便孕育而出。

本课题通过 Arduino 系统软件编写程序与硬件设备对接，实现对幻彩灯带变色模式的无线控制。系统主要解决的问题如下：

（1）远程灯带控制：操作员通过无线设备实现对灯带所有模式及颜色的控制。当灯带需要新增模式时，无线设备可以通过简单的信号通讯及编程分辨及控制这种模式。其中，怎样将红外线发生器所发出的信号转化成程序所能识别的指令是需要克服的难题。

（2）模式选择及其确认：对灯带进行编程，让操作员直接选择指定模式进行操作。将灯带所变化的颜色作为指示信号，让操作员明确了解目前或者即将运行的是什么样的程序，方便操作员进行模式选择。

（3）设备的运作流程：由于目标系统是作用在设备上，则必须表现出设备的特性。其运行模式也与设备的状态相对应。因此在程序编译上必须考虑到设备的运作流程，结合会展当时的实地情况，做出相对应的调制。

该系统主要包括了颜色控制、流水显示、百分比显示、信号控制、信号接收、亮度控制与 PLC 功能扩展模块，测试证明了系统能够有效运行。

关键词：LED 灯带，Arduino，选择模式，红外线，远程控制

ABSTRACT

Not only widely be used in outlining the current iconic building pavilion buildings, bridges, parks, squares and other contour lighting engineering, light strips also become one important reference data which can catch customers focus of industrial designing. Because of its high brightness, good flexibility, plasticity, colorful diverse, the light strips are the first choice of personal DIY home decoration, shop window, signal resolution and sign of path direction. Now days, wireless control is more and more popular. The traditional wired control methods can't meet customer needs anymore so the design of the wireless lights comes out.

Through this project we want to complete the system by Arduino and achieve the wireless control of light strip with hardware. System should fix the following issues:

(1) Remote light module control: The operator can control all modes and color control with wireless device. When lights need to add mode, wireless devices can be easily programmed signal communications and identify and control this mode. How to transfer IR signal to command which program can recognize become the problem which I need to conquer.

(2) Selection and confirmation: Without corresponding panel, the operator is inevitably difficult to confirm which mode the next set. In this way, we will need to be programmed with lights. The operator can directly see the ongoing bring to light what step, to select the mode you can specify how to operate and so on. Make the light change to instruct operator which problem he is or will play.

(3) The process of operation: Since the target system is a function on the device, you must demonstrate the device characteristics. The program must be taken into account the operation of the process equipment.

This system including color control module, marquee module, percentage module, signal control module, signal receive module, brightness control module and PLC extend function module. By the testing, the system is affirmed that it can work normally.

Key words: LED light strip, Arduinio, select Mode, infrared, remote control

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 课题的研究背景.....	1
1.2 无线灯带控制系统的发展与现状.....	3
1.2.1 国外发展现状	3
1.2.2 国内发展现状	4
1.3 本文主要工作.....	6
1.4 本论文的结构安排.....	6
第二章 灯带设计关键技术	8
2.1 硬件技术综述.....	8
2.1.1 LPD8806 灯带简介	8
2.1.2 单片机介绍	10
2.2 软件技术综述.....	12
2.2.1 Arduino 介绍	12
2.2.2 库的调用以及描述	13
2.3 本章小结.....	15
第三章 系统需求分析	16
3.1 可行性分析.....	16
3.1.1 技术可行性分析	16
3.1.2 经济可行性分析	16
3.2 功能需求分析.....	17
3.3 系统模式分析.....	18
3.3.1 软件架构分析	18
3.3.2 系统功能分析	19
3.4 本章小结.....	23
第四章 设计与实现	24
4.1 颜色控制模块.....	24
4.2 流水显示模块.....	26
4.3 百分比显示模块.....	29
4.4 信号控制.....	31
4.5 信号接收.....	35

4.6 亮度控制.....	38
4.7 无线灯带与 PLC 的扩展	39
4.8 上位机与无线灯带控制系统接口设计	42
4.9 本章小结.....	45
第五章 软件测试	46
5.1 软件测试的目的	46
5.2 测试内容	47
5.2.1 颜色显示测试	47
5.2.2 流水效果测试	48
5.2.3 百分比显示模块测试	50
5.2.4 信号控制模块	52
5.2.5 信号接收模块测试	53
5.2.6 亮度控制测试	54
5.2.7 PLC 扩展测试.....	54
5.2.8 问题测试	55
5.3 本章小结.....	58
第六章 结论	59
6.1 归纳总结.....	59
6.2 心得体会.....	60
致 谢	61
参考文献	62

第一章 绪 论

1.1 课题的研究背景

LED 软灯带已经逐步进入照明市场，据估计十年之后，该产品的产值将高达数百亿美元。因此，软灯带照明是一个非常具有潜力的项目。近期，欧洲由于节能环保的需要已经率先通过了禁用白炽灯的方案，以此为契机，LED 软灯带的市场发展将是一片康庄，有着大量的机遇以及乐观的前景。随着 LED 产品的大规模推出市场，LED 软灯带的应用和推广也已经进入了实质性的阶段，目前使用 LED 软灯带进行装饰照明的消费者越来越多，这使得追逐 LED 的企业兴奋异常，纷纷投入资金带动和发展 LED 软灯带产业^[1]。与传统照明光源相比，采用高亮度 LED 的 LED 软灯带光源具有诸多的优点：低功耗，高光效，长寿命，响应快，易数字控制，环境友好^[2]。在中国市场，LED 灯带的市场也增加了明显的曝光度。通过淘宝网以及相关网店的数据，2011 年时网络上 LED 灯带交易量还比较少，但半年不到，交易量剧增。在该年第三季度时，甚至有单月数千笔 LED 灯带的交易达成。由于此产品的特性为高光效、地热组、色温可供性等^[3]。在技术研发方面，LED 灯带以及比较成熟，并没有太大的问题。相对于传统照明，反而具有了一定的优势。全球的 LED 销售增长如图 1-1 所示。

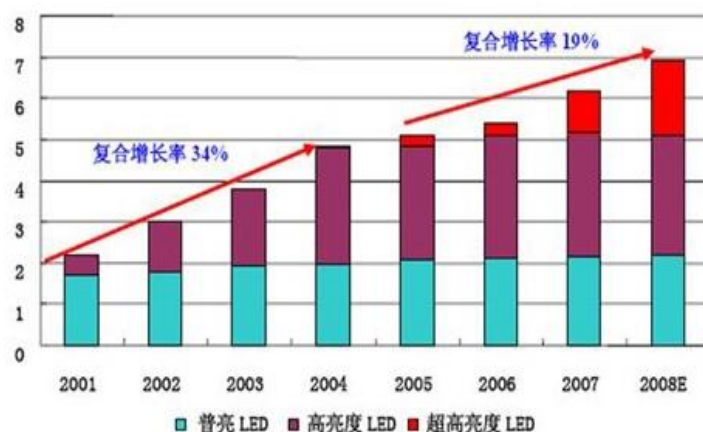


图 1-1 近年全球 LED 销售数量图

由于时代以及客户的需求，如何对其进行节能有效的控制，成为了 LED 厂家以及使用方所重点关注的信息之一。与目前市场上传统的有线制灯带相比，无线控制的灯带将更加轻便、简洁。同时由于选择了可读写的芯片^[4]，比过去模块化焊死的遥控装置来的灵活。可根据不同的要求改写灯带的变化方案，只要设定好运

行模式，红外线遥控器便能轻松灵活的控制。而不需要像市面上那些必须更换遥控器芯片才能更换颜色或模式的产品。无线技术是一种趋势，迟早将大规模的代替现有的有线设备，而红外线的遥控灯带，将会有比有线灯带更大的发展前景^[5]。

在上世纪 60 年代的时候，遥控技术已经从军用设备逐步转进了民用方面，不过该项技术也只有在部分发达国家实行，并且进展迟缓。但是不到二十年的时间里，遥控技术有着了突破的发展。作为在光谱上是可见光之外的红外线，是良好的传输媒体^[6]。既可以通过红外线的强弱，亦可以通过载波的频率调制进行信息获取。如果说要进行复杂信息传输的话，无疑是载波调制的通讯方式更加出色。抗干扰性强、直线传播优秀的红外线是目前大多遥控器所采用的遥控方式。作为一类针对某些特定应用、采用专用通讯协议的无线传输发难早已经投入使用，也发挥了很好的效果。当前的发展目标则是追求无线传输在工控领域的普遍应用或者大规模应用所一定需要解决的问题，即传输的确定性、可互操作性、投用的适应性等。所以，发展的方向首先是通讯协议的标准化。这便是我们所说的红外线数据协会标准——简称 **IRDA**^[7]。物理层规范、连接管理协议以及链接建立协议是该标准的三个基本协议。这三种协议分别的要求是：1、建立规范和格式；2、制定过程规范；3、制定应用规范；4、进行传输控制；5、制定数据格式；6、模拟串口通讯；7、局域网通讯协定等。除了一些特殊的通讯应用领域，红外线数据协会之后还发布了一些更高级的数据协议^[8]。红外线协议内容多样，功能复杂。但在非研究性设计中，其实并没必要将所有的协议全部用上。这样既浪费时间，又增加了系统处理数据的难度。尤其是在 **micocontroller** 这样的设计平台上，完全可以考虑将协议简化，根据项目的要求，有目的的挑选使用部分协议的内容。当然，其硬件接口以及软件调解必须得符合红外线数据协会所制定的应用以及规范。

另外，**IR** 通信已用在大多数新的电子芯片中，并成为一种最具成本效益和便于使用的无线通信技术而问鼎市场。红外通信标准的开发者还在设想在机场和饭店等地点使用步行传真机和打印机，在这些地方，掌上计算机用户可以利用这些外设而勿需经行直线连接^[9]。红外线控制性能稳定、结构简单、技术成熟的红外线遥控技术已经在工业操控、智能化仪器、家用电器设备等方面有了广泛的应用。^[10]它的主要优点是：1、部分信号传输必须使用特定的使用证书，但红外线可以无需专门申请；2、小体积、小功率，这样便适合于移动通信设备的需要，符合目前大众的需要；3、红外线传输速率并不是最快，但考虑到所使用的环境大部分在室内或短距离控制，该传输速率则变得符合需要；4、由于是谱外光，抗干扰能力强，传播精度也相对较高。

1.2 无线灯带控制系统的发展与现状

1.2.1 国外发展现状

从全球 LED 产业发展历程来看, 各国政府都出台了相应的半导体照明扶持与鼓励政策促进本国的半导体照明市场发展。与此同时, 由于全球气候变暖等环境因素, 一些高耗能的产品已经被环保人士做抵制。尤其是在欧洲, 部分政府已经将传统的白炽灯泡作为了禁用对象。估计不用多久, 多数国家都将逐步将传统灯具替代, 白炽灯将归于历史。而一系列的动作所带来的影响便是 LED 照明灯具的商机将变得异常巨大。

在各国政府鼓励、推进本国的半导体照明市场化进程的同时, 半导体照明技术也由于各大光电厂商、科研与学术机构加大研发投入而得到了长足的发展。一方面 LED 芯片的发光效率得到了快速提升, 另一方面 LED 芯片价格也逐步降低, 其应用可行性与经济性逐渐增大。全球无线局域网市场处在不同标准相互竞争, 并走向统一、各种新标准蓬勃发展的时代。^[11]近年来, 无线控制逐步成为工控领域中快速发展的热点之一。这也是工业自动化产品未来的新增点。显然, 不管在配置、安装、修改和扩展等方面, 无线控制成本都低于有线控制。尤其是通过无线控制可以很方便的的控制对象坐标进行修改, 这是有线控制所不能达到的。例如库门、航车、吊臂等事物采用无线控制的话, 这必然大大提高工作人员的工作效率以及精确性。IR 通讯的技术进过了多年的研发与改进, 已经被全世界众多的软硬件厂商所支持和采用。比如手机、车锁以及电脑等, 目前都已经配备了红外线接口。当然也包括了 LED 灯带。原本的七色幻彩灯带是使用有线控制的方式, 将灯带与控制器结合在一起。不过这种方式在实际使用中局限性太大, 对使用场地的要求也过高^[12]。而红外线控制的方式以其低功耗、低成本、高效率、高反应的特性吸引了厂商的注意。尤其是在工业环境中, 不仅不惧高压、粉尘、辐射的影响, 并且还可以有效的抵抗电气干扰。

当前, IrDA 技术的软件和硬件都已经比较成熟。除了红外线其本身具有的特点之外, 其市场优势也是十分明显的。图 1-2 为国外网站对红外线市场预测。目前, 全世界有 5000 万台设备采用红外线接口技术, 并且仍然令人惊讶的速度进行增长。当今, 大部分的手提电脑以及移动设备都安装了 IrDA 接口, 大多数的汽车门锁使用的也是 IrDA 接口。在成本上, 红外线 LED 以及接收器灯组件远较一般 RF(Radio Frequecny)组件更便宜^[13], 但红外线技术是一种短距离传输技术。其次, 红外线的 LED 接收器作为红外线设备中的核心部件并不是一种十分耐久的部件, 如果长时间暴露在外, 很容易引起损坏。虽然价格不贵, 但依旧会非常麻烦。不过许多的

厂商依旧将红外控制技术作为主要发展对象。

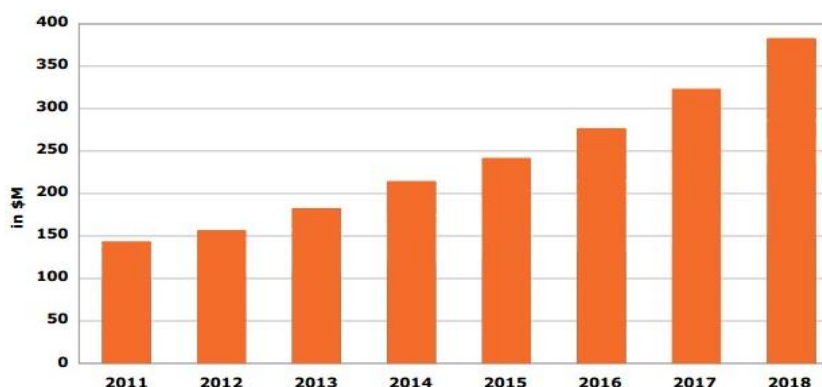


图 1-2 全球红外线市场的预测

1.2.2 国内发展现状

我国从 2003 年启动半导体照明工程以来,半导体创新与产业化规模扩张成为了我国半导体照明市场迅速成长的重要条件。特别是在国家倡导节能减排的背景下,节能环保的半导体照明产业受到政府示范照明工程、购买补贴等鼓励政策的扶持,使得我国成为半导体照明市场发展最为迅速的区域之一。2010 年,我国 LED 芯片产值达到 50 亿元;LED 封装产值为 250 亿元;LED 应用产值达到 900 亿元。单以我国白炽灯的替代进程来看:2009 年普通白炽灯产量为 27.3 亿只,比 2008 年的 33.4 亿减少了 18.3%。我国目前用于普通照明的白炽灯约 30 亿只,预计到 2013 年,我国白炽灯的年产量将减小到 14.2 亿只,2020 年全面禁止生产和使用白炽灯^[14]。由此可见,半导体照明在未来十几年内存在着广阔的市场空间。预计未来大陆的 LED 产业将持续高速增长,其增幅将达 30% 以上,以照明、背光源、显示为主的下游应用领域将保持 40% 以上的年成长率,在去年销售量已经达到 2200 亿元人民币,按照这个参数,之后 LED 的销售额将相当喜人。随着我国半导体照明市场规模的逐渐增长,半导体照明已经成为了我国工业经济的重要组成部分,目前已经达到了上百亿的市场规模,并将继续保持高速增长。同时,半导体照明的应用领域也在逐渐扩展。随着 LED 芯片的发光效率逐渐提升和 LED 芯片价格的不断下降,半导体照明已经从最初的景观亮化、指示灯等领域逐渐向汽车照明、交通照明等领域渗透,并最终实现在通用照明领域的渗透和普及。近年我国 LED 景观化照明市场走势如图 1-3 所示。因此,我国的半导体照明市场正处于高速增长阶段,具有广阔的市场潜力,必将在今后成为我国照明市场的中坚力量。



图 1-3 中国 LED 景观亮化照明市场规模走势图

红外线遥控产品市场容量大小及其发展趋势是半导体生产厂家十分关注的问题。红外线遥控系统是指运用红外线传递控制信号，实现对控制对象的远距离控制的目的。简单来说，由发射器发出指令信号，由接收器接受并进行信号处理，最后实现对目标对象功能的远距离控制。发射器包括指令发射器、指令信号产生电路、调制解调电路、驱动电路以及红外线发射器组成；接收器由红外线接收器件、潜质放大电路调节电路、指令信号检出电路、记忆及驱动电路、执行电路等组成。按照产生以及区分控制指令的方式和特征分类，常用的有频分制和码分制红外线遥控——频分制就是信号产生电路以不同频率的电信号代表不同的控制指令；码分制是指信号产生电路以不同的脉冲编码代表不同指令^[15]。市场容量一般用红外线遥控产品的市场需求量或者市场规模（销售额）来表述。涉及近三年甚至更长时间的历史数据和未来 3-5 年募投项目达产时的市场容量数据。红外线遥控产品的未来的市场容量应该是不断增长的，历史的数据则尊重事实。历史数据如果有较大的波动还需要进一步解释其原因，表明其不会对未来有不利影响。如果确实是周期性规律，则要在未来的市场容量预测中考虑该周期性的影响。



图 1-4 中国红外线产品销售量增长图

红外线遥控产品的未来的市场容量还需要保障能够容纳募投项目带来的新增产能。近年中国国内红外线销售量如图 1-4 所示。而募投项目新增的红外线遥控产品产量和当前企业的产量之和是未来拟上市企业红外线遥控产品的总产量，其与市场容量的比值极为市场占有率。因此，未来市场容量数据也要考虑红外线遥控企业市场占有率是提升还是下降。企业市场地位的上升与下降要与行业发展的趋势和竞争格局的走势相一致。

1.3 本文主要工作

本文以建立一个简单的无线控制系统为目标，实现对七彩幻彩灯条的颜色及亮度控制，并根据实验结果对色彩流程进行更改。笔者所做工作如下：对灯带控制系统发展过程进行调研，并给出此系统的设计方案。选择硬件设备进行调试，用 ATmega328 为核心的单片机作为主要配件获取相关数据，其结构简单，但功能相对丰富。使用 Arduino 在控制板上完成编译工作，并且通过 USB 线连接外界硬件进行通讯。Arduino 能通过各种各样的传感器来感知环境，通过控制灯光、马达和其他的装置来反馈、影响环境。在不断的修改后得出所需要的试验结果，通过调整数据模型的参数来得到更好的视觉效果。论文详细阐述了系统设计，给出了系统体系结构设计、系统组织划分，根据系统组织划分的结果，对系统主要程序块给出了设计，主要包括信号采集、程序调用、颜色编译、模式控制等。最后给出了今后系统需要进一步所做的工作。本文阐述无线灯带控制系统不但给七色幻彩灯条体重了良好的控制平台，而且提高了控制人员的工作效率并且便于控制模式的修改，因而具有很好的社会和经济价值。

通过本次项目，实现了如下功能：

- (1) 通过软件信号采集，实现无线控制器与灯带的信号传递；
- (2) 实现了通过软件确定变幻颜色以及运行模式的方法；
- (3) 实现通过程序降低灯带亮度以及扩展功能。

实验测试结果证明了无线灯带控制系统能够实现正常的运行以及模式变换。

1.4 本论文的结构安排

各个章节安排内容如下：

第一章：讨论了课题开展的背景和研究意义。对无线控制的起源和研究现状做简要介绍，并对论文主要工作以及组织结构进行了安排。

第二章：介绍了灯带动作流程的方案设计以及研究过程，对灯带工作中的参数调整，硬件配置和软件程序函数的应用做了详细的描述。

第三章：介绍了灯带的无线接口设计以及相关算法。

第四章：由无线灯带扩展出的 PLC 控制灯带的可行性以及软件实现方式，并且给出了结合 PWM 占波比调整灯带亮度的方法。

第五章：总结了本课题所设计系统的优劣以及对系统未来的展望。

第二章 灯带设计关键技术

2.1 硬件技术综述

2.1.1 LPD8806 灯带简介

LED 是一种发光的半导体电子器件，全称是 Light-Emitting Diode。透过三价与五价元素所组成的复合光源。在 LED 发展的初始阶段，LED 只能发出微弱的红色光线。当初惠普买下该版权后也仅仅当做指示灯使用^[16]。在经过了一段时期的发展后，LED 灯已经可以发出其他单色光，亮度也较初期有了明显的提高。而今天，LED 不仅可以显示所有的可见光，连光谱之外的红外、紫外线都可以实现。光度也已经提高到了相当高的程度。从初始的指示灯，现在已经广泛应用于显示板照明等。二极管的正向导通特性，使得电流通过时产生电致发光效应——电子与电动在其内重合而发出的单色光。光线的颜色与半导体内所掺入的元素杂质有关。因此，LED 等具有高效率、长寿命、反应速度快、不易损坏等特点。并且具有高可靠性、已修改性等传统广元所不具备的优点。另一些 LED 单元里的两个或多个不同颜色的二极管是共阳极或共阴极架构，这样，不用改变极性就可以产生多种颜色的光^[17]。LPD8806 是专门为 LED 灯光系统设计的新一代驱动芯片，它采用先进的工业级 CMOS 工艺，提供灰度调制输出及多路恒流驱动，尤其适合于离散的多灰度全彩色灯光系统。LPD8806 芯片是一种六通道带 256 级 PWM 的可编程恒流 LED 驱动器^[18]。实物图如图 2-1 所示。



图 2-1 带 LPD8806 芯片的幻彩灯条

LPD8806 芯片的特性为：1、恒流驱动模式，缺省驱动电流 18mA，支持 LED 灯电压可达 12V；2、LPD8803 支持三路输出(管脚向下兼容 LPD6803)，LPD8806 支持六路输出(引脚安排有利于单面板布局)；3、两线控制模式，移位时钟可达 20MHz；4、独特的数据时钟再生机制，超强信号驱动能力，支持级联长度超过 2000

点；5、内建 1.2M 振荡电路，支持 FREE-RUN 模式，便于控制器编程设计（刷新频率大于 4000Hz）；6、每个通道均内置独立的 256 级 PWM 灰度控制电路，通过编程可实现 1024 级灰度效果；7、输出极性可选，可支持外接驱动模式或作为大功率 LED 驱动电路的信号源工业级设计，输入信号经施密特处理，抗干扰性能极强^[19]。应用范围：1、LED 装饰照明系统；2、PWM 信号发生器；3、LCD 背光驱动。LPD 芯片包括串行移位寄存器和级联驱动电路，灰度数据在时钟上沿移入串行移位寄存器，转储后经脉宽调制转为多端口的并行输出，串行移位寄存器和灰度计数器可以由不同时钟信号控制。同时将数据和控制信号经内部强驱动后输出给下一级电路^[20]。LPD8806 一般有三种驱动模式

1、内恒流驱动模式:

内恒流驱动模式适用于输入电压不大于 12V 并且每个支路电流不大于 18mA 的环境。由于采用的是 OMODE 高电平或悬空模式，因此如果输入电压小于 5.5V，也可以将 VDD 直接接到 VCC 上。这样缺省时恒流 ILED 将为 18mA，此时，若要保持恒流状态，那么导通后输出口的对地电压一定要保持在 0.8 至 5V 之间。这里 RL 为限流电阻，也可以不用，RL 取值几十欧姆以上时，可以调整 ILED 的大小，同时有助于分担芯片耗散功率 PD，提高工作稳定性。电路设计时要注意耗散功率 PD 不得超过最大值 PDMAX： $PD = \sum ILEDX * VOUTX + PIC$ （PIC 为 IC 基本功耗，一般不超过 25mW）。注意，VDD 电压切勿长时间超过 12V，现场应用时电压波动比较大，可通过加大 VDD 上滤波电容的方式来防止过冲导致输出损坏，建议采取外挂恒压驱动模式比较稳妥。

2、外挂恒压驱动模式:

外挂恒压驱动模式多用于发光二级的串联或输入电压较高的环境下。通过 OUTX 输出电平控制外接的三极管（NPN 类）驱动。使用 OMODE 接地，那么限流电阻计算： $RL = (VDD - VLED - VCE) / 20mA$ 。工作在三级管的开关区域，饱和压降一般是 0.5V 至 0.8V，三极管的基极电阻一般为 2K 左右，其余连接方式与内恒流驱动模式相同。由于多用于二极管的串联，因此会导致如果该电路中只要有一个发光二极管损坏短路后，这条之路所有的 LED 灯就无法工作。我们经常可以看到实例：霓虹灯上的灯组一般都是一整条损毁的。所以，如果使用外挂恒压驱动模式的话，要注意串联的灯数不要太多，并联电路倒是可以多一些。这样不仅可以减少损坏 LED 的影响程度，而且还可以减少电阻，加大功率。总体来说，这样的安装方式利于电阻发热，并便于将灯具设计更紧凑。

3、外挂恒流驱动模式:

该模式（OMODE=高电平或悬空）适用于单串多个 LED 且 VDD 超过 12V 的

情况，其实质是通过外接三极管提高驱动耐压能力的同时，保持器件的恒流驱动特性： $I_{LED}=18\text{mA}$ 最高的 V_{DD} 耐压取决于 NPN 三极管的 V_{CEO} ，一般在 25V 以上。一般来讲，级联传输可能会很长，数据输出和时钟输出端都设计了推挽式强驱电路，这个电路看似简单，其实用起来要考虑的还比较多，所有的规格参数，寄生参数，tolerance，温度，cost，PCB 空间等等等等，前前后后的一堆问题都得面对。一般来说，时钟信号为 2M 是可以驱动大概 6M 的信号线。如果担心信号反射的话，可以在数据输出端或时钟输出端口各串一个 30Ω 左右的电阻^[21]。

2.1.2 单片机介绍

单片机是这次编程的主体设备。单片机，根据不同的发展过程，分别称作单片微型计算机（Single-Chip Microcomputer），称微控制器（Microcontroller）等等。单片机是把 CPU、定时/计数器（Timer/Counter）、随机/只读存储器、数字/模拟输入输出接口等都集成在一块集成电子芯片上的微型计算机。如果将单片机与个人 PC 的微处理器相比，单片机的优点毫无疑问是体积小，可以安装在仪器的任意位置。但由于存储量相对较少，结构简单，功率较低，单片机比 PC 及更加注重自供应和成本^[22]。单片机的发展相当快速，过去我们常常说的“单片机”已经不能准确的描述其功能，所以，在更多的应用范围和市场环境中被称作是用意更广泛的微控制器。因此，也被命名为 single chip microcontroller。CPU——中央处理器、RAM——随机存储器、ROM——只读存储器、I/O——输入输出、以及中断、定时、模拟等功能集成至一块电路芯片中，便形成了我们所说的单片机。由于其功能的强大以及相对 PC 而言“娇小”的体积，单片机在工业控制领域得到了广泛的应用^[23]。从最初的——二十世纪八十年代——4 位、8 位单片机，一直发展到今天的 32 位的高速单片机^[24]，使得现在人们的生活中所用的几乎每个电子器件的产品中都会集成单片机。单片机由运算器，控制器，存储器，输入输出设备构成，相当于一个微型的计算机（最小系统）。当然和 PC 相比较的话单片机缺少了类似鼠标、键盘等外围设备，如果不添加模块的话可能与其他设备进行通讯都会有困难^[25]。但正如之前所提到的，单片机的体积小、质量亲是 PC 所无法比拟的，这便为众多单片机爱好则学习、应用以及开发提供了相当便利的条件。使得单片机在工业控制领域被广泛使用。

单片机本来是由仅有 CPU 的专用处理器芯片发展而来。1971 年 Intel 公司生产了第一块 SCM（single chip microcomputer）^[26]。也就是单片机的字面意义。而其设计的目的便是将 CPU 独立出来，再将所有需要的外围设备集成在一个芯片中。该项设计将微机与通用型计算机彻底分离开来，把单片机推向了一个完全不同的、

但光明的道路上去。之后随着系统的发展以及应用范围的变化，单片机对外围电路和接口电路要求变得越来越高，它的发展重任根据历史的需求逐渐被电气、电子技术厂家所担当^[27]。单片机由此进入了 MCU（Micro Controller Unit）时代，而 Philips 公司作为电气的龙头也逐步代替 Inter 公司扛过了单片机的大旗。而目前，单片机以及完全进入了 SoC（System on Chip）嵌入式系统的时代。越来越多的部件集成，越来越广的应用范围，功耗、封装、电源电压以及工艺的进步使得单片机成为了不仅仅是一个部件的存在。它可以嵌入到我们可以想象的任何小型或者微型的设备之中。并且，在增加了与 Internet 连接的功能之后，完全拓宽了单片机的发展之路。它的数量不仅远超过 PC 机和其他计算机的总和，甚至比人类的数量还要多。单片机在这个星球上的年产量为七亿片，年销售额 30 亿美元。目前发展形势下，单片机表现出如下的趋势：可靠性及应用水平愈来愈高；功耗逐渐降低和模拟电路结合增加；和互联网连接成为明显的方向^[28]。按照目前的发展状态，我们完全可以期待单片机将依旧霸占中小型控制领域，并且逐步将应用范围扩张至大型控制器材。单片机的未来将是一片光明。

单片机，或者说 microcontroller 已经和我们生活的方方面面结合了起来，你几乎很难找到哪个领域没有单片机的痕迹。工厂的自动化配置、汽车的导航装置、游轮的仪表控制、手机的通讯系统、电子玩具、电子宠物等等，这些都离不开它。我们使用的单片机选择的型号为 seeeduino 的 microcontroller，这是一款低功耗、低价格的“半手”微型机。如图 2-2 所示，其核心驱动是 ATmega328 芯片。

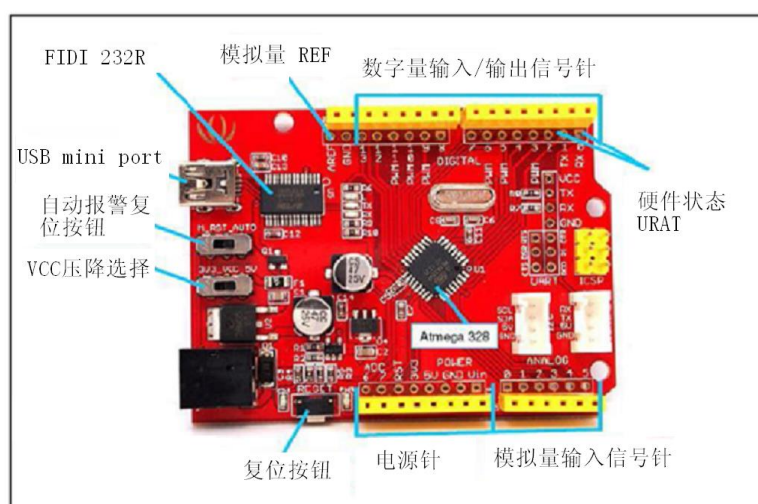


图 2-2 带 ATmega328 的微型控制器

这款设备的主要配置及参数为：

- ATmega328 芯片

- 5V 或 3.3V 的驱动电压
- 输入电压（建议）7V-12V
- 输入电压（峰谷值）6-20V
- 数字量 I/O 点 14 针（6 针为 PWM 输出）
- 模拟量输入 8 针
- 数字量 I/O 针每针直流 4mA
- 模拟量每针直流 3.3V 50Ma
- 16K 闪存（bootloader 占 2K）
- 1K 静态随机存储器（SRAM）
- 512 字节的 EEPROM
- 16MHz 的指针速度

2.2 软件技术综述

2.2.1 Arduino 介绍

Arduino 是一种操作灵活、便于上手的开放式电子设计以及应用模块，它的定义不仅包含硬件，各种型号的 arduino 板和其他组件，还包括软件，arduino IDE、arduino0.1 等。它适用于艺术家、设计师、爱好者和对于“互动”有兴趣的朋友们。可以自己动手制作，也可以购买成品套装；Arduino 所使用到的软件都可以免费下载。硬件参考设计（CAD 文件）也是遵循 availableopen-source 协议，任何人都可以非常自由地、根据自己的要求去修改他们。Arduino 可以将成型的或者特意定制的元器件如开关、接收器、各类传感器传感器等输入装置来控制灯珠、马达、气阀灯输出装置。Arduino 自己本身亦可以被当做成一个和软件连接的中间站^[29]，比如 processing、Max/MSP、VVVV 这些或者其他的互动软件。

Arduino 软硬件系统有如下特色：1、开源下载，基本上所有的程序、硬件库以及各种接口程序都能在网上免费得到。官网上也会发布及时的更新项目以及一些优秀的作品集。甚至于最新的电路设计图纸都会在最早的时刻发布公告。这样的话，不论软硬件，都可以按照自己的要求进行 DIY；2、微处理控制器多采用 AVR 系列控制器，该款控制器价格低廉但控制性能尚可。当电路板上的 USB 口与电脑或者其他接口连接后，便能直接对电路板进行供电，不需要再对板子进行额外的外接电源。如果另外外接了 9V 电源也不会有什么影响，但一定要共地，否则会对灯带的信号产生不可预知的影响，详细的情况在第五章软件测试内会有分析；3、关于接口的驱动数据，Arduino 支持 ISP 在线烧，登陆官网，下载 bootloader

控件，通过 miniUSB 数据线将其传输至 ATmega 328 内。将此控件安装好后，变直接可以通过串口的方式来再现更新硬件驱动等程序^[38]。4、如果想完成独立的未处理系统的话，可以根据官方提供的 Eagle 格式 PCB 和 SCH 电路图简化 Arduino 模组，根据这样的方式能简单地与各种各样的输入模块以及输出模块进行通讯连接，并且提供驱动功能从而控制它们；5、支持与 PD、C、Processing、Flash、Max/Msp、VVVV、等软件的通讯连接；6、在 Arduino 应用方面，突破过去鼠标、键盘等输入的装置的互动方式，Arduino 可以更简单地达成单人或多人游戏互动。几乎任何人，即使不懂电脑编程，也能使用用 Arduino 做出一些非常吸引人的作品，比如热成像探测器，自动扫地机器人，翻斗小车等经典作品都是一些平常不太接触电子类物品的爱好者完成的。这样的事在其他的平台上不常看到，原因就在于版权问题。而 Arduino 的主创人员都坚定的以“开放”作为它的主要观念和精神。由此在一开始便申请了 Creative Commons 许可。Creative Commons (CC) 是为保护开放版权行为而出现的类似 GPL 的一种许可 (license)。在 Creative Commons 许可下，任何人都被允许生产电路板的复制品，还能重新设计，甚至销售原设计的复制品^[39]。

2.2.2 库的调用以及描述

灯带的模式选择主要通过 microcontroller 的 Digital Input/Output pins 实现。由于试验所需的显示状态不多，因此只需要四个输入点便可以实现不同的运行模式。四个针脚通过不同的电位组合，形成不同的运算结构。进过程序编译，再由 ATmega328 芯片计算电平输出，交由 LPD8806 分析从而实现灯带各种的现实模式。由此，首先需定义各个部件的职能。

```
#include "LPD8806.h"           // include the RGB LED strip library
#include "SPI.h"                // include SPI library
```

首先提取 LPD8806 模块，此模块在之前已经进行过详细讲解，对此不再描述。接着定义 SPI 接口模块，SPI 功能图如图 2-3 所示。

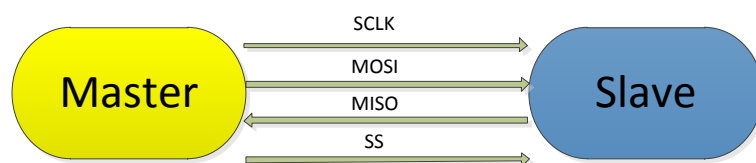


图 2-3 SPI 功能图

上图中的四根线的定义分别为：时钟线 SCLK (slave clock)、串行输入线 MISO

(master in slave out)、串行输出线 MOSI(master out slave in)、设备选择线 SS(slave select)。这四根线的功能分别是：时钟线同步主从设备的数据传输，由主站进行驱动输出，从站设备按时钟线的步调接收或发送数据；串行输入线使主机输出从机输入数据线；串行输出线使主机输入从机输出数据线；设备选择线用于选择激活从站设备，由主站驱动输出。并且值得注意的是，当且仅当设备选择信号线为低电平时，对应从站 SPI 接口才处于工作状态^[40]。

SPI (Serial Peripheral interface) 就是串行外围设备接口。不过令许多人所误解的是：它其实是一个实施标准，而非标准协议。也就是说，大部分厂家都知道有 SPI 接口并且在设计上都参照了 Motorola 的接口方式，但由于没有一个确定的标准协议使得不同产品的 SPI 在通信层面有一定区别，严重的可能都无法进行连接。一般 SPI 的通讯方式如图 2-4 所示。



图 2-4 SPI 通讯方式

SPI 接口的操作相当简单，并且传输的速率也高。不过需要占据主机较多的接口线而且只能支持一个单机。不过相对于其优点，在本次研究项目中可以忽略其缺点。接下来我们便需要定义数据信号和时钟的输出端。

```

int clockPinfirst = 3;           // clock pin for light strip
int dataPinfirst = 4;           // data pin for light strip
定义 Digital Pin3 为时钟输出
定义 Digital Pin4 为数据输出
  
```

时钟信号是用来“同步”系统内各种器件工作的。但什么是“同步”？各器件为何

需要同步？首先，存储器包含触发器以及电容器，由于电容是有持续放电的特性，因此要对其进行不断的充电。触发器与电容器都分为不同步以及同步两类，不同步的触发器叫做简单触发器，同步的则称为钟控触发器。不同步的电容叫做 DRAM，同步的则称作 SDRAM。这些都在电路里工作，工作则会占用时间。当完成当前步骤之后^[41]，则需要告知 CPU 或者其他部件。给出“完成”信号的方式有两种：外部时钟信号和其他方式，通过外部时钟信号的方式则叫做“同步”。简单来讲，触发器和电容器在一个时钟周期内所必须完成的工作，CPU 或者其他接收信号部件则可以认为是已经接收“完成”信号。时钟信号是时序逻辑的基础，至于是上升沿触发信号还是下降沿触发信号，取决于程序的逻辑关系以及现有部件的特性。在数字电路中同步是最重要的，同步信号使得每个 IC 能够正确地读、写数据^[30]。我们平常说计算机有地址、数据、控制三个总线，在时序电路中，信号建立的顺序是：地址、数据、读/写（控制信号之一，可以看作是同步信号），信号结束的顺序是：读/写、数据、地址，也就是说在波形图里，地址信号最宽，读/写信号最窄，读/写脉冲被套在中间，读/写数据时地址、数据已经稳定，自然不会出错。三总线的时序就是由 CPU 的时钟同步的^[31]。

2.3 本章小结

本章介绍对灯带控制系统进行了简要介绍，阐明了 LPD8806 与 Arduino 之间的关系，单片机控制在灯带系统中的优势，论述了在本系统开发中要使用的硬件配置、软件要求、控制技术以及程序内容等相关技术问题，对核心技术碰撞检测进行了详细的论述。

第三章 系统需求分析

3.1 可行性分析

3.1.1 技术可行性分析

无线灯带控制系统是一款较小型的红外线类控制系统，它的设计过程均可在 PC 机上完成，所需软件 Arduino 有免费软件支持，也可以购买高级版本。不过普通的版本已经完全能够实现程序要求。

目前微型单片机上的应用软件开发很多都是基于 Arduino 平台的，甚至现在越来越多的单片机就是为了 Arduino 而设计。它是将单片机操作的细节都包装起来了，只要知道调用某个接口可以得到什么响应就可以了，只要有简单的编程基础的人都可以进行开发适合入门，学习 Arduino 单片机可以完全不需要了解其内部硬件结构和寄存器设置，仅仅知道它的端口作用即可；可以不懂硬件知识，只要会简单的 C 语言，就可用 Arduino 单片机编写程序^[33]。

整个软件开发使用 arduino-1.0 开发平台来完成。该款软件不仅开放原始码的 simple I/O 介面版。Arduino-1.0 的编程语言类似 Java, C, C++ 语言环境，逻辑简单，代码也容易。Arduino 1.0 的改进包括串口类，以太网库增加对 DHCP 和 DNS 的支持，一个全新的 SoftwareSerial 库，SD 库中支持多文件，UDP 类的改进等等^[34]。

综上所述，对于在技术上使用 Arduino 编写无线灯带控制系统是可行的。。

3.1.2 经济可行性分析

本程序开发可完全在普通 PC 机上进行，可使用操作系统 Microsoft Windows XP，使用程序语言 Arduino，软件包 arduino-1.0，免费下载，也可依需求自己修改。如果不需要改变、转变著作，散布该衍生著作时，便无需采用与本著作相同或类似的授权条款。正版操作系统 Windows XP 简体中文专业版价格大约在两千元左右，正版图书购买 500 元左右，还可以图书馆免费借阅。Arduino 近几年在国际发展火热，教程的话可以到 arduino 官方网站学习，英语不好，或者喜欢看中文教程的，就可以在论坛中阅读中文教程。网上更提供了众多免费插件可供下载。所以开发本软件成本可控制在 3000 元左右。

开发出的产品倘若在因特网下载，也可以直接附于在灯带控制平台上。市场上无线灯带控制比有线的价格高升几十元。在高速发展的信息时代，一个受欢迎的无线控制系统追捧，几百个产品的销售量不成问题。所以，从经济角度来讲，开发本程序是可行的。图 3-1 为 arduino 的开发环境。

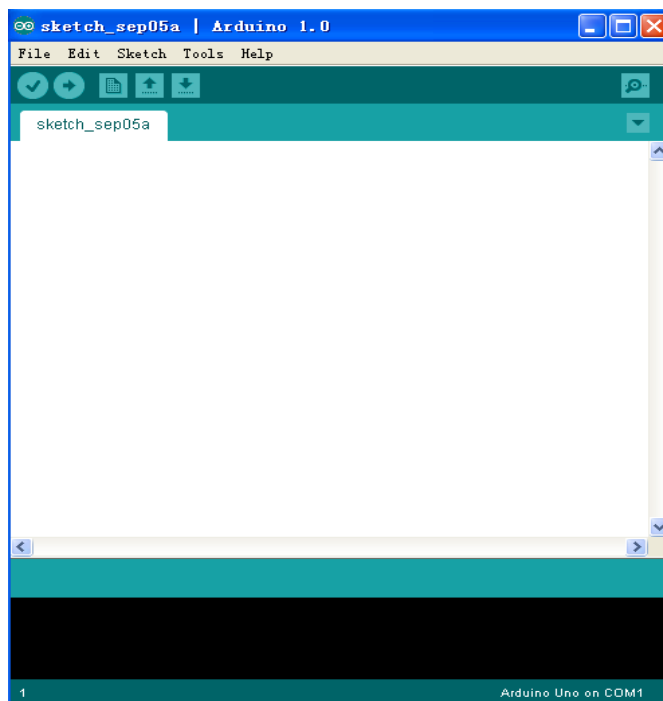


图 3-1 Arduino 开发环境

3.2 功能需求分析

功能需求决定了一个软件的组成和功能，同时也定义了一个系统所需要给出的服务内容。它可以由几组输入、动作、输出的组合来表示。一个典型的功能需求应该包括不重复的名称或代号，简要的描述，各部分的作用等。这些信息有助于客户或者他人简明的了解该项目的内容及功能。并且，进行功能需求分析后，便于在软件开发过程中为了实现这些功能所对饮的设计、完成以及测试等^[42]。

无线灯带控制系统所需要实现的主要功能如下：

1、能够使灯带进行颜色变化

七色幻彩灯带的每个灯组都可以被单独编址，以三个 LED 位一组，允许任何灯组在不同的时间中变换不同的颜色。可以选择塑封灯带，或者滴胶灯带这样可以让灯带由透明或半透明外壳，增加美观程度。灯组沿着母铜片以同样的间距进行排列，以 RGB 的颜色分配方式对灯带进行颜色控制。

2、实现流水显示效果

流水显示，又称作跑马灯，是七色幻彩灯带最广泛的运行模式之一。该效果经常可以在路边的霓虹灯上看到。这里我们需要实现的是对不同颜色的流水效果实现以及从中间至两边的波浪形流水效果。

3、灯带能完成百分比的显示

根据客户要求，灯带必须带有进度显示功能。这样我们就得设计一组使灯带可以显示百分比亮度的程序。分别为 25%、50%、75% 和 99%。其中，99% 的显示状态为点亮 11 组灯，只灭一组。

4、能够使灯带完成控制选择

一共有 12 组显示模式可供选择，每组模式各代表一种工程上的机器运作状态。可以通过 Apple Remote 上的左右键配合 Select 键进行程序选择。

5、完成红外线接口通讯

无线灯带所需要的最基本的功能，目标在于如何将遥控器以及灯带进行数字信号交互。进而实现 Apple Remote 控制灯带的目的。

6、可以通过软件方式解决灯带亮度问题

在实验的过程中，发觉灯带的原始亮度十分刺眼。通过硬件降电流的方式的确可以使灯带变暗，但不便于操作。于是进行了系统优化，通过软件的方式进行灯带亮度控制。

7、实现与 PLC 通讯

由于本系统的运行环境是在工业领域之中，因此预留了与 PLC 通讯的程序，使得 PLC 也可以直接控制灯带进行颜色以及模式转变。

图 3-2 为无线灯带控制系统流程图。

3.3 系统模式分析

3.3.1 软件架构分析

软件框架的作用是使软件设计层次清楚，可以达到不同模块细分到不同个人开发的效果，各个接口之间能够无缝连接^[35]。但是架构虽好，也需要看实际情况，不能一味为了追求花哨的架构，而忽视了其成本。软件架构的真正作用是分离关注点、提升软件需求灵活性和维护性。但是相应的，其前期复用的成本效益也显著提高。根据这次项目设计所需要的功能，本软件采用了三层程序架构，分别为表现层、逻辑层以及数据持久层。

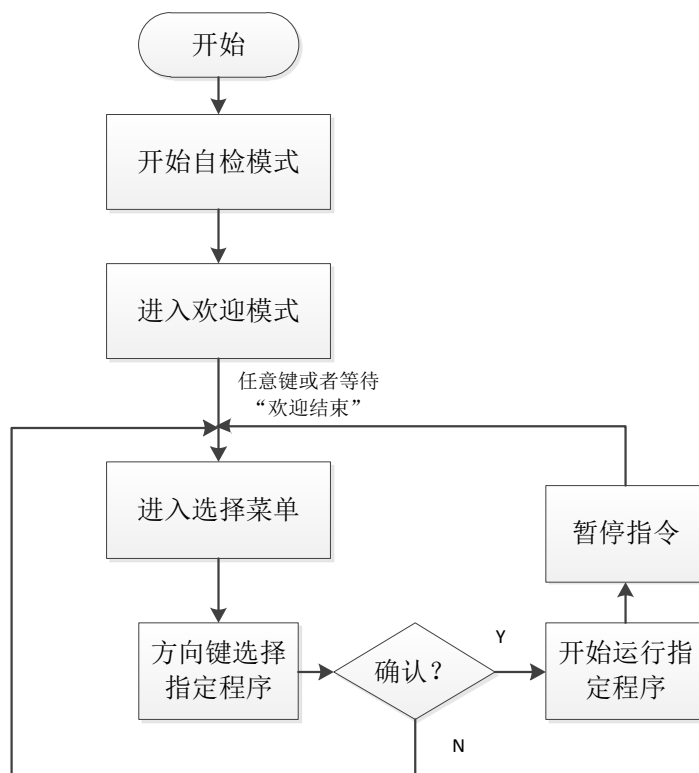


图 3-2 系统流程图

其中，表现层主要实现灯带的显示功能，通过指定信号接口实现与逻辑层的通信；逻辑层主要实现灯带的闪烁动作、选择程序等逻辑功能；数据持久层主要实现保存程序中的数据。

3.3.2 系统功能分析

按照灯带程序的一般规则以及该款无线灯带的功能特点，软件设计为 7 个功能。分别是：颜色控制、流水显示、百分比显示、信号控制、信号接口、亮度控制以及 PLC 功能扩展。

各主要功能如下：

1、颜色控制：

功能:利用混色原理，显示出不同的颜色。

灯带的灯珠是由红(R)、绿(G)、蓝(B)三基色 LED 组成的。如果同时点亮两个基色时，发光二极管可以发出黄、紫、青色颜色；若红、绿、蓝三种发光二极管同时点亮时，它会产生白光（混色原理）。如果有方法可以让绿、红、蓝色发光二极管分别两两点亮、单独点亮及三基色发光二极管同时点亮，则能按不同的情况发出七种不同颜色的光来^[32]。颜色控制模块 UML 图如图 3-3 所示。

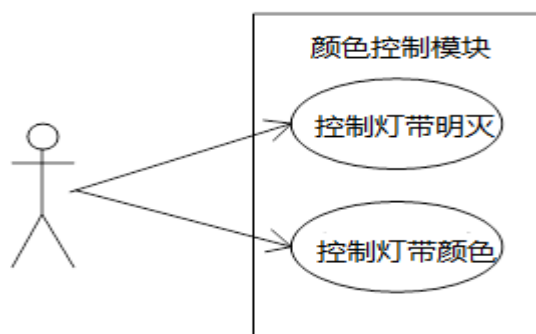


图 3-3 颜色控制 UML 图

2、流水显示：

功能：实现多种颜色的流水功能显示。

流水灯便是商家介绍时的跑马灯。实现该效果需要将二极管灯组依次点亮，当整条灯带上的二极管灯组全部被点亮后，再将灯组依次熄灭，如此往复。当然，如果闪烁频率过于快速，会让人的眼睛产生疲劳甚至可能会有不适。因此，考虑到观赏效果加上 delay 延时电路是必须的。编写程序控制输出端的高低平电流变化，通过 clock 和 data 线进行数据通信来实现该七色幻彩灯带的流水灯控制^[43]。该显示项目是所有显示方式中的一个重要的组成部分由于项目要求我们不仅需要做简单的上下流水效果，还要完成从中间向外进行波浪式显示的“欢迎模式”流水效果。流水 UML 如图 3-4 所示。

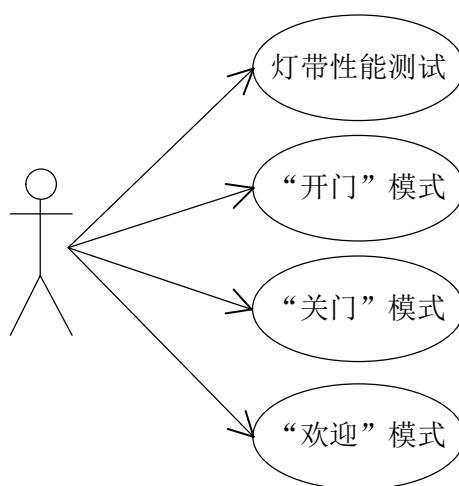


图 3-4 流水显示 UML 图

3、百分比显示：

功能：显示菜单模式，调用其他子程序。

不仅在选择程序的状态下，在实际运行效果中也需要用到百分比的显示模式。由于灯带长度为 1M，共有 12 组灯，那么最方便的显示模式便是以 1/4 为基数进行

进度条显示。值得注意的是 99%显示指的是除了最后一组灯外其余灯全亮。百分比 UML 如图 3-5 所示。

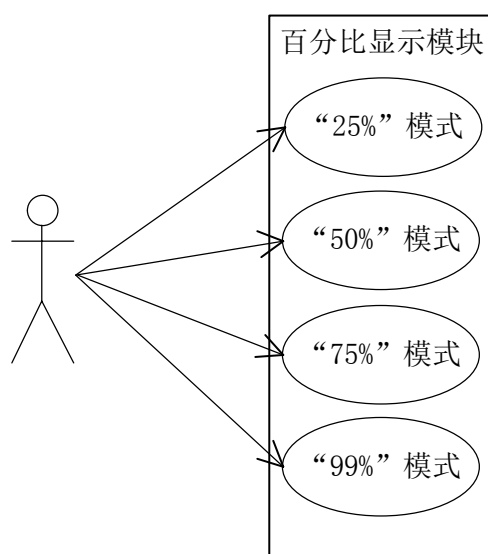


图 3-5 百分比显示 UML 图

4、信号控制：

功能：根据信号的识别发出相对指令。

遥控器各个按键定义为：左右键、在开始模式下选择程序，灯带会分成 12 个色块供选择，分别对应 12 个不同的程序当按下左或右按键时，灯带会增加或减少一个色块。以此来确定是使用哪个程序演示（注：由于苹果遥控器特殊的功能，只有一次按键才是有效按键，如果短时间内点击两次，则无任何效果）。播放键、在确定选择的程序后，按下播放键进行灯带流程播放。如果不进行其他操作的话，该程序会重复不断的播放下去。

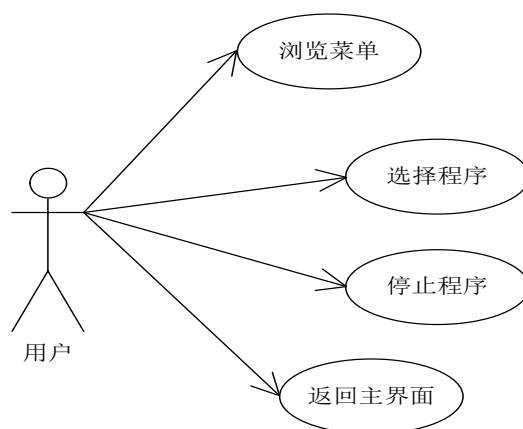


图 3-6 信号控制 UML 图

如果想停止该程序，按下任意键即可；选择键、在选择程序的界面，如果按下选择键的话，程序会重复进行播放（从 lightAction1 至 lightAction12）。如果想停止程序播放，按下任意键即可；菜单键、在任意时刻按下菜单键，将转至选择模式，重新进行程序选择。信号控制 UML 如图 3-6 所示。

5、信号接收：

功能：接收由红外线发出的信号并转换为程序语言。

红外遥控器发出的信号是一连串的二进制脉冲码。经过滤波和解调后，内置的信号接收器将红外发射管发射出来的光电信号转换为电子信号，这种电子信号经由电压反馈型内部放大器进行功率放大，在这之后，经过自动增益控制、带通滤波、解调发、波形整形等等步骤后逐步还原为遥控器发射出的原始编码。最后由红外线接收器的信号输出脚输入到电器上的编码识别电路上。由程序识别该信号指令。信号接收 UML 如图 3-7 所示

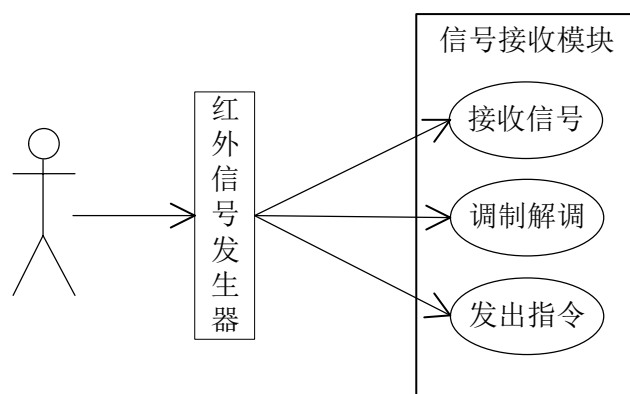


图 3-7 信号接收 UML 图

6、亮度控制：

功能：通过软件的方式将灯带亮度进行调整。

由于用的是低电平点亮一个 LED 灯，假设把一个频率周期分为 10 个时间等份，如果方波中的高低电平占空比是 9:1，这就是一个比较暗的亮度，如果方波中高低电平占空比是 10:0，这时，全部是高电平，灯是灭的。如果占空比是 5:5，就是一个中间亮度，如果高低比是 1:9，是一个比较亮的亮度，如果高低是 0:10，这时全部是低电平，就是最亮的^[36]。亮度控制 UML 如图 3-8 所示。

7、PLC 功能扩展

功能：将 PLC 与无线灯带控制系统进行通信。

本款无线灯带控制系统是用作于工业领域中。而工业领域使用最多的控制程序则是 PLC 控制程序。因此，我们以 SIEMENS 的 S7-300 为对象，将灯带系统彻底与设备的运行状态结合在一起。

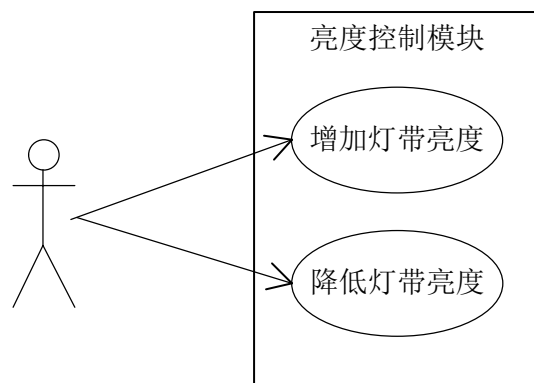


图 3-8 亮度控制 UML 图

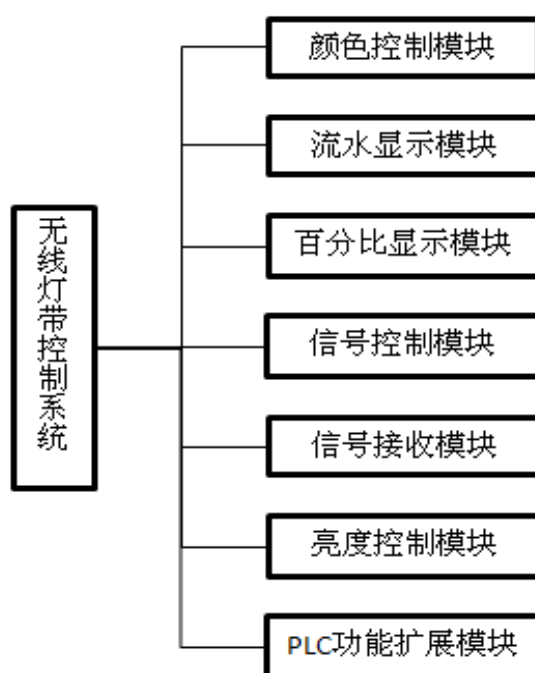
3.4 本章小结

本章对无线灯带控制系统项目的可行性分别从技术与经济两种不同的角度进行了归纳分析，结果表明无论从技术上也行，从市场上也好无线灯带控制系统都是可行的、适于规模生产的。接着本章对该系统进行功能需求分析，阐述了无线灯带系统所需要配备的主要功能以及扩展情况，以便于在实际研究设计时作为一个参考标准。当然，如果有实际项目需要的话，无线灯带控制系统的功能需求是可以根据不同的客户要求改进的。详细阐述了无线灯带控制系统的系统设计，将整个系统模块分为七个大类，分别为颜色显示、流水显示、百分比显示、信号接收、信号控制、亮度控制以及 PLC 扩展等。提出了对这些模块设计的要求以及主要设计思路，对整个系统的框架有了明确的说明。

第四章 设计与实现

本软件采用的是面向对象的设计方式，在开始的显示内容中传递给操控者信息，之后操控者使用红外线遥控器再反向对系统传递信息。进过信息处理之后，使用不同的输出方式对灯带进行控制。操作者共可以使用“前进”、“后退”、“选择”、“菜单”等按键进行灯带操控，而灯带可以进行颜色、流水、百分比、亮度等显示模式变化。

系统功能架构见图 4-1。



4-1 功能模块架构图

各模块的设计实现过程如下：

4.1 颜色控制模块

RGB 是灯带上的红、绿、蓝三色灯。灯带上的每个灯并不是通过化学性质来变化颜色，这样成本过高。合成色光。它的合成原理是加色法，根据红，蓝，绿这 3 种基本色彩，这 3 种色彩的混合比例不同，可以合成出自然界中的所有光谱^[44]。我们家里的彩色电视机的显象管的色彩就是这 3 种基本色混合出来的。颜色显示流程图如 4-2 所示：

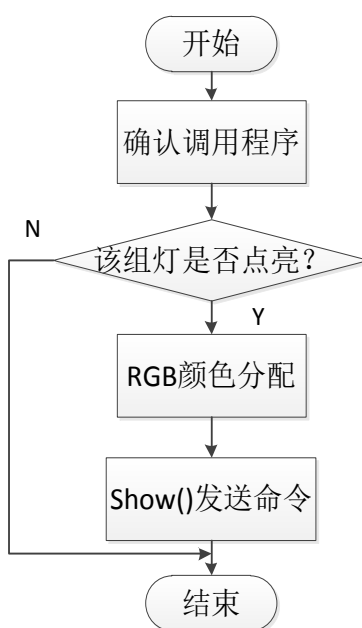


图 4-2 颜色显示流程图

而我们常见的绘画作品里的颜色是和电视彩色相反的，采用的是减色法。比如：发光二极管是红和绿色，除了这 2 种色彩外，还可以显示出黄色，而黄色就是红和绿色一起发光，我们看见的就是黄色了。如果，红色和绿色可以控制发光强度，则我们可以看到不同深浅的黄色了。

算法主要步骤：

1、定义所用灯带库：`#include "LPD8806.h"` 这是最主要的工作，可以让单片机能够正确的向灯带发出指令。Arduino 自带有 LPD8806 的库文件，无需重新下载。

2、确定 R、G、B 三原色的分配显示方式：每种颜色的显示比例可以从 0 至 255，不同原色配比可以组合显示出各种不同的颜色，例如：`firstStrip.Color(255/setBright(), 0, 0, 1000 ;`，该程序代表了红色显示 1000 毫秒，如果`.Color(255/setBright(), 255, 255, 1000);`则代表白色显示 1000 毫秒。

3、定义颜色模块：使用 `uint32_t` 定义颜色模块，这样便可以 `void programname (uint32_t c, uint8_t wait)` 这样调用程序，不用每次都输入颜色模式使得程序更加简洁。`uint8_t wait` 代表延时。

下面为部分颜色控制代码：

```

uint32_t Wheel(uint16_t WheelPos)
{
    byte r, g, b;
    switch(WheelPos / 128)

```

```

{
    case 0:
        r = 127 - WheelPos % 128;    //Red down
        g = WheelPos % 128;          // Green up
        b = 0;                        //blue off
        break;
    case 1:
        g = 127 - WheelPos % 128;    //green down
        b = WheelPos % 128;          //blue up
        r = 0;                        //red off
        break;
    case 2:
        b = 127 - WheelPos % 128;    //blue down
        r = WheelPos % 128;          //red up
        g = 0;                        //green off
        break;
}

return(firstStrip.Color(r, g, b));

```

在不同的运行模式下调用的颜色模块选项，这样可以增加运行模式的变化种类。处于灯带性能考虑，主要显示的颜色是红、绿、蓝、白、黄等颜色，经过测试，这些颜色的显示效果最好，颜色最为鲜艳饱满。

目前市场上的 LED 灯带多为单色，用于标记显示或作为衬托底色使用。即使可以变色，但变色内容单调。如果使用了这个颜色控制模块的方式，只需要了解一些混色配色原理，便可以搭配任何颜色，并且显示效果平滑、完整。颜色变化也没有明显的突兀感。

4.2 流水显示模块

颜色确定比较容易，但如果需要增加流水显示模式的的话，则需要加一些延时效果。首先定义灯带的数组。之前提到过这款灯带是 1 米 36 灯，则灯组组为 3 灯 12 组。那对于流水的累加减的上限都是 12，并且只有达到峰值后才可进行流水显示。流水正向运行的方式是将所有灯组都关闭后（令 R、G、B 都为 0），从第 0 组开始，一步步给各组灯带颜色赋值。直到灯组数 i 达到既定值。反向运行则是将

每组灯的 R、G、B 三色逐步赋 0 值。

算法主要步骤：

- 1、确认所需显示的灯组颜色：void programname (uint32_t c, uint8_t wait), 调用所需程序颜色。
- 2、熄灭所有灯组随后依次点亮：for (int i=0; I < firstStrip.numPixels(); i++)。如果 i<灯组总数的话，i++。
- 3、全亮后依次熄灭：firstStrip.setPixelColor(k, 0);当 k<灯组数的话，k++。之后一直在点亮与显示中做循环。流水显示模块流程图如图 4-3 所示。

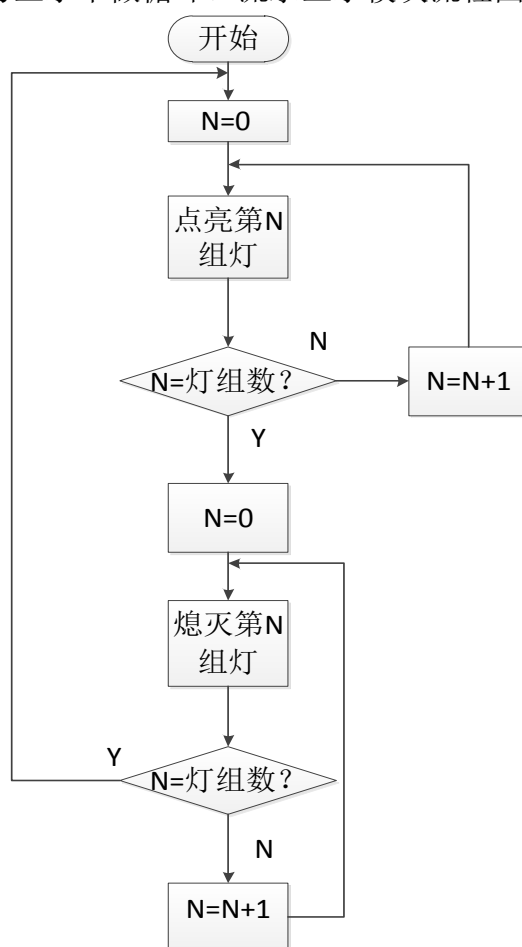


图 4-3 流水显示模块流程图

下面为流水显示主要代码：

```

void specialRunningLight(uint32_t c, uint8_t wait)
{ Serial.print("specialRunningLight ()");
  lightAction_dyn = lightAction;
  int first;

```

```
if (first != 0)
{
    Serial.print("first != 0");
    for (int i=0; i < firstStrip.numPixels(); i++)
    {
        firstStrip.setPixelColor(i, 0);
    }
    firstStrip.show();
}
else
{
    getSignals();
    for (int i = 0; i < firstStrip.numPixels()/2 && lightAction_dyn ==
lightAction; i++)
    {
        int pos = firstStrip.numPixels() -i;
        firstStrip.setPixelColor(i, c);
        firstStrip.setPixelColor(pos-1, c);
        firstStrip.show();
        delay(wait);
        getSignals();
    }
    lightAction_dyn = lightAction;
    for (int i=0; i < firstStrip.numPixels(); i++)
    {
        firstStrip.setPixelColor(i, 0);
    }
    firstStrip.show();
    getSignals();
    for (int i=pixSize; i >= 0 && lightAction_dyn == lightAction; i--)
    {
        firstStrip.setPixelColor(i, c);
        delay(wait);
        firstStrip.show();
        getSignals();
    }
}
```


流水显示在本项目中主要运作于开关门以及欢迎模式。但主要的难点其实是在 RGB 颜色测试这个流程内，需要红、绿、蓝三原色交替反复的进行跑马显示这个不仅仅使用到了流水显示模块，同时也结合了颜色显示模块。在完成这段程序后，其他的类似程序也就迎刃而解了。流水显示效果目前是灯带厂家所偏好的运行方式，也是大家所比较熟悉的显示效果。但目前多数用的是汇编语句编译，不仅冗长并且不利于与其他灯带效果组合。

并且使用这种语句方式并不能将灯带的明灭效果与颜色变化很好的结合在一起。但如果使用 arduino 的语句编译，控制则变得简单很多。因此，如果以后有更复杂、更多变幻的灯带效果需要实现的话，arduino 要比传统的汇编单片机更加方便、有效。

4.3 百分比显示模块

由于灯带的长度限制，因此我们只能做到 25%、50%、75%、100%这四个模式。但是相对于灯带流水效果来说，百分比的显示方式要简单的多。只要事先计算好灯的数量（主要是灯组的数量）然后决定是哪部分的灯亮何种颜色即可。给灯带模块数赋值，为了避免浮点数，因此我们需要将所计算得到的数据减一。然后让这些灯全部闪烁绿灯即可（set rgb 0.0.255）。

算法主要步骤：

- 1、确认指令信号：if (lightAction == callednumber)使主程序可以成功调用改指令。
- 2、计算所需要点亮灯组个数：pixSize = (12 / X) - 1 这里的 X 根据所调用程序的不同而变化。
- 3、确认点亮颜色：programname(firstStrip.Color(255/setBright(), 0, 0, 1000))。

百分比显示主要代码：

```
for (int i = 0; i < 500 && lightAction_dyn == lightAction; i++)
{
    lightTest = 0;
    pixSize = (12 / 4) - 1;
    sameColorBlink(firstStrip.Color(0, 0, 255 / setBright() ), oozz);
    runningLightup(firstStrip.Color(0, 0, 255/setBright()), oozz);
    pixSize = 11;
}
```

```
if (lightAction == 10)
{
    pixSize = (12 / 2) - 1;
    sameColorBlink(firstStrip.Color(0, 0, 255 / setBright() ), ooZo);
    pixSize = 11;
    delay(1500);
}
if (lightAction == 11)
{
    lightTest = 0;
    prozRun = 1;
    pixSize = ((12 / 4) * 3) - 1;
    sameColorBlink(firstStrip.Color(0, 0, 255 / setBright() ), ooZo);
    runningLightup(firstStrip.Color(0,0,255/setBright()),ooZo);
    pixSize = 11;
    prozRun = 0;
    delay(1500);
}
if (lightAction == 12)
{
    lightTest = 0;
    prozRun = 1;
    runningLightup(firstStrip.Color(0,0,255/setBright()),oooo);
    sameColorBlink(firstStrip.Color(0, 0, 255 / setBright() ), oooo);
    delay(1500);
} }
```

百分比显示流程图如图 4-4 所示。

百分比显示是所有显示程序中比较容易的，只需要确认所需点亮的灯组数以及颜色即可。不过如果被应用到了菜单模块的话，和信号控制部分结合在一起，便会引出新的控制内容。如何将百分比显示、程序引用、无线控制结合在一起，成为了本次程序之中一个比较关键的部分。具体在下文描述。

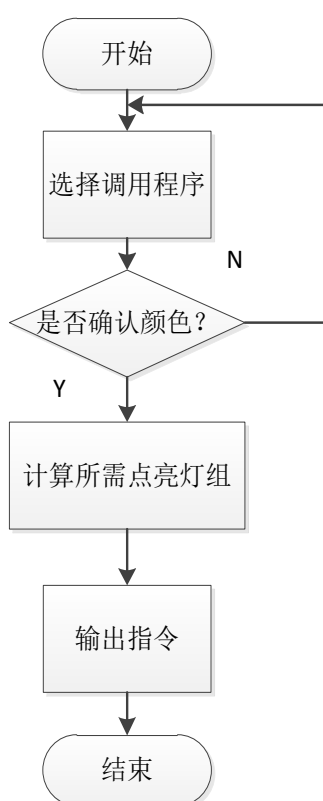


图 4-4 百分比显示流程图

4.4 信号控制

本次选择的无线方式为红外线信号通讯，所使用的器械为三足的红外线接收器以及苹果公司的 Apple Remote。红外线接收器是一种可以接收红外信号并能独立完成从红外线接收到输出与 TTL 电频信号兼容的器件，体积和普通的塑封三极管差不多，适合于各种红外线遥控和红外线数据传输。红外线接收器的特点：1、小型设计；2、内置专用 IC；3、宽角度及长距离接收；4、抗干扰能力强；5、能抵挡环境干扰光纤；6、低电压工作；7、红外线接收器的结构对外只有三个引脚：Out、GND、Vcc；8、与单片机接口非常方便。它是集成红外线接收 PD 二极管、放大、滤波和比较器输出等的 IC 模块。红外线接收头分类通常可以按频率分为 36, 37.9, 40, 56.7Khz 可按不同需求选择使用不同频点^[45]。红外接收头，不再制作接收放大电路，这样红外接收头简化了电路。发射系统：目前在市场上有很多种电子器件可以实现红外信号的发射，可以根据要求选择发出不同种类的编码来选择不同的器件。红外信号发射系统一般不用自供电，这就对该器件的功耗要很低，将电子器件做成休眠状态，只有信号传输或者开始供电时才进行运作。使用这种方式，便能够减少功耗芯片内晶振体所需要的乃物理的撞击能力，所以，按照这

个要求的话就不可以选择普通的石英晶体，一般来说，更多的是使用陶瓷共鸣器这一产品。该产品的准确性并没有上面说的石英晶体高，但这些差距在使用的过程中如果没有太精密的要求的话一般可以忽略。这样，数据经过红外的发光二极管发射出去，它的内部材料和一般的发光二极管区别还是很大的。首先，在正系那个导通电流时红外线二极管发出的并非可见光，其次，一般来说比较简易的方式反而是使用三极管的方式组成电路结构。考虑到正向电流以及反向的漏电流，要注意它的开关速度一定要快。通过法官二极管的电流越大，发射信号的强度就越高。因此一般通过的电流都在二极管最大许可电流范围内驱较大值。如果减少电流的话，遥控距离就会减小，关于这点凡是使用过家用遥控器的人都会有经验。Apple Remote 遥控器通过基于红外线(IR)的发射器进行操作。如果 Apple Remote 遥控器与接收器之间没有障碍物阻挡，它的最远操作距离可达 30 英尺（大约 9 米）。

算法主要步骤：

1、定义控制时的显示： `LPD8806 firstStrip = LPD8806(12, dataPinfirst , clockPinfirst)`；共 12 组灯，每组灯的亮、灭代表一种程序的选择。使用递加/递减法显示上/下程序的显示效果。

2、选择程序：定义 `int lightAction = 0`；当左右键移动时，不只灯带会显示亮、灭，`lightAction` 也会相应地加减数。但如果 `lightAction` 为 12 或 0 时，便不能再加或减。

3、确认程序：按下 Play 键后，程序会调用 `testALL Functions()`；这个子程序。随后根据 `lightAction` 的数值，选择相应的显示模式。Apple Remot——苹果遥控器实物图如图 4-5 所示。

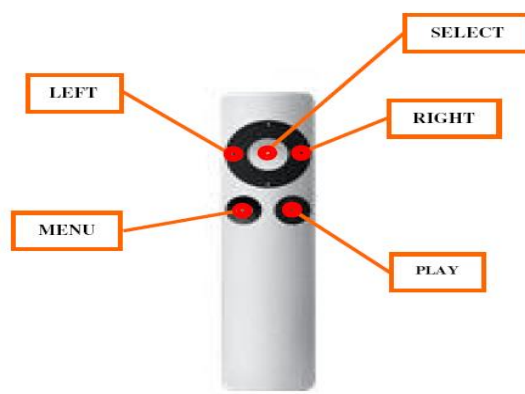


图 4-5 苹果遥控器

控制流程图如 4-6 所示：

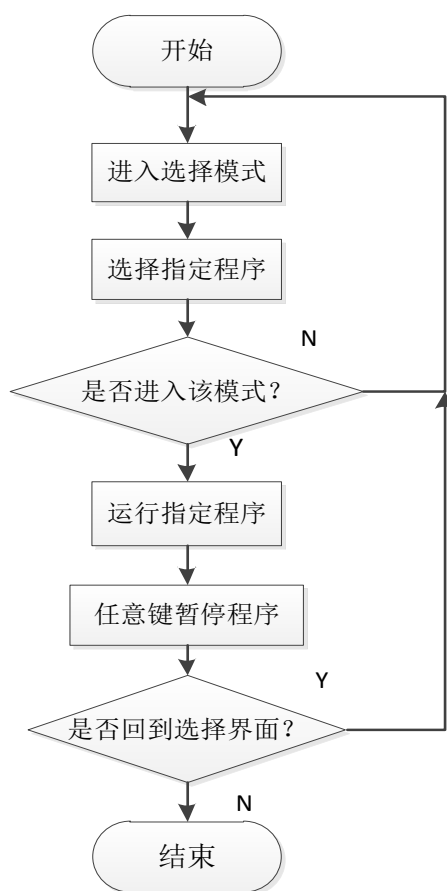


图 4-6 信号控制程序图

选择控制部分代码：

```
/* Menu button */  
if (IRcompare(numberpulses, AppleMenuSignal,sizeof(AppleMenuSignal)/4))  
{  
    Serial.println("PLAY"); // Turn all lights off  
    int onoff = 0;  
    for (int i=0; i < firstStrip.numPixels(); i++)  
{firstStrip.setPixelColor(i, 0);  
    }  
    firstStrip.show();  
    while (onoff == 0)  
{ delay(10);
```

```

    if (IRcompare(numberpulses, AppleMenuSignal,sizeof(AppleMenuSignal)/4))
    { onoff = 1; // onoff will be one when the menu button is pressed again
      } } }
    /* Play button */
    if (IRcompare(numberpulses, ApplePlaySignal,sizeof(ApplePlaySignal)/4))
    { Serial.println("PLAY");
      testAllFunctions();
    }
    /* Rewind button */
    if (IRcompare(numberpulses, AppleRewindSignal,sizeof(AppleRewindSignal)/4))
    {
      Serial.println("REWIND");
      subOne();
    }
    /* Forward button */
    if (IRcompare(numberpulses, AppleForwardSignal,sizeof(AppleForwardSignal)/4))
    {
      Serial.println("FORWARD");
      addOne();
    }
    delay(500);
  }

```

正如此段程序所展示的，当接收器感应到信号时，将所需要显示的灯组数从 i 变为 $i+1$ 。同时，将程序号也从 i 变为 $i+1$ 。这样既可以使遥控器可以自由在菜单模式下控制百分比显示，亦可以控制内部的程序数组，这样当按下确认键后，即可运行当前选择的显示模式。目前市场上的遥控技术，不管是有线遥控或者是无线遥控，尚未出现无需显示屏的遥控产品。或者是在遥控器上，或者外带显示屏。而本次课程设计的产物则可以脱离显示屏的捆绑，直接将菜单内容显示在灯带本体上。这样无论从经济角度还是技术角度来说，都远远降低了成本。

并且，好比一个人在看电视时不会注意自己遥控器的按钮是哪个，电视机告诉你刚才是哪个按钮信号被发送出的。从客户感官来说，“低头—选择—抬头”的控制模式也过于耗费精力。但这款无线灯带控制系统已经完全取消了显示屏概念，使得灯带控制变得更为舒适，有相当大的市场。

4.5 信号接收

红外接收头有三个引脚。用的时候将 VOUT 接到数字口，GND 接到实验板上的 GND，VCC 接到+5v 的正极信号。

将红外线接收器按照图 4-7 示的方式连接

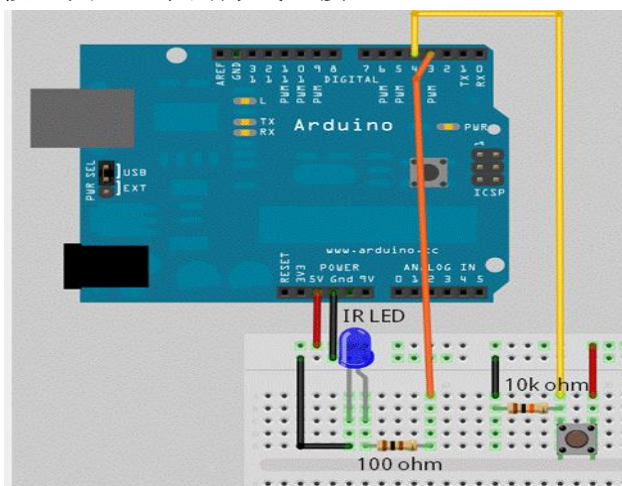


图 4-7 红外传感器安装方式

红外线发射器的接法如图所示，发射器的长脚要接到 pin 3 脚位，并且串接一颗 100 ohm 电阻，短脚要接到 GND 脚位。按钮则是一支脚接到 5V 输出脚位，另一支脚接到 pin 4 脚位，同时接一个 10K 电阻连接到 GND 脚位。arduino IDE 本来就有红外线 IRremote 的函数库，官网也可以下载的到。但是 arduino1.0 版本的不能直接用这个函数库，需进行修正。信号接收流程图如图 4-8 所示。

主要步骤：

- 1、对 IR 库进行修改补完。进入 arduino 文件夹，然后进入 libraries 文件夹，然后进入 IRremote 文件夹，修改 IRremoteInt.h。改完之后，不管是 Arduino 1.0 或 Arduino-0023 甚至更早期的版本应该都可以使用。随后，便可定义 `#include <IRremote.h>`。

- 2、定义指针引脚，启动红外解码：由于单片机直接连接红外线接收器，所以我们需要对引脚进行定义，`define IRpin_PIN, PIND irrecv.enableIRIn();`启动红外解码

- 3、收集红外信号：用 `int listenForIR(void)` 收集红外信号，分别有 MAXPULSE 65000，Numpulses 50，RESOLUTION 20 和 FUZZINESS 20，各自代表着菜单键、播放键和上下选择键。

- 4、定义各自按键的功能：首先使 `numberpulses = listenForIR();` 随后再各自定义 `if (IRcompare(numberpulses, PuttonSignal, sizeof(AppleMenuSignal)/4))`。这样便可以确认每个信号所代表的具体意义。

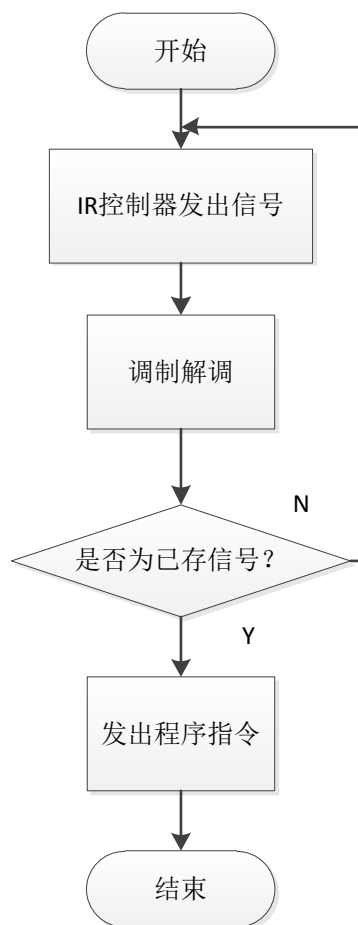


图 4-8 信号接收流程图

信号接收部分代码:

```

boolean IRcompare(int numpulses, int Signal[], int refsize) {
    int count = min(numpulses, refsize);
    Serial.print("count set to: ");
    Serial.println(count);
    for (int i=0; i< count-1; i++) {
        int oncode = pulses[i][1] * RESOLUTION / 10;
        int offcode = pulses[i+1][0] * RESOLUTION / 10;
#ifdef DEBUG
        Serial.print(oncode); // the ON signal we heard
        Serial.print(" - ");
        Serial.print(Signal[i*2 + 0]); // the ON signal we want
#endif
        if ( abs(oncode - Signal[i*2 + 0]) <= (Signal[i*2 + 0] * FUZZINESS / 100))
  
```



```
{
#ifdef DEBUG
    Serial.print(" (ok)");
#endif
}
Else
{
#ifdef DEBUG
    Serial.print(" (x)");
#endif
return false;}
int listenForIR(void) {
currentpulse = 0;
while (1)
{uint16_t highpulse, lowpulse;
highpulse = lowpulse = 0;
highpulse++;
delayMicroseconds(RESOLUTION);
if (((highpulse >= MAXPULSE) && (currentpulse != 0))|| currentpulse ==
NUMPULSES)
{ eturn currentpulse;
} }
pulses[currentpulse][0] = highpulse;
while (! (IRpin_PIN & _BV(IRpin)))
{ lowpulse++;
delayMicroseconds(RESOLUTION);
if (((lowpulse >= MAXPULSE) && (currentpulse != 0))|| currentpulse ==
NUMPULSES)
{return currentpulse;
} }
pulses[currentpulse][1] = lowpulse;
currentpulse++;
} }
```

4.6 亮度控制

关于输入输出端口，在使用 ATmega328 的 arduino 控制板上，选择其工作在 3, 5, 6, 9, 10, 11 端口。Arduino Mega 控制板，可以工作于 2-13 号端口。在更古老的基于 ATmega8 的 arduino 控制板上，analogWrite()命令只能工作于 9, 10, 11 号端口。在使用 analogWrite()命令前，可以不使用 pinMode()命令把端口定义为输出端口，当然如果定义了更好，这样利于程序语言规范。

语法：

analogWrite(pin, value) 参数

pin:写入的端口

value:占空比:在 0-255 之间。

算法主要步骤：

1、定义光亮度：首先，将原始的 100%亮度显示的情况定义为 1。它的光亮程度在算数上是 255。那么以 1/4 递减的话光亮度分别是 192、127 和 64。

2、定义输入端：将两个输入端定义为 bright1 变量和 bright2 变量。如果 bright1 为 1、bright2 为 0，将增加亮度。如果 bright1 为 0、bright2 为 1，则减少亮度。如果 bright1 和 bright2 同时为 1 或同时为 0，则不产生任何效果。亮度控制模块流程图如图 4-9 所示：

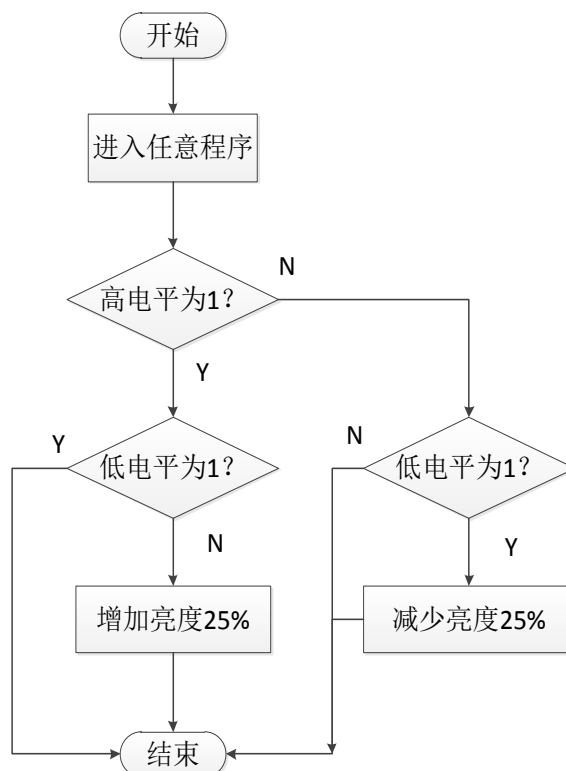


图 4-9 亮度控制流程图

亮度控制主要代码：

```
int setBright ()
{
    Serial.print("setBright ()");
    float bfac;
    bright1Var = 0;
    bright2Var = 0;
    if (bright1Var == 0 && bright2Var == 1)
    {
        bfac = (4.0/3.0) * brightFactor;
    }
}
```

便于计算方便，在程序内我们共设置了四个档次的亮度控制。但这并不表示它只能进行四档控制。实际上，在硬件实验中我们甚至做了一个旋钮开关来控制灯带亮度，并且可以完美的进行平滑亮度控制。不过由于本次课程设计的红外线遥控开关的条件限制，所以只是粗略的完成了该项目。

4.7 无线灯带与 PLC 的扩展

可编程逻辑控制器 PLC（Programmable Logic Controller）是专为在工业环境应用而设计的操作系统。实物图如图 4-10 所示。基本构成为：电源、中央处理单元（CPU）、功能模块、通信模块等^[37]。



图 4-10 西门子 S7-300PLC 模块

无线灯带的研究给我带来了新的启示。由于 Arduino 软件是开放性质的，如果需要进行修改的话，也是非常方便的。对此，我们进行了 PLC 与 Arduino 连接，效果非常理想。这款灯带的原本作用是用来在展会上显示公司器械的运行状态。在设计完无线灯带之后，我们产生了用设备 PLC 程序来控制灯带的想法。图 4-11 为 PLC 扩展流程图：

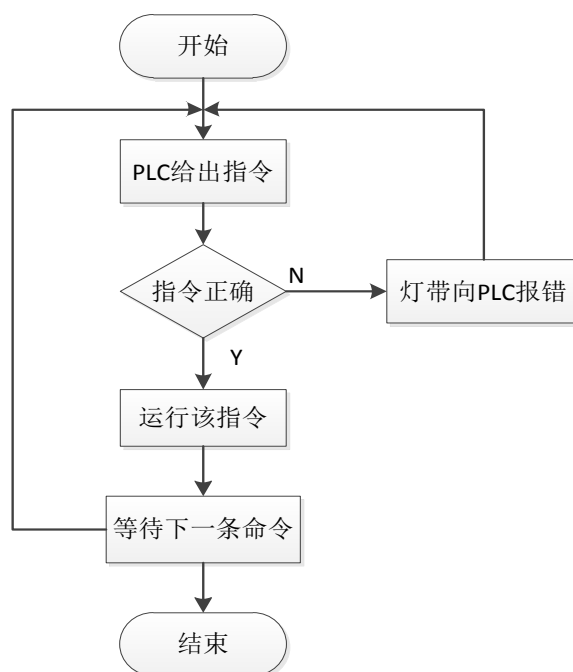


图 4-11 PLC 扩展功能

设计方式如下：将 4 位数字信号直接由 PLC 输出，有设备自身的程序来选择灯带的运行方式。定义 Digital Pin 10 至 13 为信号输入点。由 4 位信号的变换直接控制灯带颜色。

下面为部分程序代码：

```

void setup()
{ Serial.print("void setup () start");
  Serial.begin(9600);
  /* light strip */
  firstStrip.begin();
  firstStrip.show();
  /* input connection pins */
  pinMode (bright1Pin, INPUT);
  pinMode (bright2Pin, INPUT);
  pinMode (mode1Pin, INPUT);
  pinMode (mode2Pin, INPUT);
}

```

```

pinMode (mode3Pin, INPUT);
pinMode (mode4Pin, INPUT);
/* output connection pins */
pinMode (errormsgPin, OUTPUT);
/* initial states - global VAR */
mode4Var = digitalRead(mode1Pin);
mode3Var = digitalRead(mode2Pin);
mode2Var = digitalRead(mode3Pin);
mode1Var = digitalRead(mode4Pin);
mode4Var_dyn = digitalRead(mode1Pin);
mode3Var_dyn = digitalRead(mode2Pin);
mode2Var_dyn = digitalRead(mode3Pin);
mode1Var_dyn = digitalRead(mode4Pin);
bright1Var = digitalRead(bright1Pin);
bright2Var = digitalRead(bright2Pin);
/* watchdog */
Serial.print("void setup () end"); }

```

灯带显示效果简述					
状态			描述	信号	
1	无效命令		如果没有信号从 PLC 输入 mircocontroller 会报错	0000	
2	关灯		关闭所有灯组	0001	
3	灯	光测	试	灯光会进行黄绿红三中颜色循环跑马测试	0010
4	备用				0011
5	停机		“停机”表示设备并没做好运行准备不可以进行开机等措施		0100
6	待机		“待机”表示设备已经准备好运行，此时显示为黄色等常亮		0101
7	开门		只在设备维护门打开时运行，显示为黄色向上流水效果		0110
8	关门		只在设备维护门关闭时运行，显示为黄色向下流水效果		0111
9	报警		“报警”表示设备处故障，显示红色闪烁		1000
10	备用				1001
11	欢迎		“欢迎”在第一次开机时显示		1010
12	100%运行		“100%”表示设备运行周期结束		1011
13	25%运行		“25%”表示设备运行第一步		1100
14	50%运行		“50%”表示设备运行至一半		1101
15	75%运行		“75%”表示设备运行至最后一步		1110
16	99%运行		“99%”表示设备运行完所有步骤但仍未结束循环周期		1111

图 4-12 PLC 控制条件下灯带显示效果简述

举个例子，当 4 个输入信号的排列为 0100，则对应的设备条件是 waiting。灯带运行黄色常闪程序。PLC 信号控制下灯带显示效果如图 4-12 所示。

4.8 上位机与无线灯带控制系统接口设计

本次课程设计的上位机选择是 Dell 的笔记本。系统为 WindowsXP。使用软件是 Arduino-1.0。如果要将上位机与无线灯带控制系统进行接口通讯需要进行如下几步操作。

1、通过 miniUSB 连接 microcontroller。在用 USB 连接好之后，这块控制板式不用额外增加电源输入的。接着，如图 4-13 所示设置 PC 机的 COM 口。然后进入 Arduino-1.0 软件，进入“Tools→Serial Port→COM”设置正确的 COM 号。

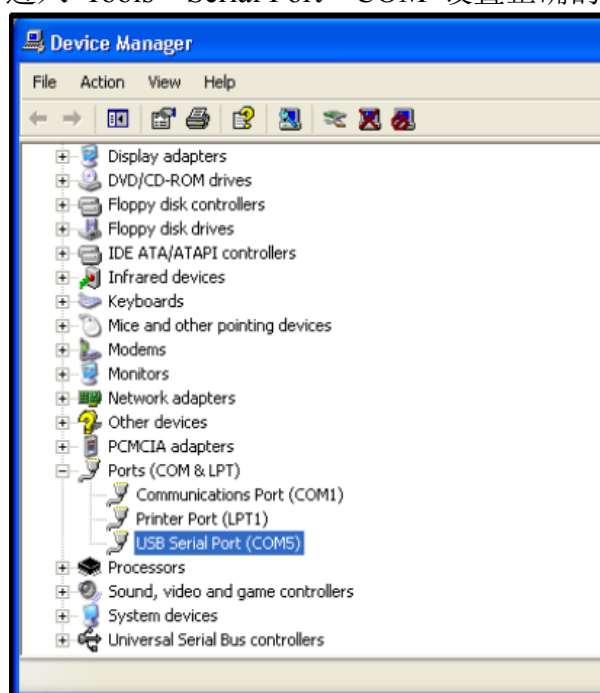


图 4-13 PC 机 COM 口设置

2、在 Serial Port 设置完以后，进入选择菜单“Tools→Board→Dueminalove w/Atmega 328”，如图 4-14 所示。由于 Dueminalove w/Atmega 328 这个库是 Arduino 自带的，不必特意下载。

3、一般而言，为了确保接口设置的正确，在一开始会选择一个特殊的测试程序对端口进行测试，看看连接是否通畅。因为如果有非正常连接配置的话，在实际的操作过程中可能会影响甚至损坏器件。因此，我们特意从写了一个为 Atmega 328 定制的测试程序。随后进入“Tools→Serial Monitor”之后，会显示一个监控框，如果出现如图 4-15 所示的“CONNECTION IS STABLE”字样，表明接口通讯成功，若不显示如下字样，或者显示报警，则表示接口连接失败，需重新配置连接方式。

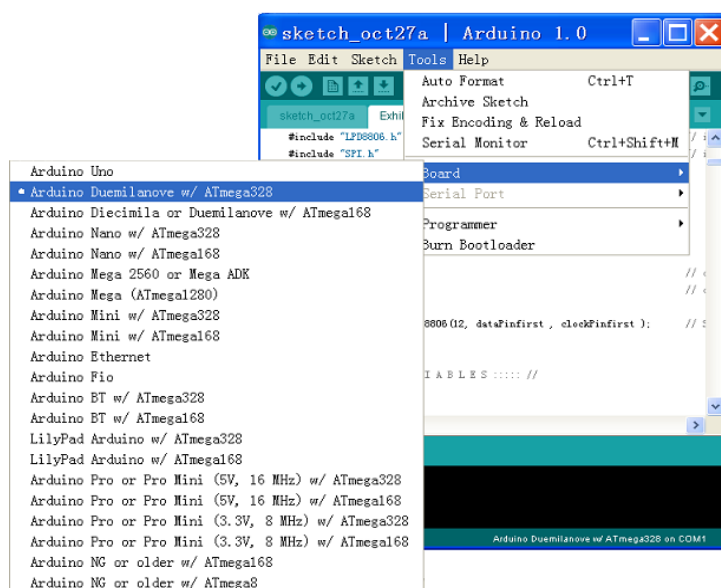


图 4-14 调用 ATmega328 库

在运行完程序之后，程序会向 Seeeduno 块每 5 秒发送一个信号，如果一切顺利的话，类似于 Ping 电脑上的 IP 地址，上位机也会从连接的芯片中接收到反馈信号。如果在指定时间内接收到的信号与发出信号数相同，则表明通讯完成。如果不能，则需要修改通讯方式。

下面为接口测试的程序代码：

```
#include "SPI.h"

void setup()
{ Serial.print
  ("| void setup () start |");
  /* communication (baud) rate */
  Serial.begin(9600);
  // Set up serial communication at 9600bps
  Serial.print
  ("| void setup () end |");}

void loop ( )
{Serial.print
  ("| void loop () start |");
  delay(5000);
  Serial.print
  ("| void loop () end |"); }
```

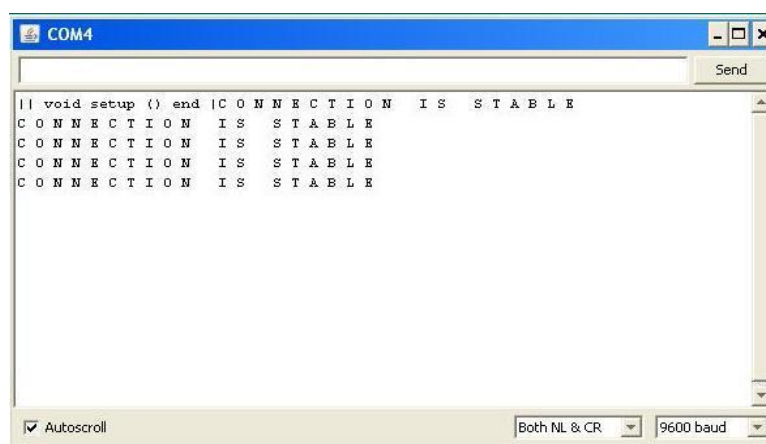


图 4-15 接口配置监控窗口

4、将一切配置完成后，打开原始程序，进行红外线数据信号采集。还是和上一步一样，进入“Tools→Serial Monitor”。进行红外信号监控，如果可以如图 4-16 显示出有红外信号反馈，则表明红外接收部分成功。如果不能，考虑到在实验过程中已经烧坏几个红外接头，所以不仅要注意软件配置并且要关注一下红外接线方式。

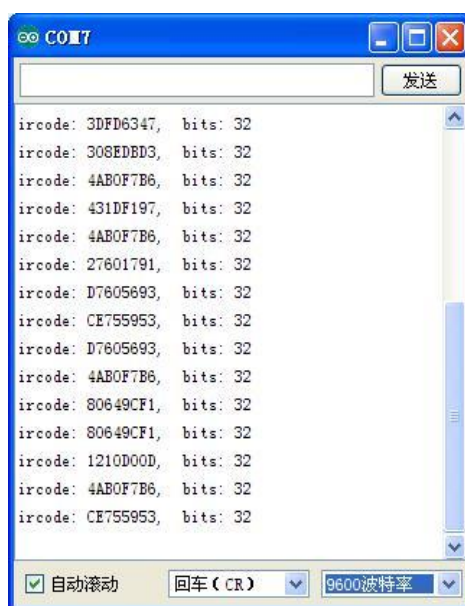


图 4-16 红外线信号采集监控窗口

最后，在正式准备进行无线灯带控制系统测试时，要进入“Sketch→Import Library→LPD8806”将灯带的芯片数据调入进去。如图 4-17 所示。如果不调用该库的话，则会出现通讯接口报警。

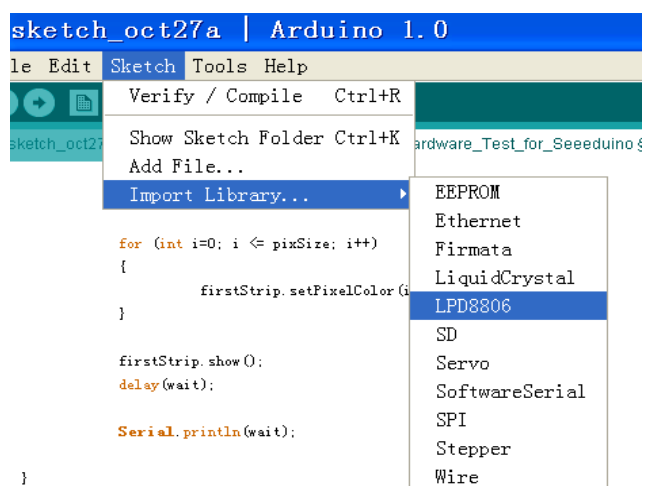


图 4-17 灯带芯片信号载入

4.9 本章小结

本章是整个论文的核心部分，详细介绍了无线灯带控制系统中各模块的设计与实现。处理了各个模块之间的逻辑关系。经过了长时间的准备与编码之后，基本解决了系统设计的各项关键技术问题。经过上述设计之后，基本上完成了无线灯带控制系统的开发并且完成 Debug 工作。下面对系统的各个功能模块进行测试。

第五章 软件测试

5.1 软件测试的目的

1、测试的含义

软件测试是软件质量保证的一种手段，使用人工或自动手段对系统运行或测试的过程，从中找出系统是否满足规定的需求；或是搞清预期结果与实际结果之间的差别。

2、测试的步骤

测试步骤详细规定了如何设置、执行、评估指定的测试方式。软件测试基本流程是：测试计划，测试需求分析，测试用例的编写，测试执行，测试结果的分析，一般软件测试流程如图 5-1 所示。

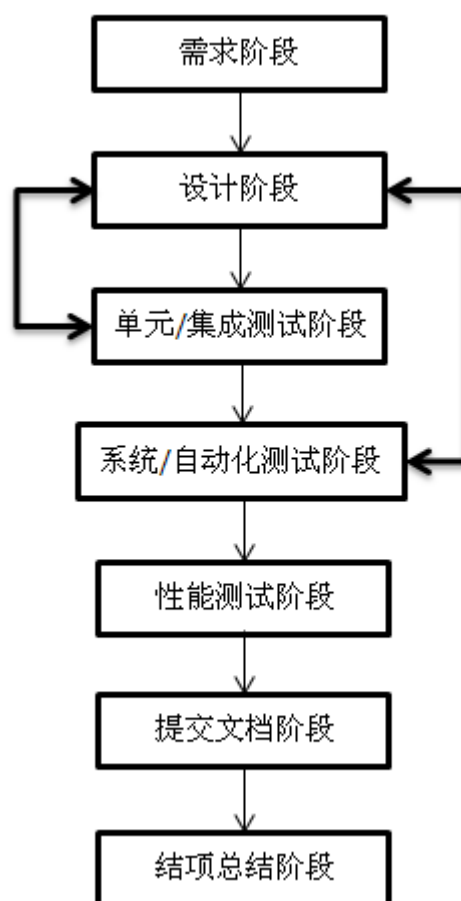


图 5-1 软件测试流程图

3、测试的目的

软件测试的根本目的在于发现错误；最终目的是在产品正式投产前，发现并解决程序内隐藏的错误以及存在的缺陷。在不影响程序的大体功能的情况下消除这些影响。当然，当错误或者缺陷已经过于巨大是，那时候我们便不得不消除部分功能来确保程序可以正常运行。一个好的测试在于发现了还未曾发现的问题。通过前面的技术介绍、和对软件的需求分析、系统功能设计与实现，对无线灯带系统各模块的功能进一步明确和细化，并最终完成了代码的编写。虽然通常设计得比较严谨，但是在程序的编译过程中仍然会出现瑕疵，这个问题在软件编译过程中较难避免。面对以上情况，我们将通过后续测试的环节给予纠正，反复修正程序与设计之间的偏差，达到最终设计目标。

4、测试的环境

本系统测试环境如下：

操作系统：MicroSoft WindowsXP 普通版 Service Pack3

测试环境硬件配置：Intel® Core™i5-2367M，4G 内存，

20G 以上的硬盘剩余空间。

测试平台：EcocbaseW3

测试方法：人工操作方式

测试工具：苹果红外线遥控器

戴尔笔记本电脑

LPD8806 灯带 1m

5.2 测试内容

5.2.1 颜色显示测试

主菜单和界面显示功能的测试，主要内容如表 5-1 所示。

测试步骤如下：

- 1、运行无线灯带测试系统，进入TEST CYCLE——即程序1。
 - 2、程序启动后，出现红-绿-黄反复跑马动作。其中颜色与信号要求保持一致。颜色测试效果如图5-2所示。
- 判断结果：灯带颜色正常显示
- 测试结果：通过。

表5-1 颜色显示功能测试用例表

项目:	无线灯带控制系统功能测试
分项目:	颜色显示功能的测试
测试目的:	测试无线灯带控制系统中的颜色是否正确显示
预置条件:	原程序已经编译完成并可以运行
测试步骤:	运行无线灯带控制系统，开始循环测试系统。
预期结果:	颜色显示与文档设计中的效果一致
判定原则:	测试结果必须与预期结果相符，否则不符合要求
测试记录:	灯带颜色是否正确显示（是/否）：是
测试结果（通过/不通过）:	通过



图 5-2 颜色控制测试图

5.2.2 流水效果测试

流水效果功能的测试，主要内容见表5-2所示：

表5-2 流水效果测试

项目：	无线灯带控制系统功能测试
分项目：	流水效果
测试目的：	测试系统的流水效果是否可以正常显示
预置条件：	灯带的每个灯组都可以正常运作
测试步骤：	选择开关门显示程序，欢迎显示程序。
预期结果：	流水运行效果与操作设计文档中的一致
判定原则：	测试结果必须与预期结果相符，否则不符合要求
测试记录：	流水效果能否正常显示（是/否）：是
测试结果（通过/不通过）：	通过

测试步骤：

- 1、选择程序4、程序5——即开关门显示程序。
- 2、灯带可以正常显示从上往下以及从下往上的流水显示模式。
- 3、选择程序7——即欢迎显示程序
- 4、灯带可以正常显示从中及外的波浪型流水显示模式。



图 5-3 流水控制测试图 1



图 5-4 流水控制测试图 2

流水显示效果如图5-3，5-4所示。

判断结果：

- 1、上下流水可以正常显示，与预期符合，通过。
- 2、从中及外的波浪型流水效果可以正常显示，与预期符合，通过。

5.2.3 百分比显示模块测试

百分比模块功能的测试，主要内容见表5-3所示：

测试步骤：

分别选择程序9、10、11、12，观察能否正确显示其所代表的百分比。



图5-5 百分比控制测试图 25%

表5-3 百分比显示模块测试内容

项目：	无线灯带控制系统功能测试
分项目：	百分比显示模块测试
测试目的：	测试无线灯带的百分比模块能否正常显示
预置条件：	灯带的每个灯组都可以正常运作
测试步骤：	选择百分比运行模式
预期结果：	排行榜显示与设计文档中的一致
判定原则：	测试结果必须与预期结果相符，否则不符合要求
测试记录：	能否正常显示百分比（是/否）：是
测试结果（通过/不通过）：	通过

百分比显示效果如图5-5、5-6、5-7所示



图 5-6 百分比控制测试图 50%



图 5-7 百分比控制测试图 75%

判断结果：可正常显示百分比，与预期符合，通过。

5.2.4 信号控制模块

信号控制模块功能的测试，主要内容见表5-4所示。

表5-4 信号控制模块测试内容

项目：	无线灯带控制系统功能测试
分项目：	信号控制模块测试
测试目的：	测试无线灯带控制系统能否正确进行信号控制
预置条件：	1、对遥控器进行初始化设置 2、红外线接收器连接完成
测试步骤：	对遥控器的各个控制按钮进行测试
预期结果：	遥控器的各个按钮功能与设计文档中的一致
判定原则：	测试结果必须与预期结果相符，否则不符合要求
测试记录：	能否正常使用遥控器进行控制（是/否）： 是
测试结果（通过/不通过）：	通过

测试步骤：

- 1、按上下选择键，灯带可以随着选择键的变化进行上下灯组的移动。
- 2、按播放键灯带可以进入指定选择的程序进行模式显示。
- 3、任意键可以暂停程序。
- 4、菜单键可以返回选择界面（如果是在程序运行时，菜单键需要按两次，第一次是暂停程序）。

判断结果：控制器功能正常，与预期符合，通过。

5.2.5 信号接收模块测试

信号接收功能的测试，主要内容见表5-5所示。

表5-5 信号接收模块测试内容

项目：	无线灯带控制系统功能测试
分项目：	信号接收模块
测试目的：	测试无线灯带控制系统信号能否正常接收
预置条件：	1、对遥控器进行初始化设置 2、红外线接收器连接完成 3、另一个不同型号款式的红外线遥控器
测试步骤：	先使用苹果红外遥控器进行控制，接着使用其他型号的红外控制器尝试控制。
预期结果：	控制方式与设计文档中的一致
判定原则：	测试结果必须与预期结果相符，否则不符合要求
测试记录：	能否正常接收已设定的红外信号并拒绝其他信号（是/否）：是
测试结果（通过/不通过）：	通过

测试步骤：

- 1、使用苹果遥控器对灯带进行程序控制，效果正常。
- 2、使用夏普遥控器对灯带进行尝试控制，并无效果。

3、使用苹果遥控器所未设置的按钮对灯带进行尝试控制，并无效果。

判断结果：灯带可正常接收已设置信号，并可屏蔽未设置信号，与预期符合，通过。

5.2.6 亮度控制测试

亮度控制功能的测试，主要内容见表5-6所示。

表5-6 亮度控制测试内容

项目：	无线灯带控制系统功能测试
分项目：	亮度控制
测试目的：	测试无线灯带控制系统中能否正常控制亮度
预置条件：	进入亮度控制系统
测试步骤：	将两个输入接口分别输入 01 10 11 00 等信号
预期结果：	亮度控制与设计文档中的一致
判定原则：	测试结果必须与预期结果相符，否则不符合要求
测试记录：	能否正常进行亮度控制（是/否）：是
测试结果（通过/不通过）：	通过

测试步骤：

在bright1VAR和bright2VAR两个接口中分别输入不同的高低电平，当bright2VAR为1，bright1VAR为0时，亮度降低25%。当bright1VAR为1，bright2VAR为0时，亮度提升25%。初始亮度为最高亮度，无法继续提升。

判断结果：灯带可正常进行亮度控制，与预期符合，通过。

5.2.7 PLC 扩展测试

PLC扩展功能的测试，主要内容见表5-7所示。

测试步骤：

在选择西门子6ES7-2AG10-1AB0的CPU，将PLC的Output与Micocontroller进行连接，以4位输入进行编码，使得这4位信号与红外线控制信号等价，从而进行控

制。

判断结果：PLC可以正常控制灯带，与预期符合，通过。

表5-7 亮度控制测试内容

项目：	无线灯带控制系统功能测试
分项目：	亮度控制
测试目的：	测试 PLC 能否控制灯带
预置条件：	西门子 PLC S7-300
测试步骤：	由 PLC 发出指令信号，看灯带能否正常显示
预期结果：	显示效果与设计文档中的一致
判定原则：	测试结果必须与预期结果相符，否则不符合要求
测试记录：	能否正常进行 PLC 控制（是/否）：是
测试结果（通过/不通过）：	通过

5.2.8 问题测试

在本系统的完成过程中，遇到了很多问题，主要表现在无线灯带程序的控制逻辑、模式设计、无线通讯等方面。

（1）控制逻辑问题

本程序的逻辑并不复杂，由于本系统主要通过调用已经封装好的方法来实现各项功能，所以代码的逻辑关系也不复杂。但对于要理清它们之间的关系，也不是一件容易的事情。在测试过程中，出现过灯带死循环、频闪灯问题。解决方式如下：

- 1、测试颜色程序，尤其是颜色范围。
- 2、检查延时逻辑。在测试的过程中，部分程序如流水效果等出现的是频闪效果，经过检查，是忘加了延时程序。使得流水效果显示过快，实际效果类似于频闪。
- 3、确认跳出程序，有部分模块里的跳出程序并没有太好的完成，使得程序始终在在走死循环。增加跳出程序后解决该问题。

（2）接口通讯问题

在上位机与无线灯带控制系统进行通讯时，有的时候会产生部分问题。如果出现了如图5-8所示的报警信息，表示Seeediuno没有信号反馈，需要进行以下几个步骤来消除报警：

- 1、检查microcontroller板上的Auto Reset Switch.按钮，此按钮必须要拨至A_RST位置。或者在上载程序后要手动Reset一下。
- 2、检查Serial Port是否设置正确，可能是COM口位置不对造成。

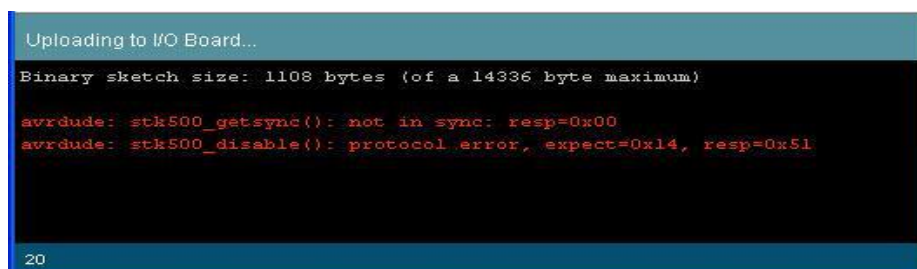


图5-8 接口报警1

- 3、检查驱动以及引导程序有没有预先安装，如果没有的话需要重新设置。如果出现了如图5-9所示的报警则要注意：

- 1、是否选择了正确的BOOT。
- 2、可能芯片损坏或者驱动失效。
- 3、可能COM口过多引起了Serial Port无法识别等。

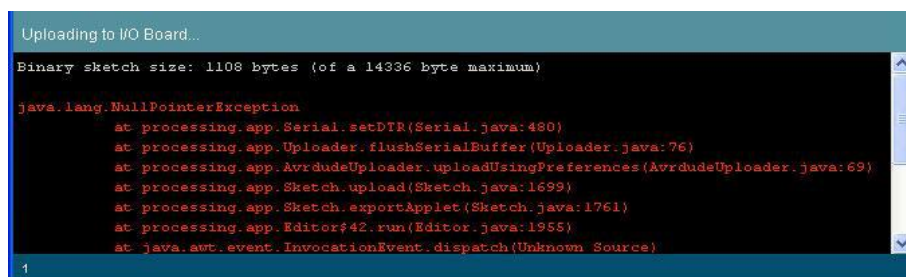


图5-9 接口报警2

（3）模式设计问题

一共有几种模式，各个模式都代表什么含义这个问题一开始并没有明确的概念，因此在一开始的程序设计中做了许多的无用功。很多动作有重复操作的现象。

（4）无线通讯问题

无线通讯是本次设计的主题，但最初的设计经过并不理想。这次是用的苹果牌红外遥控器虽然外形突出但实际的功能也的确过于复杂，其中牵扯到许多有关通讯方面的问题，超出了我的能力范围。因此本来很多可以扩展的功能便不得不舍弃掉。信号处理故障如图5-10所示

之所以出现这些错误，主要有以下几个原因：

1、知识体系不完善

很多时候，书到用时方恨少，在编程过程中，这种感觉尤其明显。以碰撞检测为例，很多书上就讲述了精灵碰撞，在实际进行碰撞检测的时候，情况复杂，感觉无从下手。



图5-10 信号处理故障

2、缺乏编程技巧和经验

在学习Arduino程序制作的过程中，虽然阅读了较多书籍，在论坛上也和其他人探讨了许久，但这方面的图书大多不能透彻讲述开发过程中遇到的实际问题。从软件的安装，插件的安装，Arduino的正确使用，再到程序的编写，最初走了许多的弯路。

3、对于硬件问题缺少解决经验

由于本次毕业设计是基于具体硬件功能进行设计，一切的目的都是为了实现无线灯带控制的功能。而在完成软件部分之后，怎样具体通过硬件连接的方式检验软件部分是否成功则成为了一个问题。如图所示的信号处理故障，实际原因其实是地线不共地的原因。但由于对这方面知识的不熟悉，反而从软件方面浪费了很多时间。

4、不够细心

由于书写代码时出现各种偶然错误，加大了程序调试的难度，编程习惯不好，导致在编程时有时不声明变量，有时搞不清楚变量到哪去了等问题。只有更加细

心，书写规范，才能少出错。

5.3 本章小结

本章描述了进行系统测试的过程，展示了部分运行效果图，通过了初步测试，程序运行基本正常，最后对于在测试中出现的问题进行了分析，以期能对本系统进行进一步的改进和提高。

第六章 结论

6.1 归纳总结

无线控制系统做为之中有效的控制手段，正在越来越受到人们的重视。在曾经的工业生产中，不管是机器的启动，还是系统的关闭。都采用的是有线控制，需要人亲自到控制中心进行手动的操作。给工业生产的进步和效率的提高带来了限制。随着科技的不断进步，这样的控制必定会被先进的所取代。因此遥控控制系统的产生，给工业带来了新的革命。它极大的方便了工业的控制生产。而灯带，也从一个普通的饰品逐渐地转化成工业上的一份重要的产品参数。与传统的灯带控制相比，本系统在以下方面具有一定的新意与创新。

首先，无线的控制系统在控制方式上，脱离了带线控制的束缚。红外线传输是目前使用最广泛的一种通信和遥控手段，由于红外线遥控装置具有体积小、功耗低、功能强、成本低等特点，因而，在家遥控和控制传输中普遍采用。无线红外技术最大的优点就是带宽大，甚至要超过其它几种主流无线技术，这就意味着采用红外无线技术的音频产品可以不用压缩来传输大容量的音频信号，可以满足更高码率格式的运行。

其次，在软件的选择上，**Arduino** 比其他的控制软件更加具有通用性以及延展性。开放源代码的电路设计，程序开发接口免费下载，也可以按照需求自己修改。使用低价格的未处理控制器，可以使用 **USB** 接口供电，不许要外接电源，也可以使用外部 **9VDC** 输入。无论从软件硬件来说，**Arduino** 都比其他的微型单片机入门门槛低，便于上手操作。

第三，在显示状态的选择修改上，由于编译环境简单，可以直接把从串口发来的程序放到 **flash** 区中。所以，使用 **Arduino** 编译环境下载程序是，就先让单片机复位，启动 **Bootloader** 程序引导串口发过来的程序顺利写入 **flash** 区中。**Flash** 可以重复少些，因此想更新软件非常的方便。

虽然将无线控制系统引入于灯带系统具有许多的优点，但就目前的测试效果来说，仍然具有许多不尽如人意的地方。

第一，在测试过程中，经常有干扰的情况。这个干扰并不是由红外线产生的，而是这块板子上的接地端容易受到干扰。这样的话就在控制以及显示色彩的时候形成误差。

第二，在控制距离上，空旷的室内中，遥控距离可以达到 9 至 10 米。但是如果增加了一些阻碍物的话，信号的通讯就会变得非常差。

6.2 心得体会

对于我来说,能够完成这个毕业设计,付出了很多的艰辛和汗水。由于 Arduino 是一项新技术,身边没有能够掌握这项技术的同事和朋友,虽然找了一些参考书,但有些书在基本的问题上却讲得不透,不合适自学,很多操作过程也是一笔带过,看得云里雾里。其中 Arduino 中文社区对我起到了很大的帮助作用。那里的技术之间的交流,信息之间的兑换都是和 Arduino 一样具有开放、互助的精神。通过社区的帮助,让我可以以一个 Arduino 菜鸟的身份完成这次毕业设计。

通过这次的毕业设计,我最大的收获就是在做一件事情的时候,一定要有恒心,有毅力,要有克服困难的决心和勇气,成功没有侥幸,胜利只属于那些不屈不挠,持之以恒,锐意进取的人。

致 谢

时光飞逝，转眼我在电子科技大学的学习生活已经接近尾声，这段时光成了我终身难忘的记忆。在导师朱金奇的关怀和悉心指导下，我顺利地完成了毕业课题及论文的撰写，朱老师渊博的学识和丰富的实践经验、严谨的治学作风、勤奋的工作态度和谦逊的为人给我留下了深刻的印象，将是我永远的学习榜样。近年来，朱老师给我创造了很多的锻炼机会并细心指导，倾注了大量的心血，在此，谨对朱老师致以最真挚的谢意。

感谢我班内的所有同学，他们在我的论文写作过程中提出了许多宝贵的建议和意见。感谢这三年来在学习生活上给我热情帮助的同学们。真诚的感谢你们！

感谢答辩组对本毕业设计的考核，如果可以得到专家的认可将对我的学习和工作给予极大的鼓励。你们客观的评价和建议我将牢记在心，在今后的扬长补短，更加严格的要求自己。

参考文献

- [1] 李剑心. 基于单片机的红外线发射器[J]. 科技信息, 2006, (05): 131-23.
- [2] 陈有甫. 红外辐射红外器件与典型应用[M]. 北京电子工业出版社, 2004, (03): 23-16.
- [3] 袁永明, 邓大文. 无线电遥控技术 [M]. 上海教育出版社, 1978: 17-14.
- [4] Mills, Evan. The Specter of Fuel-Based Lighting. Science. 2005, (308): 1263-1264.
- [5] Raúl Rojas, Ulf Hashagen. The First Computers: History and Architectures. MIT Press, 2000, : 262-5.
- [6] Kamal.R. Microcontroller. Machinery Industry 2009
- [7] Massimo Banzi, Arduino Software Release Notes. Arduino Project, 2011, (12): 51-17
- [8] Henderson. Roy. Wavelength considerations. Instituts für Umform- und Hochleistung, 2007, : 1-18
- [9] 赵健衡. 基于单片机控制的红外线遥控器设计[J]. 电脑知识与技术, 2009, (01): 128-7
- [10] 李剑心. 基于红外线音频信号接受遥控系统的设计与研究[J]. 价值工程, 2011, (16): 261-17
- [11] 陈明. 2012-2016 年中国遥控器产业最新调研及市场投资前景分析报告[M]. 报告信息调研 2012 349-25
- [12] 王伟生, 郑小真. 红外遥控在节能和无线操作方面的应用[J]. 红外技术. 2006, (04): 42-02
- [13] 郑小真. 利用现有遥控器实现节能和无线操作系统的设计[J]. 光机电信息. 2005, (11): 131-15
- [14] 霍际伟, 李成, 胡晓明, 林纾. 光载射频信号的产生与接收技术研究[D]. 北京邮电大学. 2009, (1): 57-2
- [15] 曾聪. 红外技术的现状和未来[J]. 光电新闻. 2008, (1): 38-12
- [16] 陈明. 世界传感器市场分析[J]. 传感世界. 2010, (1): 29-7
- [17] Byrnes, James. Unexploded Ordnance Detection and Mitigation. Springer. 2009: 21-22.
- [18] 刘小敏. 2012 中国传感器市场研究报告[J]. 2012, [1]: 278-14
- [19] 施文康, 余晓芬. 检测技术. 机械工业出版社. 2010, (4): 31-11
- [20] 周炯盘. 通讯网络理论基础. 人民邮电出版社. 2009, (1): 12-6
- [21] Shannon, C. E., & Weaver, W.. The mathematical theory of communication. Urbana. Illinois: University of Illinois Press. 1949, 32-3
- [22] Roy M. Berko, et al.. Communicating. 11th ed. Boston, MA: Pearson Education, Inc. 2010, 9-12
- [23] 苏长赞. 红外线与超声波遥控 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1997

- [24] 张玉香.新型遥控接收模块 HS0038 [J].无线电, 1998, 7
- [25] 肖景和.实用遥控电路 [M].北京: 人民邮电出版社, 1998
- [26] 李钟实.实用电子报警器精选百例 [M].北京: 科学技术文献出版社, 1999
- [27] 高茹云.通讯电子线路 [M].西安: 西安电子科技大学出版社, 1999
- [28] 刘振海.单片机原理及应用技术.北京: 高等教育出版社, 2003, 1
- [29] 沈红卫.单片机应用系统设计实例与分析.北京:北京航空航天大学出版社, 2002
- [30] 原东昌.李晋炬.通信原理与电路实验指导书.北京:北京理工大学出版社, 2000, 3
- [31] C.M. Lin, Y.J. Mon. "Fuzzy-Logic-Based Guidance Law Design for Missile Systems" [A]. Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Control Applications. Kohala Coast-Island of Hawaii. USA. 1999: 22-27.
- [32] B M Mohan, Arpita Sinha. Analytical structure and stability analysis of a fuzzy PID controller[J]. Applied Soft Computing. 2008, 8: p749-758.
- [33] 吴国经主编.单片机应用技术[M].北京: 中国电力出版社, 2004
- [34] 周航慈.单片机应用程序设计[M].北京航空航天大学出版社, 1991
- [35] 潘立民,王燕芳.微型计算机控制技术[M].北京: 人民邮电出版社,1990
- [36] 杨凌霄.微型计算机控制技术[M].徐州: 中国矿业大学出版社.2006
- [37] 陈汝全.实用微机与单片机控制技术[M].成都: 电子科技大学出版社,1995
- [38] 李红飞. 蓄电池参数自动检测系统的研究 [J].大连: 大连理工大学硕士论文,2007
- [39] 陈江. 移动式多功能智能控制器的研究与设计[J].陕西: 西安电子科技大学硕士论文,2006
- [40] 姜元治. 便携式设备中串行红外收发系统 [M].北京: 传感器世界,2007
- [41] 徐颖,胡晨,姚国良. 手持终端设备中基于对象交换协议的红外传输功能的设计与实现 [M].北京: 电子器件,2007
- [42] Zaheer Uddin , Tudoroiu. Neuron PID tracking control of a discharge air temperature system [J]. Computers and Chemical Engineering. 2008, 32: p218-229.
- [43] Ali M.H, Murata T, Tamura J, The Effect of Temperature Rise of the Fuzzy Logic-Controlled-Braking Resistorson Transient Stability. IEEE Transactions Power Systems. 2004, 19(2): 1085~1095.
- [44] M Mahmoud, K Dutton, M. Denman. Design and simulation of a nonlinear fuzzy controller for a hydropower plant[J]. Electric Power Systems Research. 2005, 73: 87-99
- [45] Dr E. W. Cannon, Survey of Modern Methods of Data Processing. Proceedings, Annual Logistics Conference, No. 4 held in Washington, D.C. 16-19 Mar 1953, 4: 12-23