

中山火炬职业技术学院

科研项目结题报告

项目名称：基于 ZigBee 的无线智能照明系统应用研究

项目类型：二类项目

负责人：杨立宏

联系电话：13246032981

所在系部：电子工程系

立项时间：2016.10.10

结题时间：2018.09.07

一、项目基本信息

申 请 验 收 信 息	项目名称	基于 ZigBee 的无线智能照明系统应用研究		
	所在系部	电子工程系		
	项目负责人	杨立宏	联系电话	13246032981
	项目类型	二类项目	下达经费（万）	0.6
	联系电子邮箱	530815462@qq.com		
项目立项时间		2016.10.10	验收完成时间	2018.09.07
提供的 研究开 发成果 及形式	论文			

二、经费使用情况

项目到位经费(万)	0.6	
经费支出(万)	0.59996	
经费支出明细		
科目	经费支出	备注(使用说明)
实验材料费	0.4454	购买元器件, PCB等
办公费	0.06008	购买电脑配件
设备购置费	0.09448	购买灯具、模块板
合计	0.59996	

项目负责人签字:

财务负责人签字:

(并加盖财务公章)

三、项目实施工作总结报告

(一)、项目基本情况

1. 项目来源

该项目为中山火炬职业技术学院院级课题，项目是结合中山市灯饰产业以及智能化控制技术的发展趋势而进行申请并研究。

2. 立项背景

随着科技发展和人们对生活品质的追求越来越高，人们对建筑照明系统提出了新的要求，在满足基本照明需求基础上，还要求控制智能化、操作简单化、节能高效化的要求，传统的灯具照明已经无法满足人们的需求，智能照明由此应运而生。

智能照明利用物联网技术、有线/无线通讯技术、嵌入式计算机智能化信息处理以及节能控制等技术组成的分布式照明控制系统。实现对照明设备的智能化控制，具有灯光亮度的强弱调节、灯光软启动、定时控制、场景设置等功能，并达到安全、节能、舒适、高效的特点。采用智能照明控制系统不仅可以满足便捷控制、灯光效果等要求，而且由于可观的节能效果（节电可达 20%~50%）及光源寿命的延长（光源寿命延长 2~4 倍），又能在降低运行费用中得到经济回报，还能省去常规照明所需的大部分配电控制设备，大大简化和节省了穿管布线的工作量。此外，智能照明系统还有潜在的价值回报，如智能控制系统能使人们在舒适的状态下工作，从而保证了人们的身心健康，提高了工作效率。

智能照明就是要实现人与照明设备之间的互联互通，通信技术正是这种互联互通的桥梁。面对种类繁多的通信技术，从传统照明到智能照明，如何选择通信方式是摆在我们面前的首要问题。目前智能照明领域主流的通信技术包括 KNX、DALI、C-bus、电力载波等有线通信技术，Wifi、ZigBee、Bluetooth、Z-wave、Thread 等无线通信技术。有线通信技术比无线通信技术更可靠和安全，但是布线繁琐、施工困难，一小部分模块损坏可能影响系统的整体运转，扩展移动性也比较差。而无线通信技术具有全

自动组网、连接方便、随身控制、操作方便、拓展性强等诸多优点。在智能家居照明中，WiFi、ZigBee、Bluetooth、Z-wave、Thread 等无线通信技术成为主角。智能照明通信技术发展趋势如图 1 所示：

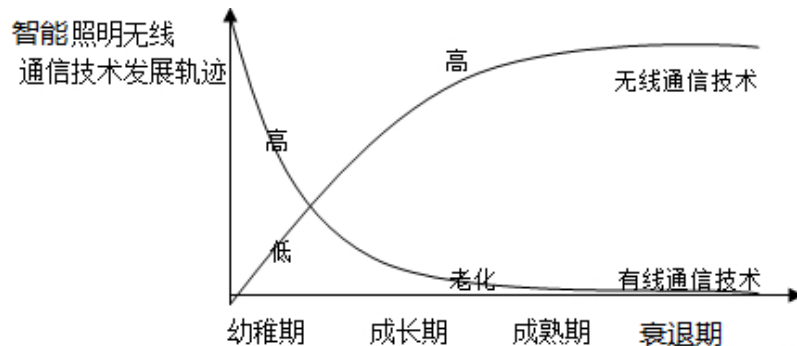


图 1 智能照明发展趋势

智能照明目前还处于幼稚期，正迈向成长期，未来进入智能照明行业的企业会越来越多，企业在无线通信技术研发上投入的资金和人力规模也会越来越大，将会推动各类无线通信技术的进一步发展，无线通信技术也会大面积取代有线通信技术。在智能照明发展的初级阶段，市场上出现了 WiFi、ZigBee、Bluetooth、Z-wave、Thread 等无线技术，未来，智能照明节能率比普通照明更高、成本不断降低、在消费者中的认知度也不断提升，其产品市场规模将逐年增长。

Wifi 在智能照明发展初期，因为普及率较高，又有无需网关的优点，但其功耗高、节点少，比较适用于单品和少数灯具，并不适用于大范围的智能照明，后期增长乏力。

蓝牙可实现固定设备、移动设备间的短距离数据交换，具有高抗干扰能力、高安全性、易配对等特色。2014 年蓝牙技术联盟开始推行蓝牙 4.2 标准，4.2 版本在针对连接速度、安全、联网三个方面做出了重要改进，使用蓝牙的智能照明产品数量也在不断增多。由于蓝牙传输距离短，节点数目少，功耗高限制了其部分应用。

Z-wave 在智能照明上的应用主要集中在家居照明，应用范围比 ZigBee 和蓝牙都要窄，增速相对较慢。

ZigBee 具有高保密性、强稳定性、低功耗、强大的组网能力，低成本的优势，是目前风头最劲、最受关注的无线通信技术，它适用于商业、工业、家居、道路照明等

众多领域。

各种无线通信技术的市场占有率如图 2 所示：

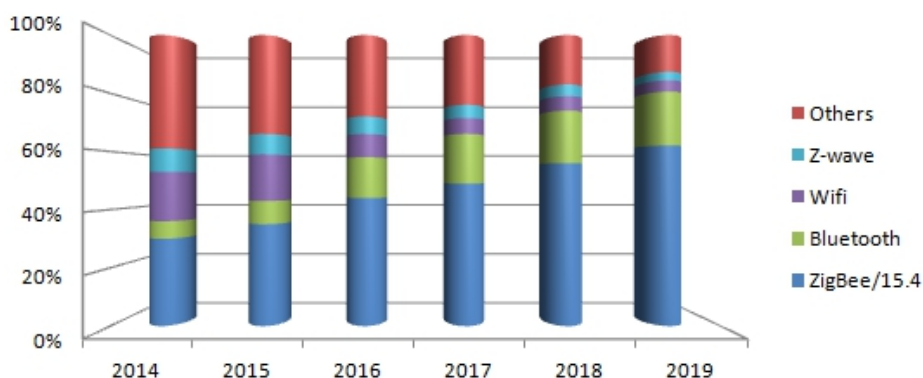


图 2 各种无线通信技术的市场占有率

从上图可以看出 ZigBee 的市场占有率在不断增加，也将会成为未来无线智能照明的主流。本项目以最新的 ZigBee3.0 协议为切入点，研究 ZigBee 在智能照明中的应用。

智能照明在近两年进入快速发展期，其已成为飞利浦、阳光照明、Belkin、欧司朗等厂商争相推广的新型产品。智能照明产品基本原理是用户对终端模块发指令，通过电子感应将信号传递给控制中心软件，借助控制器调节电路的电压和电流幅度，从而对光源强度、色彩进行调控。目前照明厂家主流方案为用户通过多种输入方式（控制软件、传感器、智能插座等）将数据传输到主控制器（网关），之后由主控制器通过 ZigBee 等网络协议实现对输出端（LED 灯）的控制。

目前智能照明产品没有统一的标准平台，导致市场产品呈现分散化、碎片化。现有智能照明系统的各部分之间，从控制平台、控制协议到光源产品都存在这个问题。对于传输控制协议，ZigBee 以其低功耗、低成本、安全快速等优点赢得多数照明大厂的青睐，成为其新产品所采用的网络协定。GE、飞利浦、欧司朗、东芝等大厂已经成立联盟主推 ZigBee 协定，有望成为未来行业的通用标准。

近几年，我国高层建筑迅猛发展，智能照明控制系统已经悄然进入我国建筑行业，上海金茂大厦、山东世界贸易中心等建筑都采用了智能照明控制系统。随着人们对照明质量要求的提高，智能照明将进入快速发展阶段。

智能照明相关需求保持旺盛增长，到目前为止，全国已有 500 多个“智慧城市”试点，每年仅智能照明产品需求就超过 2000 万盏。专家推算，未来几年中国 LED 光源市场将超过 1000 亿美元。而国内目前的照明市场渗透率仍低于 2%，因此市场前景值得期待。

智能照明的发展趋势：

1) 向家居领域渗透。随着国内智能照明研发生产技术和产品推广力度的加大，智能照明正在加速向家居领域扩展。

2) 注重以人为本。智能照明在发展初期，往往陷入对技术的盲目追求中，功能的叠加、猎奇心理的设置导致消费者体验不好。随着照明市场发展的成熟，以人为本的智能化照明研究将成为主流。开发高效、舒适、健康的智能化照明，满足不同个体的多元化需求。

3) 统一标准，实现互联互通。目前智能照明还未统一接口标准，造成不同厂家采用不同的接口和通信协议，不能够实现互联互通，给消费者带来麻烦，未来将会逐步统一标准，实现真正互联互通。

3. 研究内容

本课题主要研究以 ZigBee 无限传输组网的智能照明系统的设计与应用。本课题研究的智能照明系统主要由手持控制终端、协调器（网关）和若干个终端设备（LED 灯、传感器等），系统结构图如图 3 所示：

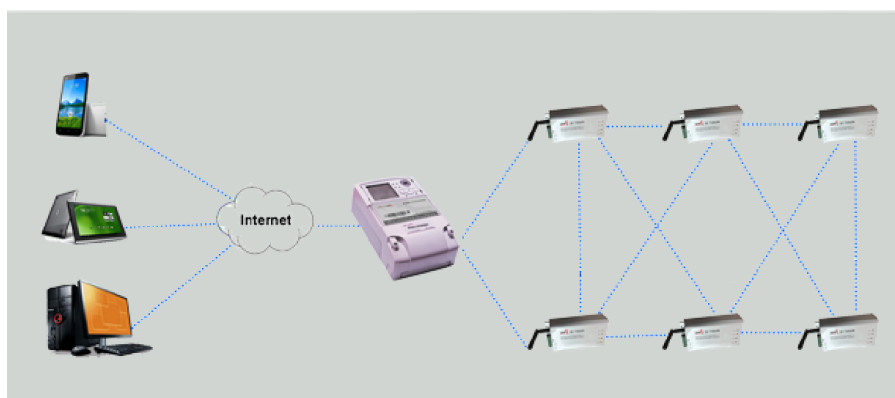


图 3 智能照明系统结构图

研究将从以下几个方面入手：

1) 设备终端节点设计。终端节点主要是接收来自协调器的指令、并根据这些指令执行相关的操作。对于ZigBee无线组网系统来说，终端节点理论上可以最多连接65536个。终端节点模块包括了光强检测模块、继电器控制模块和PWM输出模块。终端节点使用目前主流的芯片CC2530作为主控制器，光强检测使用光敏电阻传感器，继电器模块通过控制器的IO口来控制LED的开关，PWM模块则可以控制LED灯的亮度。设备终端主要包括硬件电路设计和软件设计两部分内容。

2) 协调器设计。协调器的两大主要功能是建立网络和进行网络管理。ZigBee协调器主要负责建立ZigBee网络、分配网络地址和维护绑定列表。协调器要接收移动终端的命令，并下传命令给终端节点。

3) 移动端操控软件设计。随着智能手机的发展，人们习惯用手机控制设备。手机端常用的是Android或者iOS的APP，最近几年HTML5则异军突起，其具有迭代速度快、兼容性强、传播途径广，用户使用成本低等优势。本项目也主要以HTML5为基础研究移动终端的操控软件。

本课题要重点解决的技术关键问题，主要包括三个方面：

1) 设备终端节点硬件电路及软件设计，在使用PWM对LED调光过程中，容易产生噪声以及调节极限时会出现亮度突变的情况。本课题将在硬件电路和软件设计上对PWM调光过程中出现的这些情况进行设计处理，解决噪声及亮度突变问题。

2) 协调器网关节点数量问题，实践证明，当节点数量在20个以上时，协调器就经常会出现接收丢包。因此要通过软件方法来识别数据包丢失的原因和信道情况，以便于方便增加节点，以满足工程设计需要。

3) 移动控制终端软件设计，软件界面采用HTML5进行设计，但由于HTML5对硬件支持能力弱，因此底层硬件驱动和软件界面设计接口设计上要进行协调。

4. 项目的特色和创新之处

1) 协调器网关所匹配节点数量可任意扩展，解决数据传输中丢包问题，可任意的

增加或者删减节点数量，并保证数据传输的可靠性。

2) 移动控制端采用HTML5进行设计，兼容性强，用户使用成本低，提高了用户体验，并结合底层硬件驱动，提高HTML5对硬件的兼容性。

5. 技术指标

单个节点最大功率： $\leq 100\text{W}$ ；

系统光效： $\geq 63\text{Lm/W}$ ；

电流谐波： $\leq 10\%$ ；

终端节点数量： ≥ 50 个；

(二)、项目执行情况

1. 研究方法

调查研究法：

在课题申报前期及课题立项后，通过对市场上现有的智能照明产品进行调研，分析现有智能照明产品的技术现状以及发展趋势，从而确定本项目所采用的技术及研究路线。

比较研究法：

目前智能调光无线通信方式主要由蓝牙、WIFI和ZigBee几种，蓝牙传输距离短，WIFI应用广泛，已经基本普及到每个家庭，ZigBee则具有低功耗和自组网的优势，对于家庭对于某些场景需要灵活的组网，因此最终选取ZigBee作为终端。

实验研究法：

在大致研究方案确定后，通过大量的实验对硬件和软件不断进行修改和优化，最终能够达到预期效果。

2. 技术路线

1) 对终端节点实现调光及传感器数据采集，借鉴现有的调光方案，对PWM调光

硬件电路进行改进，并加以软件处理，解决 PWM 调光过程中突变及噪声问题。

2) ZigBee 节点通信是整个系统的关键部分，在多个节点设备和协调器通信时，检测丢包情况，根据实际测试，找到丢包原因，从而在软件上进行处理，减少丢包的发生。

3) 手机终端软件设计，协调器和手机通信一般采用 Internet 进行连接，无论是采用通用的互联网的有线或者无线方式，都可降低设备成本。对手机底层硬件进行编程驱动，并结合 HTML5 实现界面编写和调试。

3. 遇到的问题及采取的措施

1) PWM 调光过程中会有频闪现象，并且 PWM 占空比较低时频闪明显，经过查找资料和大量实验验证，调光频率超过 200Hz 后频闪现象基本可以解决，目前也已经出现了无频闪的专用调光芯片，后期方案中可以进行实验验证。

2) PWM 调光过程中的噪声问题，当调光频率在 200Hz~20kHz 范围内时，处于人耳的听觉频率范围内，由于 LED 驱动电路的电感和输出电容发出人耳听得到的噪声，查找后发现是 LED 驱动电路的电感噪声较大，通过修改 PWM 频率，将噪声降低到人耳基本听不到。

3) ZigBee 通信丢包现象，在测试过程中发现 ZigBee 经常会出现丢包，哪怕是点对点的通信也会出现丢包。经过查找资料，分析可能的原因是 WIFI 等无线信号的影响，于是将协调器上的 WIFI 信号关掉，确实丢包现象大大降低，但协调器必须要通过 WIFI 连接到服务器，协调器很小，WIFI 和 ZigBee 无法隔离的很远，而且协调器和路由器的距离也不可控。最后通过一种多通道 ZigBee 抗干扰算法降低了 WIFI 对 ZigBee 网络的干扰。

(三)、主要研究成果、创新点等

1、主要研究成果

本课题的主要研究成果如下：

1) 搭建了 ZigBee 智能照明系统，包括 ZigBee 终端、ZigBee 协调器和手机 APP 控制端。

ZigBee 终端：ZigBee 终端由 ZigBee 通信模块、STM32 处理器和调光电路组成。ZigBee 模块接收协调器发过来的控制信号和发送工作状态信息；STM32 处理器负责和 ZigBee 模块通信以及根据接收信号控制调光；调光电路通过过零检测和可控硅控制实现 LED 灯亮度的调节。通过调整工作频率降低了灯具的频闪现象。ZigBee 终端实物图如图 4 所示：



图 4 ZigBee 终端

ZigBee 协调器：ZigBee 协调器由 wifi 模块和 ZigBee 模块组成。wifi 模块可以方便的和手机等设备连接，进行命令及数据的收发；这里的 ZigBee 模块作为协调器，和终端进行通信，并将信息通过 wifi 模块进行转发。ZigBee 协调器实物图如图 5 所示：



图 5 ZigBee 协调器

手机 APP 控制端：APP 控制端主要作为人机交互界面，通过交互界面完成照明系统联网、人机交互以及灯具状态显示等。APP 控制端各界面如下图所示：



图 6 APP 登录页面



图 7 APP 控制页面

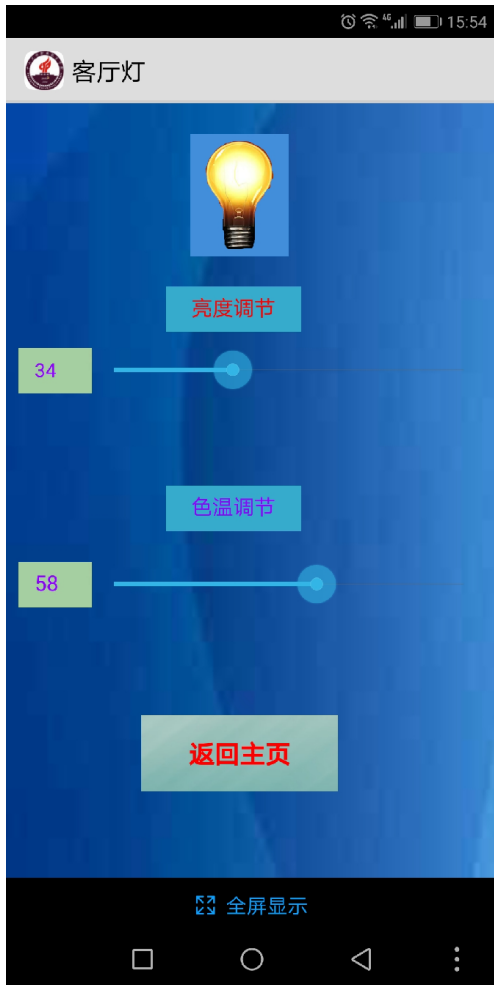


图 8 客厅灯控制页面

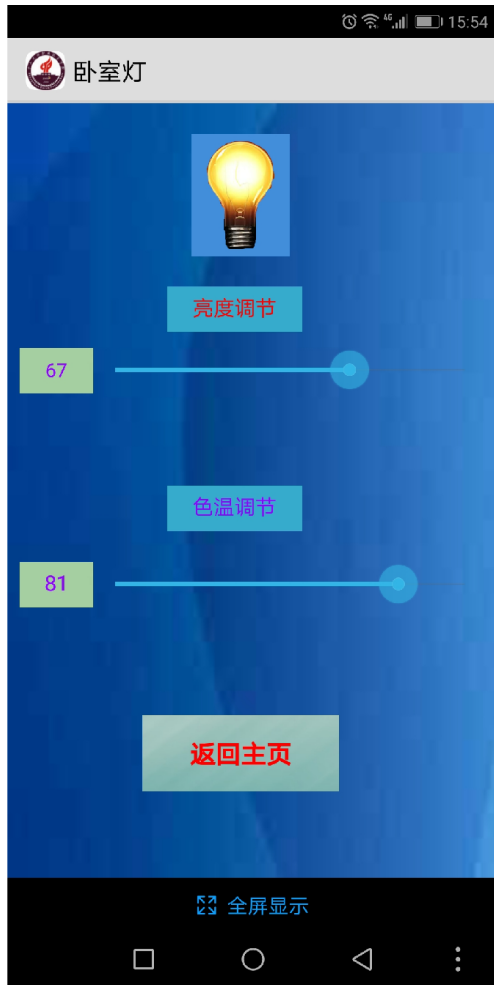


图 9 卧室灯控制页面

如上面四幅图，图 6 为 APP 控制端的登录页面，协调器的 WIFI 模块的 IP 地址为 192.168.4.5，端口号为 333，WIFI 模块作为服务器，手机 WIFI 通过 IP 地址和端口连接到 WIFI 模块，建立通信连接，进入到图 7 的主页面，主页面显示了所有终端节点，点击对应的图标进入到图 8 和图 9 等的页面进行对应控制，在该页面点击灯的图标可以打开或者关闭 LED 灯，在打开状态下可以拖动亮度调节下的滑块调节亮度，拖动色温调节下的滑块调节色温。另外如果手动开关对灯进行控制时，灯图标的状态也会随着开关的变化而变亮或者灭。

2) 通过多通道 ZigBee 抗干扰算法降低 WIFI 等 2.4G 无线网络对 ZigBee 的干扰，减少协调器的丢包率。由于 WIFI 等网络和 ZigBee 网络都工作在 2.4G 的频段，WIFI 工作频谱如图 10 所示，WIFI 在 2.4G-2.4888GHz 之间划分为 14 个信道，每个信道带

宽为 22MHz，ZigBee 工作频谱如图 11 所示，把 ISM 频段划分为 16 个信道，每个信道带宽为 2MHz，从图可以看出工作频率有重叠，在同时工作时会相互影响，从而出现 ZigBee 数据传输丢包的现象。为解决丢包现象可以通过 WIFI 和 ZigBee 分时工作的方式，避免相互干扰，但由于无线网络数据通信具有突发性，分时工作也会造成数据丢失的情况。本项目利用 ZigBee 的信道空闲评估（CCA）机制，启动干扰检测，对周围的信号干扰级别进行评估，如果认为 WIFI 信号干扰达到一定程度，则启动信道切换，避开 WIFI 信号的频率范围，从而降低 WIFI 对 ZigBee 的干扰，降低了丢包率，通过这种方式将丢包率从原来的 60%左右降低到 15%左右。

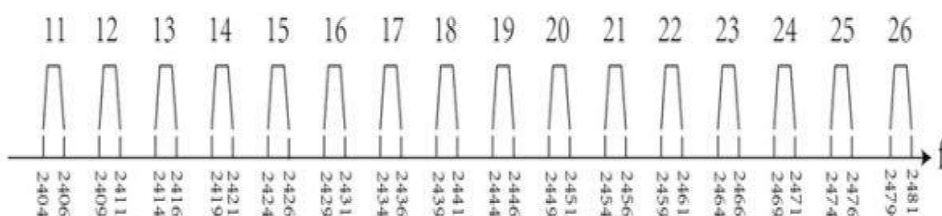


图 10 ZigBee 工作频谱

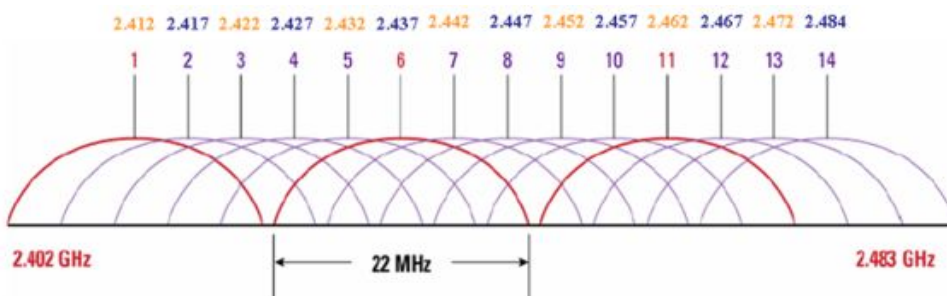


图 11 WIFI 工作频谱

（四）、申报书指标完成情况及推广应用情况

1、申报书指标完成情况

序号	研究内容	完成情况
1	设备终端节点设计。终端节点主要是接收来自协调器的指令、并根据这些指令执行相关的操作。对于 ZigBee 无线组网系统来说，终端节点理论上可以最多连接 65536 个。终端节点模块包括了光强检测模块、继电器控制模块和 PWM 输出模块。终端节	设计了设备终端节点，节点电路主要包括 ZigBee 终端模块、STM32 微处理器和可控硅调光电路。调光电路通过过零检测和可控硅控制实

	<p>点使用目前主流的芯片CC2530作为主控制器，光强检测使用光敏电阻传感器，继电器模块通过控制器的IO口来控制LED的开关，PWM模块则可以控制LED灯的亮度。设备终端主要包括硬件电路设计和软件设计两部分内容。</p>	<p>现 LED 灯亮度的调节。通过调整工作频率降低了灯具的频闪现象。</p>
2	<p>1) 协调器设计。协调器的两大主要功能是建立网络和进行网络管理。ZigBee协调器主要负责建立ZigBee网络、分配网络地址和维护绑定列表。协调器要接收移动终端的命令，并下传命令给终端节点。</p>	<p>设计了协调器，协调器主要包括 WIFI 模块和 ZigBee 模块，WIFI 模块可以和手机等移动设备进行通信，ZigBee 模块进行数据转发和终端节点控制。</p>
3	<p>移动端操控软件设计。随着智能手机的发展，人们习惯用手机控制设备。手机端常用的是 Android 或者 iOS 的 APP，最近几年 HTML5 则异军突起，其具有迭代速度快、兼容性强、传播途径广，用户使用成本低等优势。本项目也主要以 HTML5 为基础研究移动终端的操控软件。</p>	<p>移动端软件进行了设计，主要包括登录页面，通过 IP 地址和端口号连接到协调器的 WIFI 模块；主页面可以选择控制哪个房间的灯，4 个子页面为各个房间灯饰的开关控制、亮度和色温控制。</p>

2、推广应用情况

目前设计的智能照明系统为单一的局域网络，可以应用在实验室、家庭、办公室等场所，本项目目前只是将灯饰分成几组作为不同房间或者类别进行验证与测试。目前测试节点为 4 个，用在实验室照明系统中，经验证达到了项目预想功能，后期将在其它实验室继续进行改造，达到规模应用目的，为后期更大规模应用奠定基础。

四、系部意见

系部负责人签名：

(公章)

年 月 日

五、验收专家组意见

验收组成员			
姓 名	单 位	职务职称	签 名
验收组意见			
<p>提交的验收资料齐全，符合验收要求。</p> <p>1、该项目采用了 ZigBee 无线通信组网技术，开发了智能照明调光系统，该技术可以通过手机端的 APP 软件可以对家庭、办公场所的灯饰进行开关、亮度和色温的调节，方便用户对多种灯饰的移动端操控。</p> <p>2、该项目成果能够应用于家庭、办公、展览室等场所，目前已经成功应用于实验室灯光控制，智能照明调光系统可以通过调光系统改善人们的照明舒适度，节省电量消耗，能够产生良好的经济和社会效益。</p> <p>3、该项目成果</p> <p> 该项目完成后，撰写了报告和论文，并在实验室实际验证了多节点组网。</p> <p>项目验收组一致认为该项目经费使用合理，已经完成合同书各项指标，同意通过验收。</p> <p style="text-align: right;">验收组组长签字：</p>			

六、主管部门意见

学院科研管理部门审核意见

(公章)

年 月 日