

华中科技大学电子与信息工程系
2012 年 TI 杯电子设计大赛项目总结报告

Final Report



项目名称： 开放型实验室灵动助理

团队成员： 电信 0903 班 屠志晨

 通信 0901 班 袁永亮

 通信 0905 班 邹雨过

指导教师： 汪小燕

 2012 年 7 月 5 日

开放型实验室灵动助理

摘要

本文设计了一种应用于开放型实验室的一体化智能管理嵌入式应用系统，本系统综合运用了电器识别、射频识别、物联网应用、图像处理及互联网应用等技术。创新性地提出了包含节点感知层、节点汇聚层、本地接入层及业务承载层架构的实验室管理系统解决方案，将基于电流谐波的智能电器识别技术与灵活可靠的电子标签技术结合，实现对实验室仪器设备使用过程中的动态定位、运行状况的监控及用电行为的管理，并可通过远程预约与认证登记，高效地实现全体师生自主对开放型实验室仪器设备的使用。本设计可在不改动现有实验仪器结构的情况下，实现实验室仪器设备的安全可靠的信息化管理，为师生创造了一个自主、开放、独立的实验平台，具有较高的实用价值和广阔的应用前景。

关键词：物联网技术，开放型实验室，电器识别，RFID 技术

OPEN LABORATORY SMART ASSISTANT

ABSTRACT

We designed an integrated intelligent embedded system for open laboratory management. The integrated system uses electrical identification, Internet of Things applications, image processing and Internet applications and other technologies. We put forward an innovative architecture which contains sensing nodes layer, nodes convergence layer, local access layer and service bearing layer, and combine the appliances current harmonic recognition technology and reliable RFID technology. The system can achieve the appliance dynamic positioning and laboratory equipment state monitoring and managing. Students can remotely appoint and certificate of their experience, and order sets of laboratory equipment for their uses, thus enable a efficient usage of the open laboratory. This design will not change the structure of existing experimental apparatus, and achieve management to laboratory equipment reliability and security. The design will also produce an autonomous, open, experimental platform for teachers and students, with a high practical value and broad application prospects.

Key words: Internet of things, open laboratory, apparatus recognition, RFID

目 录

第一章 绪论	1
1.1 开放型实验教学的需求	1
1.2 高校实验室现状分析	1
1.3 强化管理的对策	2
第二章 系统功能描述及方案设计	3
2.1 系统功能概述	3
2.2 系统功能设计	4
第三章 系统功能模块设计	9
3.1 总体概述	9
3.2 感知层功能设计	11
3.3 网络层功能设计	26
3.4 应用层功能设计	29
第四章 系统功能测试	43
4.1 感知节点终端功能测试	44
4.2 感知节点控制器功能测试	46
4.3 感知节点中心管理器功能测试	47
4.4 本地服务器功能测试	50
第五章 系统特色及功能扩展	53
5.1 系统特色	53
5.2 已实现功能	54
5.3 系统的功能扩展	54
第六章 结束语	55
致谢	56
参考文献	57
附录	58
附录 1 硬件电路的设计	58
附录 2 硬件 PCB 设计	61
附录 3 软件核心代码	63

第一章 绪论

高等院校实验室是高等院校开展人才培养、科学研究和社会服务活动的必要场所。实验室的仪器设备是一种教育资源,是办学的物质基础和必要条件,它在一定程度上反映了学校的教学质量、科研水平和管理水平,也是学校实力的标志之一。当前,随着办学规模的扩大,各高等学校实验室建设的经费投入也不断加大,但因为管理体制、职能定位等多方面的原因,仪器设备利用率却有降低趋势。因此,如何提高实验室仪器设备的利用率,尽可能减少设备的闲置和浪费,充分发挥仪器设备的投资效益,是实验室建设与管理工作中的一项重要研究课题。

1.1 开放型实验教学的需求

目前,我国高校实验室建设投入已有较大增长,但实验、实训教学仍不能适应教学科研及社会对高层次、高素质人才的需求。传统的高校实验教学往往是附属于课堂教学,这种现象直到今天也没有彻底改变,这也是导致目前高校学生“高分低能”的主要原因。西方的现代实验科学方法引入中国后,中国的传统教育思想在慢慢的同化或异化下变质,西方以实验为根本建立的科学在中国逐渐演变为理论的“嫁妆”。为什么会出现这种现象,根本原因在于我们的思维模式出现了问题,因为我们太重视现有的理论,以至到了顶礼膜拜的地步,却忘了一个重要问题,那就是理论是怎么来的?如何改变现有的思维模式,让动手能力和思辨能力协调发展,这就是当今高校实验实训教学需要解决的问题。

瑞士著名心理学家皮亚杰认为,知识不是通过教师传授得到的,而是学生在一定的情景下,借助他们(包括教师和同学)的帮助,利用必要的学习资料,通过意义建构的方式而获得。基于这一理论,开放型实验室应运而生。开放性实验室,就是为实验教学、实验技术研究、科学研究提供必要条件,包括实验时间、实验仪器设备、实验场地、实验资料、实验指导人员等,部分或全部向实验者(包括本科生、研究生、教师、技术人员等)有目的地开放,从而为实验者完成某个实验项目提供服务。学生在开放性实验室这个创新活动基地内,能够充分发挥他们的想象力与创造力。对培养学生的创新意识、创新精神和开拓能力具有重要作用。

1.2 高校实验室现状分析

高校实验室是创新性人才培养和教学科研活动的重要基地。也是高校提升教学水平、科研水平和管理水平的重要载体。实验室管理体制是有关实验室及其活动的机构设置及其管理权限划分的制度。当前,我国高等学校实验室在管理思想、管理体制、管理方法和管理要求等方面存在一些问题,有关的规章制度仍未建立健全,相关制度没有能够随着学校的发展和实验室管理工作特点的变化而完善,虽有制度但没有得到切实执行,实验室管理的问题主要存在以下几个方面。

1.2.1 仪器设备管理

目前,高校实验室仪器设备管理与使用的主要问题存在以下几个方面:

(1) 仪器设备存在浪费

据一项调查显示,一般实验室设备的使用率为 30%~60%,而大型设备的使用率更低。多数高等学校实验室隶属院系(部门)二级管理体制,使各院系的实验室建设处于分割

状态，不能建立资源共享体系，依据实验项目而购置的仪器设备，随着课程的整合而被闲置；随着社会经济的发展，原来一些热门专业现在逐渐被冷落，招生的数量在减少，在购置仪器设备时，没有进行充分科学论证，购进之后，才发现用途不多，仪器设备不系统，导致仪器设备的闲置，造成不必要的浪费。

(2) 仪器设备存在老化、破损

仪器设备使用管理,往往存在着“重视使用,轻视维修”的倾向,其结果必然导致仪器设备存在损坏、老化等问题.尤其在部分高等学校基础实验室问题更加严重，实验室的仪器设备更新、维修经费投入不足，也缺乏设立明确的激励机制和改造实验仪器设备专项经费，还缺乏专门的、负责全院仪器设备的维修和保养机构，因此仪器设备无法改造、维修、更无法更新换代。

(3) 仪器设备流失严重

当前，随着我国高等学校教育事业的迅猛发展，实验室仪器设备的规模不断扩大，但仪器设备管理制度却不能同步完善，有些高校仪器设备管理制度流于形式，造成实验室的仪器设备流失相当严重。

1.2.2 开放安排管理

高校实验普遍根据教学大纲要求，安排实验项目、实验开放时间、实验分组及实验指导教师等。但这种模式比较严格，不够灵活，除了实验室按照正常教学计划安排的实验课程外，实验室一般不对外开放。但即便在空闲时段开放了实验室，也不能保证时刻有管理员提供必要的服务。

1.2.3 协同化管理

长期以来，由于受到管理体制与自身体系建设的影响，高校实验室大多是依附于院系教研室或实验中心存在。各实验室相对独立，缺乏协同化的运行机制，导致高校实验室资源极大的“隐形浪费”。这既不利于学科之间的渗透与交流，也不利于实验室仪器设备资源效益的充分发挥。因此，建立有效的运行机制，优化院系实验室资源的配置，加强院系之间的实验室资源协作与共享，充分发挥院系实验室资源在教学科研和人才培养中的作用，是当前急需解决的问题。

1.3 强化管理的对策

本设计正是基于如上所述的现状和分析，并以我们指导老师多年从事实验室教学与管理工作经历和艰苦探索，提出一套在开放式运行机制下，以物联网为依托，采用分布式管理的结构，实现对整个高校内实验室的信息化管理的解决方案。此系统在高等院校内设立实验室资源业务承载的中心平台，各个独立实验大楼子平台与中心平台之间通过信息交互及时进行实验室资源的调度与调配，全体师生可以根据自身的科研与学习的需要通过 WEB 服务实现资源共享。各个独立院系实验大楼设立本地接入网管理其范畴下的各个独立的实验室，各个独立实验室设立节点汇聚网管理实验室中每一台的实验设备。真正实现对每一台实验设备从购入登记到淘汰换代整个使用生命周期内，仪器工作时的动态定位和工作状态监控控制的统一化管理；并且面对开放化的要求，通过远程预约审核和认证登记，实现全体师生对实验室仪器设备的自主利用。

在信息技术高速发展的今天，信息化管理已成为高校实验室建设与管理工作中的重中之重，一直以来实验室仪器设备使用管理都是通过传统的人工管理，实验室仪器设备的使用状况难以数字化，更难以做到实时、有效的管理。本设计可在不改动现有的实验仪器内部结构的情况下，提供安全可控的实时在线监测、定位追溯、预案管理、安全控制、远程预约、认证登记、统计报表、决策支持、领导桌面等管理和服务功能，实现实验室仪器设备的高效安全管理，具有很强的实用性和广阔的应用前景。

第二章 系统功能描述及方案设计

2.1 系统功能概述

本系统主要针对开放运行机制下的高校实验室进行设计，依托物联网技术，采用分布式管理的结构，提出对整个高校内实验室仪器设备资源共享、自主利用、监控定位、安全控制、认证登记及统计报表的完整信息化管理解决方案，为无人值守的开放式实验室提供了一种可能性。为了适应不同实验室的仪器分布拓扑，同时考虑到成本的因素，系统设计兼顾了灵活性和可裁剪性，便于用户配置本系统到实际实验室环境。

系统整体结构框图如图 2.1 所示。整个系统为典型物联网系统的三层架构，从左至右分别是感知层、网络层、应用层。感知层通过电器识别与射频识别完成对实验室仪器设备工作时的动态定位、状态监控及安全控制。网络层通过有线通信及无线通信完成感知层数据自下而上正确有序的传递，并可根据实际实验室情况进行裁剪性配置，这样的设计有助于控制成本，提高信息传递效率，更有助于适应不同的实验室的仪器布置拓扑。应用层通过系统数据库进行记录入库和统计报表，为设备处工作站的管理人员提供良好的用户接口完成远程监测、在线管理、决策支持等功能，同时系统 WEB 服务器也为教师和学生提供服务申请，可自主完成对实验室仪器设备远程预约及可用资源的查看。

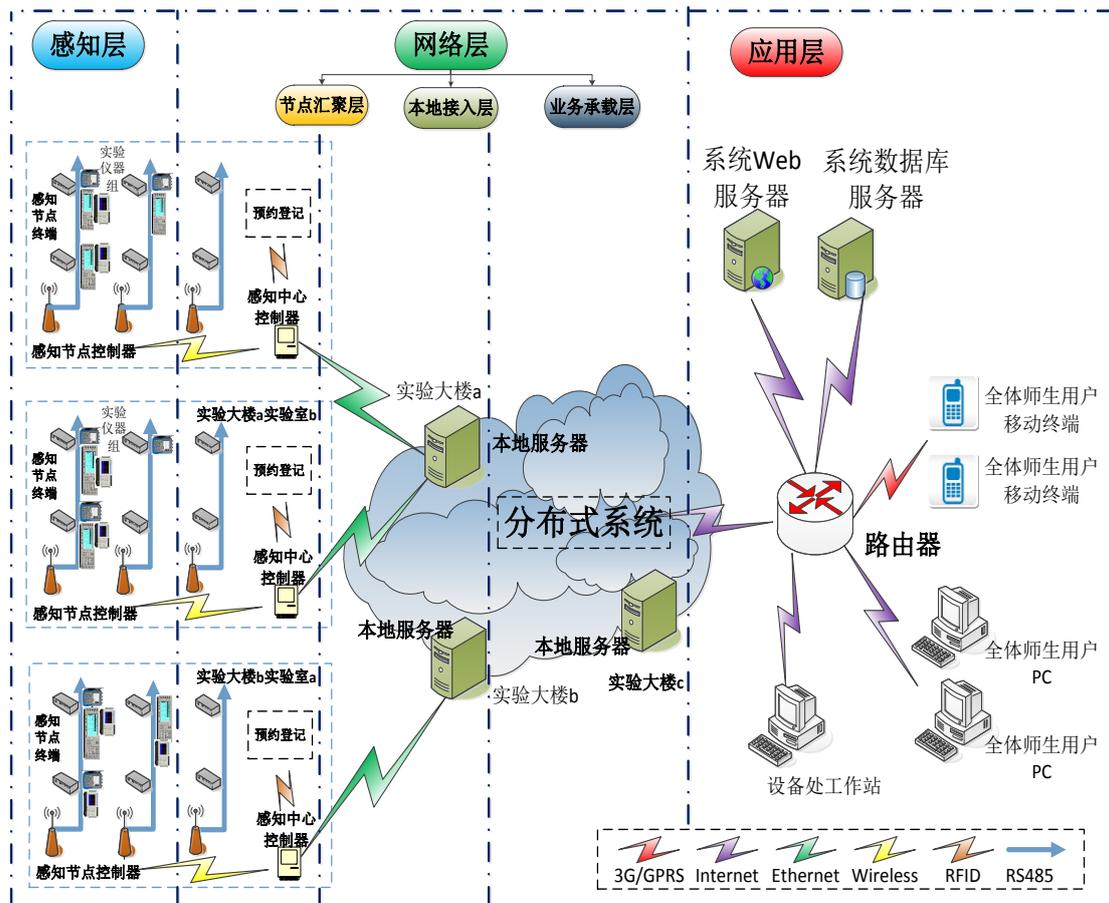


图 2. 1 开发型实验室灵动助理整体系统框图

具体来说，对与实验室仪器的管理，特别是开放式实验室的管理，最重要的是学生使用仪器的管理、仪器工作状态的管理和仪器位置的管理。因此，我们的系统设计拥有四个主要功能：

①仪器设备使用过程中的运行状况监控与控制

主要是用于检测仪器的工作状态，包括关机、工作、未连接等状态。在发生异常时或其它需要的情况下，可以自动发出命令或由管理员发出命令使仪器断电，以此来保护仪器。

②仪器设备使用过程中的动态定位

仪器设备在使用中可能会被移动，例如被搬移到其它实验室或相同实验室的不同位置，使仪器定位困难，管理员管理困难。本系统设计了一种仪器定位方法，帮助解决这种问题。

③学生预约仪器设备及管理监控

开放式实验室主要目的是让学生能更好的使用实验室资源。因此本系统设计了一套学生预约与签到的方法，在仪器使用效率和节能上都有很大的改进。

④实验室监控

开放式实验室人员出入复杂，常容易因为管理不善而造成仪器丢失。因此在实验室安设摄像头，并一体化合并到本系统中以便于管理。

2.2 系统功能设计

开放型实验室灵动助理系统定性为服务于管理部门和高校师生的实验室自治管理系统。层次结构如图 2.2 所示，在层次架构上整体可分为感知层、网络层和应用层。其中网络层可根据实际各个实验室情况进行可定制的裁剪性模块化配置，具体又可划分为节点汇聚层、本地接入层及业务承载层。



图 2. 2 层次结构图

2.2.1 感知层

感知层实现对实验室仪器设备工作时的动态定位、状态监控及安全控制的功能，并将信息交付到网络层，由网络层负责向应用层的传递。感知层实现的目标主要分为两个方面：

● 工作状态监控

感知层由感知节点组成，要实现对实验室中每一台仪器设备工作状态监控，即实现对通用电器识别，我们提出了两种方案：

■ 方案一

现行的通用电器识别方法在每个用电器的电源入口进行采样分析，监测用电参数。可实现对各个用电器识别和工作参数的统计，以完成对实验室中每个实验台上单个仪器设备工作状态的监控。

■ 方案二

通过对母线电流进行采样及谐波分析，提取用电器的特征参数；以模糊识别为基础，求解递归方程的方法实现对单个用电器、多个用电器的识别和工作参数的统计。以完成对实验室中每个实验台上的多种仪器设备工作状态的监控的。

■ 方案选择

对于高校实验室中配备数量较多的用电仪器设备而言，以华中科技大学电子线路设计实验室为例，实验室为按排布置从前至后排列，每一排布置四张实验台，每张实验台上包含信号发生器、直流稳压电源、示波器等仪器设备。如果利用方案一在每一台仪器设备电源入口进行监测分析，成本投入太大，且安装复杂，可行性较差；而利用方案二在实验室中每一张实验台的供电接口处进行母线电流谐波分析，通过模糊识别技术，监测供电接口上的不同种类的仪器设备的工作状态，可有效降低成本，布线安装简便。但对于价值贵重仪器设备需要一对一有效准确的监控管理，仍然可采用方案一。

● 动态定位跟踪

对于开放型实验室而言，为实现资源共享，仪器设备的借用和搬移是不可避免的，仪器设备可能搬移到同一实验室的不同位置或不同实验室，甚至可能出现被搬移到不同实验大楼的情况，因此为了准确实现对仪器设备的动态定位跟踪，我们提出以下两种解决方案：

■ 方案一

利用基于 ZigBee 无线组网通讯技术，搭建包含参考节点、盲节点及协调器的定位系统网络，根据盲节点接受参考节点讯号的接受讯号强度(RSSI)来判断盲节点所在位置的定位演算的方法来定位跟踪，故可在一定范围内搭建该系统，在各个实验室中设立若干参考节点，并在每台仪器设备上装配盲节点，可实现一定范围内对仪器设备的实时定位跟踪。

■ 方案二

利用 RFID 技术，读写器通过天线与 RFID 电子标签进行无线通信，实现对标签识别码和内存数据的读出或写入操作。具体可在仪器设备表面贴装具有唯一标识的电子标签，而根据实际实验室布置情况，根据定位的需求，可在实验室中每一排安置读卡器，也可在每一张实验台上安置读卡器，无论仪器异动的范围多大，用户只需完成刷卡操作即可定位。

■ 方案选择

仪器设备的动态定位跟踪可分为组粒度和细粒度的定位。方案一可实现在一定范围内实时物理定位，但需要安置大量的参考点，并且需要在每台仪器设备上配置盲节点，成本价格过高，也只能实现一种粗粒度的定位，对于异动范围较广参考点无法覆盖的情况，不能完成准确的定位；方案二则只需表贴电子标签，并且可根据定位的组细粒度安装读卡器即可实现逻辑定位，无论异动范围多大，用户只需简单的根据提示完成读卡操作即可定位。

➤ 感知层总体方案

本系统感知层利用智能电器识别技术和 RFID 技术完成感知节点的功能需求，设计以华中科技大学电工电子教学示范中心实验室实际情况为参考，实验室布置以排为分割单位，每一实验台为最小管理单位，我们具体又将感知节点划分为感知节点控制器和感知节点终端，感知节点终端定位在每一张实验台上，根据电器识别技术完成对每一张实验台上的仪器组的工作状态监控；感知节点控制器定位在每一排上，通过有线通信完成对此排上各个节点终端的数据汇总，并在感知节点控制器上定制读卡器，根据逻辑配对算法完成工作状态和工作位置的统计。

另外为了使管理员的管理更加便捷，还设计了手持式感知终端供管理员安全巡检选用。手持式中断的作用在于，可以辅助定位一些系统未能识别的仪器，使实验室在管理费用不足的时候能做到半人工半自动化的管理。

2.2.2 网络层

网络层围绕整个高校的实验室结构建立网络，负责连接感知层和应用层，完成信息的传递功能。网络层分为三个可裁剪子层，可根据实际需求大小灵活配置，分别是节点汇聚子层、本地接入子层和业务承载子层。网络层通常需要依赖于实验室的局域网或校园网。

➤ 节点汇聚子层

节点汇聚子层负责在下层感知层传递来的信息和上层下发的控制消息之间进行处理和转发，其对应的实际结构是感知节点中心管理器。感知节点终端完成对一组实验仪器工作时的动态定位和状态监测，而一个中心管理器需要管理一个实验室房间内的所有仪器，因此需要建立多个感知节点终端与中心管理器的通信系统，对此我们提出了两种解决方案：

■ 方案一

每个感知节点终端独立平等，中心管理器作为主机的一主多从的星形网络的通信方式。具体通过在每个感知节点终端和中心管理器配置无线通信模块完成数据的交互，但对于共享介质中的多路接入的通信过程，冲突避免是必须需要解决的问题，因此需要制定健壮稳定的通信协议。如轮询通信协议或者介质访问控制协议。当然也可采用 ZigBee 无线组网通讯技术，可在一定程度上封装底层通信协议，减小开发的难度。

■ 方案二

对于一般实验室内，实验室布置以排为分割单位，每一实验台为最小管理单位。上述已提到感知节点终端是负责完成对一组多个实验仪器设备的识别的工作，因此可将其定性为每一实验台的供电端；每一排之间是连续排列的，故可在每一排设立小型自治系统，先通过有线通信进行各个实验台的数据汇总，再将各个排上的数据通过无线通信发送至中心管理器。因此我们定义了“感知节点控制器”，并且根据组粒度的动态定位，可在感知节点控制器配备 RFID 读卡器，并且通过逻辑配对算法，完成仪器设备的逻辑定位。

■ 方案选择

对于仪器数目较多的实验室来说，要做到管理到每一台仪器设备，虽然可通过电器识别技术，实现可配备一台感知节点终端管理不同种类的多种仪器，但节点终端数量仍然较大，这对于共享介质多路接入的通信系统来说，冲突难以避免。而通过方案二，建立每一排的自治小系统，先通过有线通信完成数据汇总，再将每一排的数据汇总至中心管理器。当然对于中心管理器来说，其仍然可以管理到实验室中的每一台仪器。采用方案二的网络层的节点汇聚子层与感知层的连接关系如图 2.3 所示。

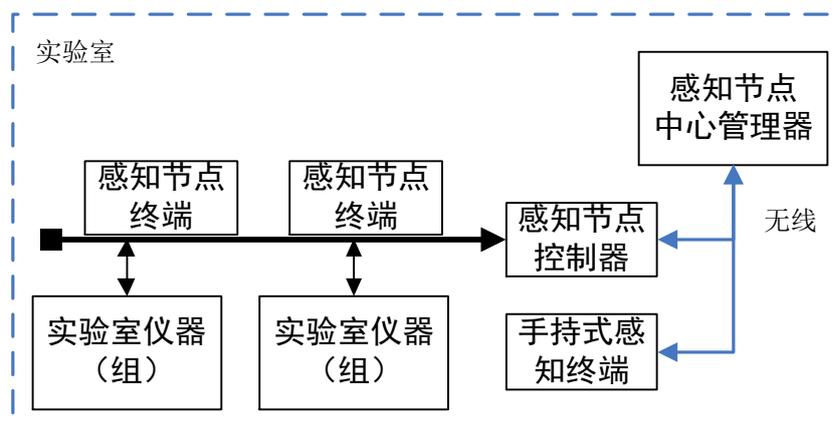


图 2.3 节点汇聚层与感知层的连接关系图

另外本系统中心管理器将配置 RFID 读卡器，以负责教师和学生预约申请仪器后，完成实验任务前进入实验室许可的认证登记工作，并且中心管理器可通过局域网完成向上层数据的转发和接受。

➤ 本地接入层

本地接入子层的设置首先是为了收集下层数据，每一个本地服务器至少可以管理一栋大楼内的所有实验室，而每一个实验室房间内安放一个中心管理器。本地服务器与各个实验室的中心管理器通过局域网连接完成数据交互，以达到对每一栋实验大楼每一个实验室中实验室仪器设备的管理。

➤ 业务承载子层

业务承载子层是多个本地服务器所组成的一个分布式系统，向上层应用层提供统一的接口，向上层提供仪器设备的各项工作状态数据和地理位置信息。业务承载子层内部通过 Internet 连接，完成对校区内多栋实验大楼的实验室互联与统一管理。

2.2.3 应用层

应用层由系统 Web 服务器、系统数据库服务器及所有本地服务器构成的分布式系统的基础上构成。应用层与部分网络层结构的连接关系如图 2.4 所示。应用层为设备处工作站的管理人员提供良好的用户接口完成远程监测、在线管理、决策支持等功能；同时也为教师和学生提供资源查询、预约实验设备的网页平台，并维护记录着所有仪器信息的系统数据库。应用层完成实现目标主要分为以下两个方面：

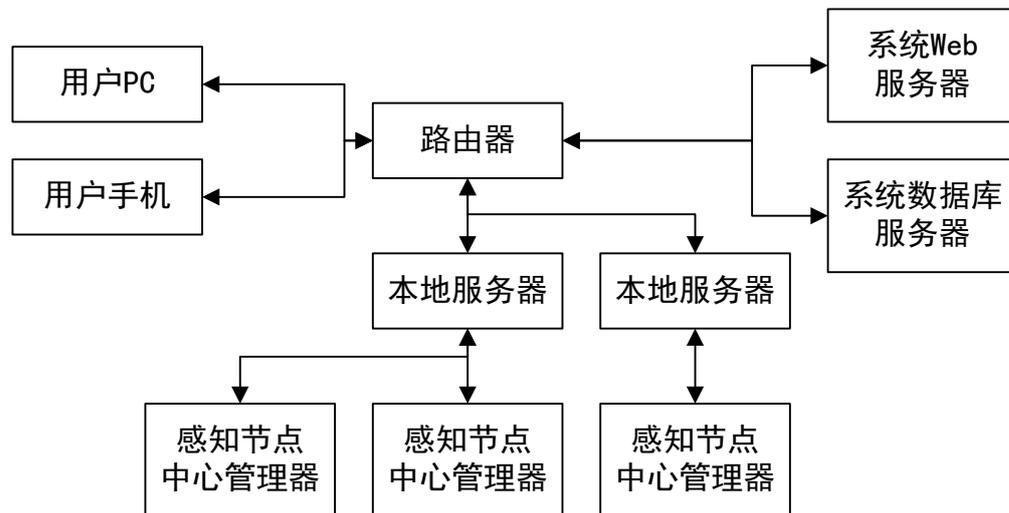


图 2. 4 应用层与部分网络层结构的连接图

● 远程服务

本系统服务的对象分为管理实验室的设备处管理员和使用实验室的教师和学生，因高校内实验室众多，设备处管理人员不可能实时坚守在各个实验室提供服务及检查实验室仪器设备；并且教师和学生数量众多，且实验需求不同，因此我们提出以下两种远程服务的解决方案：

■ 方案一

通过建立 WEB 服务器，以网页浏览的形式实现人机交互和信息的共享。管理员即使不在实验室或者不处于工作时间，也可通过管理员权限登陆网站，实现对实验室仪器设备的在线管理和状态查询。教师和学生因各有所需，可通过登陆网站，认证身份后，查看可用仪器设备资源，根据自身的时间安排和兴趣自主完成仪器设备使用的预约；

■ 方案二

通过编写 C/S 模式的服务应用程序，即用户通过个人 PC 或者移动终端上的应用程序直接与服务器实现信息的交互。管理员可通过客户机程序实现对仪器设备的工作状态的监控

和动态定位，教师和学生则可通过客户机程序实现对仪器设备资源的查询和预约；而服务器程序从网络层收集到各个实验室仪器设备的数据后，进行归类和整理，根据权限将信息提供给管理员客户机和师生客户机。

■ 方案选择

架设 WEB 服务器提供 WWW 服务，针对用户的不同平台和操作系统，通过标准的 Web 协议提供服务，可保证不同平台的应用服务可以互操作。而本系统面临使用对象范围较广，为使用不同平台的用户提供统一的服务可大大提供系统服务的通用性。因此我们选择了设立 WEB 服务器的方式实现与用户的信息交互。但对于本地服务器来说，定性为管理实验大楼内所有实验室中的实验仪器的职能，我们编写了本地服务器应用程序，本实验大楼的管理员可通过本地服务器实时查看实验设备工作状态及工作位置，实现在线管理。

● 数据库服务

实验室数据库数据主要包含仪器设备的库存信息登记、历史使用记录、预约实验条目及用户信息表单等，对于实验室管理而言，数据库服务是不可缺少的部分。

◆ 库存信息登记

实验室仪器设备在购入时需要进行设备编号、设备名称、入库时间、购买单位及相关描述等信息的统计和登记，因为需要本系统意在实现仪器设备工作时状态监控和动态定位，因此我们将设备编号统一定义为表贴在仪器表明电子标签的内部 ID 号，设备的管理都是依据此 ID 号进行的。

◆ 历史使用记录

实验室仪器设备的使用记录主要包含设备利用率和使用人员等信息。本系统感知层将仪器 ID 号及其使用数据向上层传递，并且根据预约人员信息及签到认证情况完成使用人员及仪器工作情况的统计。

◆ 预约实验条目

教师和学生可通过网页的方式完成对实验室仪器设备的预约，因此本系统对不同用户的不同实验需求进行登记入库，系统根据此条目，验证使用对象以提供相应实验仪器使用的支持。

◆ 用户信息表单

对于使用对象的需要进行身份核实，以区分合法用户、管理用户及教师和学生用户，因此本系统建立用户信息表单，管理员用户由系统预先分配使用权限，学生用户可在网页上提出注册申请，可与学校档案数据库建立连接，若档案数据库中有此学生用户的记录，则可完成申请，本系统将其信息进行入库，以进行身份的核实。

第三章 系统功能模块设计

3.1 总体概述

开放型实验室灵动助理系统总体设计思想是建立分布式的实验室联动管理系统。在整体框架结构中每个本地服务器可管理每个实验大楼内的实验室，也可完成应用层的 WEB 服务和数据库服务的任务，即形成每个实验大楼内的自治服务系统。

在本次竞赛中，我们设计了包含应用层服务的本地管理系统。如图 3.1 所示，整体功能架构分为感知层、网络层及应用层。应用层以采用 Intel Atom 处理器及 Arria II GX FPGA 的 EPCM-505C 开放平台为核心，利用 Atom 处理器强大的数据处理能力完成数据库及 Web 服务，并为管理员用户提供管理客户端人机交互界面；利用 Arria FPGA 高速并行处理能力完成开放型实验室图像监控电视墙的功能。网络层通过中心管理器模块完成应用层与感知层的数据交互，并完成实验人员的认证登记。感知层通过感知节点终端模块及感知节点控制器模块完成仪器设备工作的动态定位和状态的监控。

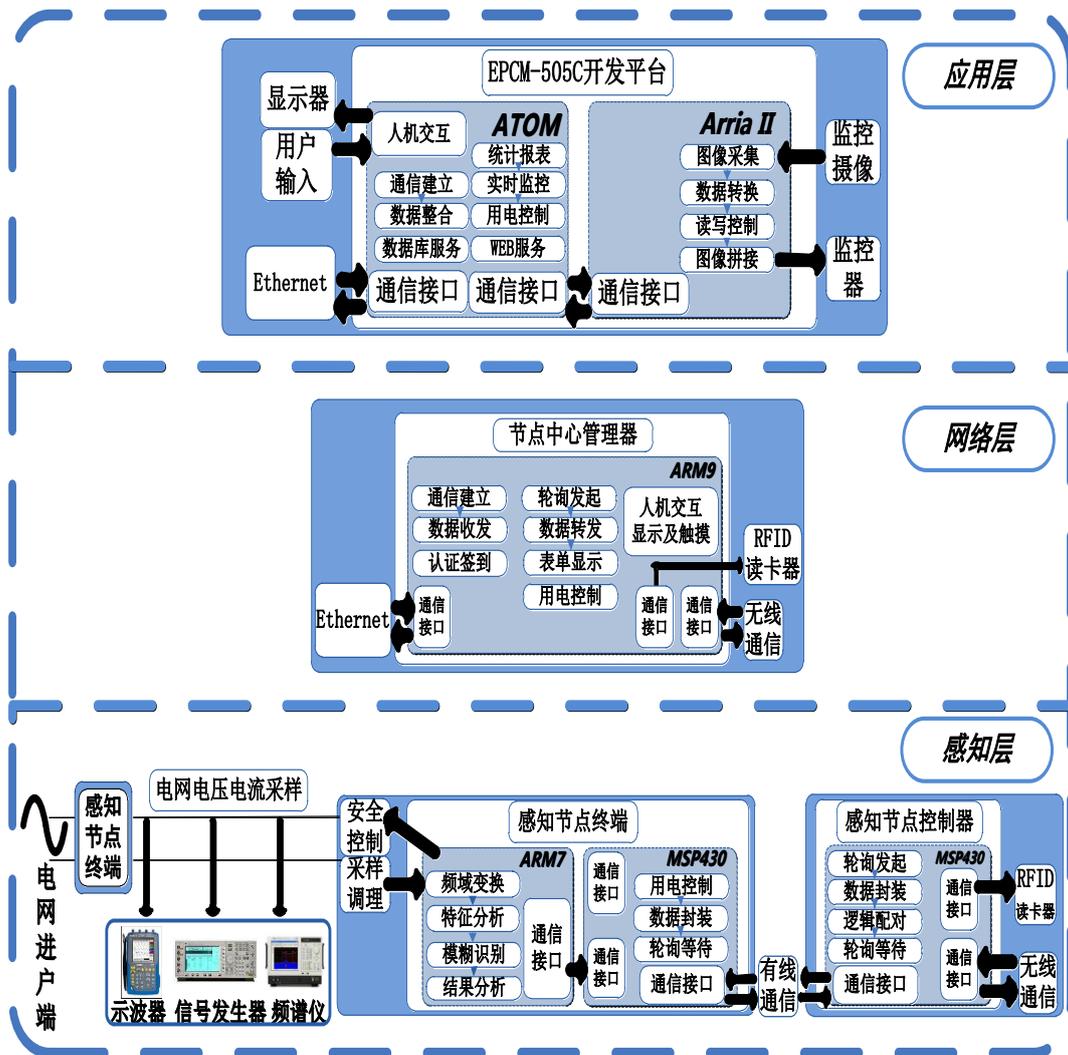


图 3.1 系统功能框图

本系统主要实现一个实验大楼内部各个实验室中实验仪器设备的统一管理并且可以实现教师和学生开放自主对仪器设备使用，图 3.1 为本系统的整体功能结构图。

如图 3.1 所示，本系统从功能实现方面可分为三部分：感知层(包含感知节点终端及感知节点控制器)、网络层（节点中心管理器）和应用层（本地服务器）。

● 感知层

感知层由感知节点终端和感知节点控制器两个模块组成，在实验室中的安置位置分别为实验室中每一张实验台和每一排的终端。感知节点终端模块通过电流谐波分析完成对工作仪器设备的识别，感知节点控制器模块用以汇总以排为分割单位的各个感知节点终端上面仪器设备的工作信息，并配合 RFID 读卡完成仪器设备的动态定位。

● 网络层

网络层由节点中心管理器模块组成，安置的位置为实验室的入口。节点中心管理器以无线通信的方式收集各个节点控制器的仪器工作信息或发送安全控制命令，并通过局域网与上层完成数据的交互。并配合 RFID 读卡器完成预约人员的认证登记操作。

● 应用层

应用层由本地服务器模块组成，安置的位置为整个实验大楼的管理人员办公室。本地服务器提供 WEB 服务完成教师和学生远程对实验室资源的查看和实验仪器设备的使用预约；向管理员用户提供实验仪器设备工作时的状态位置查询和用电控制；并提供数据库服务完成实验仪器设备的登记入库和使用记录的查看。

3.2 感知层功能设计

感知层实现对实验室仪器设备工作时的动态定位、状态监控及安全控制的功能。综合考虑成本价格、安装布线及节点通信等方面，我们设计了感知节点终端和感知节点控制器构成感知层。设计以华中科技大学电工电子教学示范中心实验室实际情况为参考，实验室布置以排为分割单位，每一实验台为最小管理单位，感知节点终端定位在每一张实验台上，根据电器识别技术完成对每一张实验台上的仪器组的工作状态监控和安全控制；感知节点控制器定位在每一排上，通过有线通信完成对此排上各个节点终端的数据汇总，并在感知节点控制器上定制读卡器，根据逻辑配对算法完成工作状态和工作位置的统计。

3.2.1 感知节点终端

感知节点终端主要由采样调理模块、电器识别模块、用电控制模块及轮询通信模块组成，感知节点终端结构框图如图 3.2 所示。由于系统的对用电器的参数采集主要来自硬件电路，所以对电压电流的采样必须准确。系统仅根据电线进户端的电压和电流就能识别出正处于使用状态的不同种类的用电器，并记录相应的用电量，投入较低，安装简单。电器识别通过具有 ARM7 架构的 ADI 公司的主控制器 ADUC7026 进行复杂的识别算法的处理，利用 TI 公司微控制处理器 MSP430F5438 将仪器识别信息封装成数据帧的形式，通过轮询通信协议，等待感知节点控制器轮询，有效无冲突的将识别数据发送给节点控制器，并可接受节点控制器发送下来的安全控制命令，完成对仪器的用电控制。

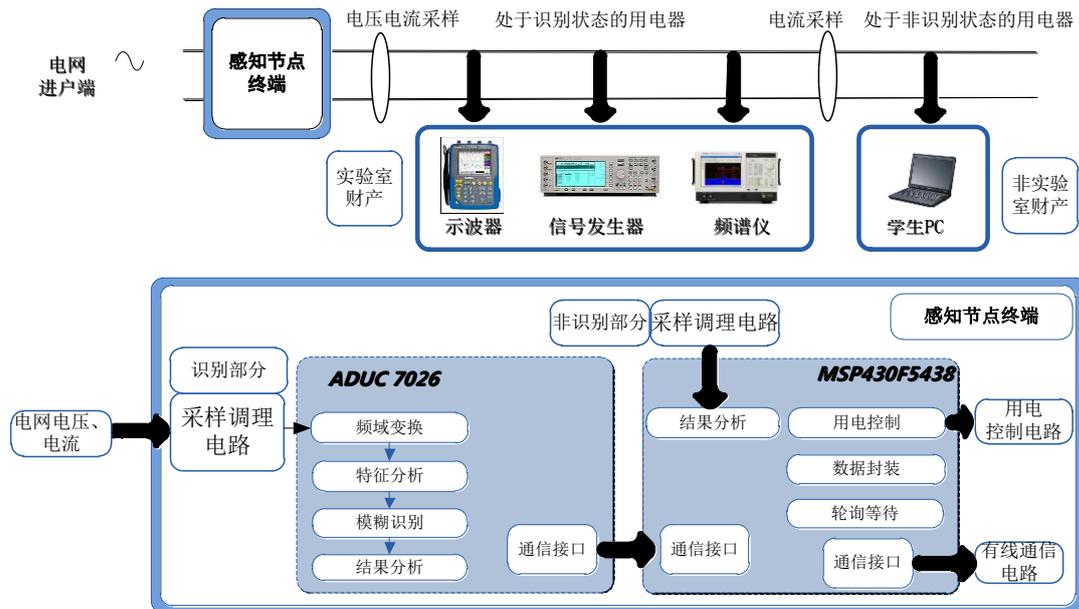


图 3.2 感知节点终端结构图

硬件设计

感知节点终端硬件电路的设计，主要包括电网侧电压电流采样电路的设计、微处理器开发板设计、有线通信电路设计、安全控制电路的设计及终端电源电路设计等。为了系统模块化、可裁剪化添加了读卡器电路的设计，合适的拓扑能为整个系统的实现提供很大的便利，而不合适的拓扑却会给功能的实现不断带来障碍。采集电路对识别系统的各项性能指标有很大的影响。

■ 采样调理电路设计

A. 电网测电压测量

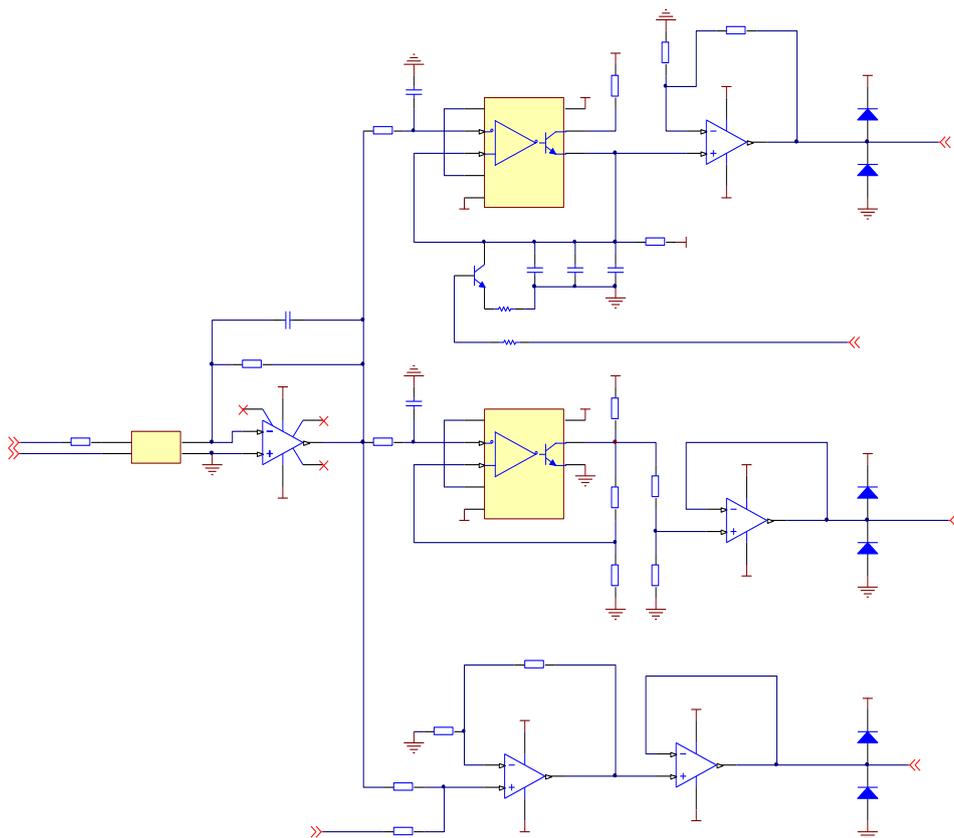


图 3.3 电网电压测量电路

电网电压采样电路以电压互感器 TVA1421-01 为核心构成，如图 3.3 所示。此电压互感器为电流型，先将待测电压转换成电流信号输入互感器的一次侧，电阻 R27 将互感器二次侧的输出电流转换为电压信号。电阻 R27 和并联电容 C59 构成低通滤波器。

在输入正弦信号的正半周上升的四分之一周期内，LM311 的输出三极管导通，电容两端的电压跟随输入正弦信号；当正弦信号到达峰值以后，LM311 的输出三极管截止，电容两端的电压保持为输入正弦信号的峰值，等待单片机采样；单片机采样后，输出高电平信号，Q1 导通，给峰值保持电容放电。最后一路为实时电压采样电路，将电压互感器输出的交流电压抬高 2.5V，送至单片机 A/D。

B. 电网侧电流测量

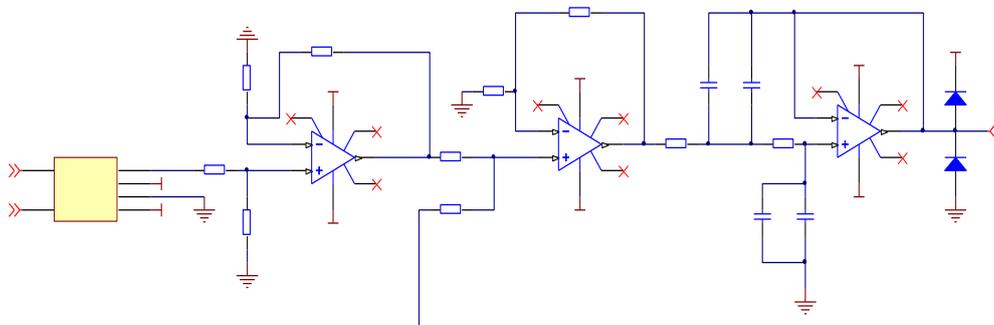


图 3.4 电网电流测量电路

并网电流即输出滤波电感的电流，为了保证安全和控制系统的可靠性，并网电流的采

样电路必须采用隔离。如图 3.4 所示，本电路采用电流霍尔传感器 CSM010SY 进行隔离采样，该电流霍尔应用霍尔效应闭环原理的电流传感器，能在电隔离条件下测量直流、交流、脉冲以及各种不规则波形的电流。传感器参数：线性度 $<0.1\%$ ，精度 $<0.7\%$ ，响应时间 $<1\mu\text{s}$ ，带宽 200KHz，全部满足本测量要求。采用霍尔采样相对电流互感器的好处是能够检测并网电流的直流分量，并能通过软件及时将其消除。电流霍尔输出交流电压，将其通过加法电路抬高 2.5V 后，送入单片机 A/D。

■ 单片机控制电路设计

A. ADUC7026 主控制器电路设计

电器识别模块主控芯片采用 ADuC7026，利用芯片集成的 12 位多通道高性能 ADC 的数据采集外设，对电压电流信号进行采样，提取相应的特征参数。利用片内集成有 8KB 的 SRAM 和 62KB 非易失性 Flash/EE 存储器，对数据进行记录。内核是 ARM7TDMI，它是一个 16 位/32 位 RISC 机器，其最高性能峰值高达 41 MIPS。基于此芯片研发的系统可以方便的完成用电器的识别、电量测量、数据的传输，事件管理等工作，精度高可靠性强。其电路图可参照附录图 1.5

B. MSP430F5438A 主控制器电路设计

主控芯片采用 MSP430F5438A，利用芯片上集成的通用通信模块，可与各种外设模块通信进行数据交互，其中利用其片上的三个通用通信模块，通过 SPI 总线协议与 ADUC7026 进行识别信息的通信，通过串口方式与读卡器模块建立通信，通过 UART 方式经过有线通信电路完成 TTL 电平与 RS485 电平转换，实现与节点控制器的信息交互。并利用利用芯片集成的 12 位多通道高性能 ADC 的数据采集外设实现对非识别部分的参数的采样，完成对用电的判断，并通过 GPIO 口控制继电器电路的通断。基于此芯片可以方便的完成复合通信，事件管理等工作，精度高可靠性强。

■ 用电控制电路设计

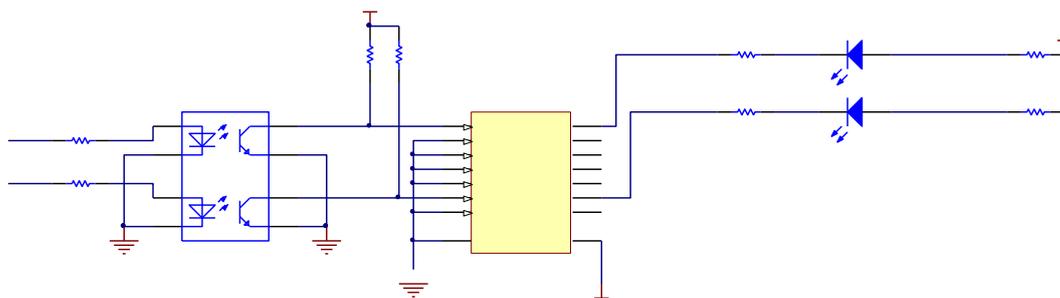


图 3.5 用电控制电路

感知节点终端涉及到对识别用电器和非识别用电器供电的控制，因此我们选用了继电器进行开关控制，并使用达林顿管驱动继电器。如图 3.5 所示，采用 ULN2003 集成继电器驱动芯片驱动两路继电器，采用 TLP521 光耦进行隔离，当输入低电平时，ULN2003 也输出低电平，继电器线圈通电，断开相应的回路，并且相应的发光二极管发光，标志继电器断开回路；反之，继电器闭合，接通相应回路，发光二极管不发光。可完成对识别的仪器设备不识别的个人用电器的供电的控制。

■ 终端电源电路设计

感知节点终端为仪器供电部分是串接在电网的母线当中，实验台上的仪器设备将统一由感知终端供电，感知终端将通过电器识别对实验台上的仪器设备进行识别和工作状态的检测。并且感知节点终端可向学生的个人用电器如 PC 进行供电操作，并可检测和控制个人用电器的供电。

感知节点终端自身系统的电源设计，统一由电网供电，提供 220V 的交流电压，终端系统因采样调理电路及单片机控制电路等供电需求，需要提供 15V、5V 及 3.3V 的电压要求。如图 3.6 所示，综合考虑功率及设计，我们选择了 MORNSUN AC-DC 模块，可提供 $\pm 15V$ 输出电压，10W 的输出功率，满足整个终端的功耗需求；并利用 LM2576 开关稳压芯片构成 BUCK 降压电路完成提供 5V 输出电压的需求，利用 AMS1117 线性稳压芯片实现 3.3 输出电压的需求。

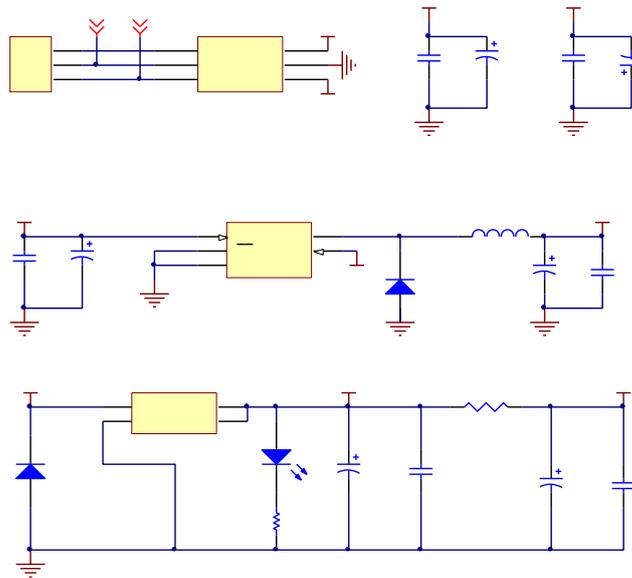


图 3. 6 电源电路设计

■ 有线通信电路设计

有线通信电路是感知节点终端与感知节点控制器的硬件部分，我们关于感知节点终端与感知节点控制器的通信内容将分硬件和软件设计单独描述，可参照感知节点内部通信部分的硬件设计。

软件设计

感知节点终端的软件设计，主要包括电器识别设计和轮询通信设计两部分。

■ 电器识别设计

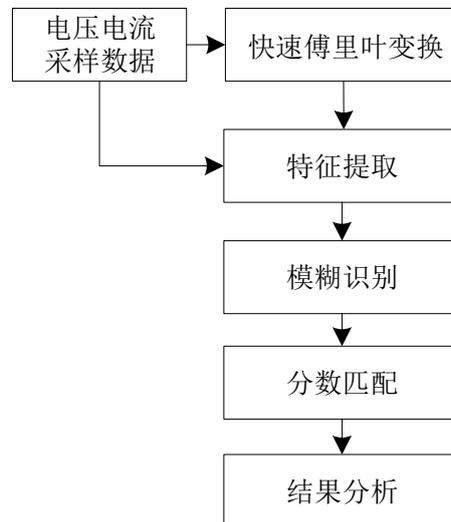


图 3.7 电器识别软件流程图

感知节点终端软件中电器识别部分由 ADUC7026 完成，采用了基于阈值的加权识别算法和解多维线性方程组两种核心算法。如图 3.7 所示为电器识别的软件流程图。

首先运用 ADUC7026 上芯片自带的 12 位 ADC 对电压电流信号进行采样。在数据采样阶段，为了使系统运行时数据不发生紊乱，只能使系统在适当时刻采集数据。在数据处理过程中，数据采样是需要被禁止的。然而，为了保证每次数据处理过程保持一定的一致性，采样的开始时刻必须要有基准。由于本系统对电网电压做了过零检测，电压刚好过零的时刻为数据采样提供了可能性。

基于以上分析，实施数据采样的具体方法为：设立标志位 Data_hold 用来指示数据是否需要保持，置 1 则系统认为需要保持，它仅发生在数据采满 256 个点的时刻，置 0 则认为采样可以在某个时刻进行，它仅发生在数据处理完毕的时刻；设立标志位 AD_enable 用来指示 AD 采样时刻是否到来，置 1 仅发生在 Data_hold 为 0 且电压过零时刻到来的时刻，置 0 发生在 Data_hold 为 1 的时刻。为满足在 50Hz 电网频率下，一周周期采样 256 个点的需求，设定了一个 20000/256us 的定时器。采样完成后把本次的采样数据和上一次的采样数据做差，得出本次所新增用电器的采样数据，而后对采样数据提取相应的特征参数，同时对采样到的数据进行 FFT 变换，再次提取相应的特征参数。本系统用电器的特征参数包含电流峰值、电流均值、电流有效值、电流基波、电流谐波幅值、电流谐波相位、用电器有功功率、电流谐波长度等。电流峰值、电流均值在采样时实时对电流数据进行处理就能够得到。而电流有效值、基波等特征参数能够在 FFT 变换之后得到。FFT 变换之后，所得到的数据是尚未归一化的，为了保证特征参数在存取过程中的一致性，需要将数据进行归一化。归一化的准则为：以基波幅值分量为 100，其他谐波成分相应等比调整。为了使归一化数据能够得到恢复，还需要存储每个用电器的功率信息。然后，再根据这些参数与存储器中相应参数做出比较，为了达到用电器识别的目的。

本系统采用如图 3.8 所示的基于阈值的加权识别算法方法。首先针对某一特征参数和现有存储器中的相应值进行模糊算法比较，如果特征值和现有值匹配非常好，则给出一个

很高的分值，随着匹配度的下降所打的分数也相应的降低。而后，针对每种特征参数模糊化的识别结果，都得到相应的匹配系数，匹配系数乘以该参数占有分值，即能得到该参数的得分。最后，将所有特征参数的得分相加，即得到该用电器的匹配分值。

对于存储器中的每种用电器，都会得到一个相应的分值，通过最大分值与及格分值的比较，决定用电器识别是否成功。若最大分值已经高过定义的及格线，则认为系统电器识别成功，结果即为得到最大分数所对应的用电器；若最大分值没有超过及格线，则认为存储器中尚不存在此种用电器，需进行下一步处理。

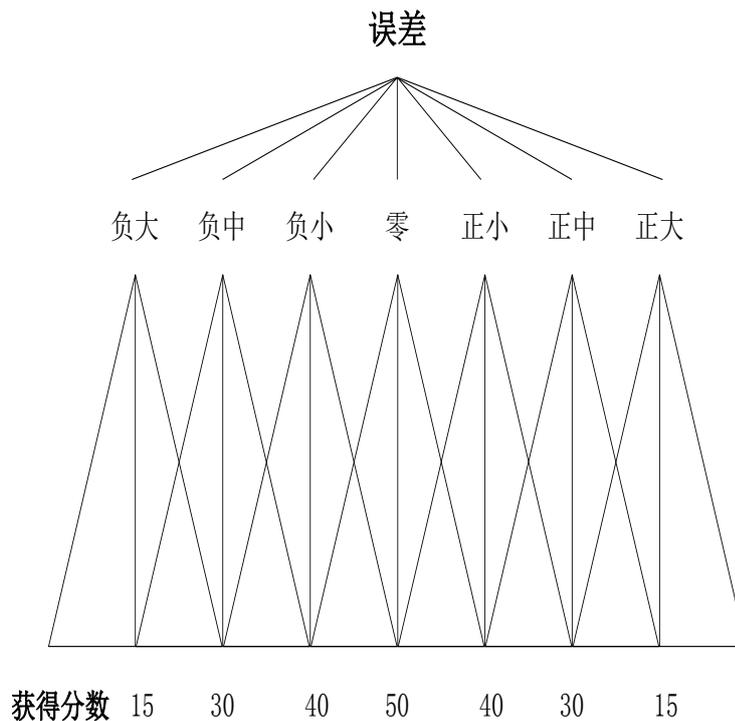


图 3.8 基于阈值的加权识别算法方法的示意图

如图 3.9 所示为电器识别的流程图。首先根据进户端的功率变化判断用电器是运行还是关闭，如果功率不变则验证识别结果是否正确、更新数据库特征信息权值信息、传输用电识别信息，之后再继续检测功率变化。由于用电器的打开识别和关闭识别是两个类似的过程，下面以用电器打开识别为例说明识别过程：开始检测到电线进户端功率增加，说明有用电器开始运行，此时根据上文说明的提取特征参数方法对运行的用电器进行特征参数的提取，先与数据库中单个用电器的相应参数进行对比，采取上文中所述的基于阈值的加权识别算法方法对用电器进行相关评分。

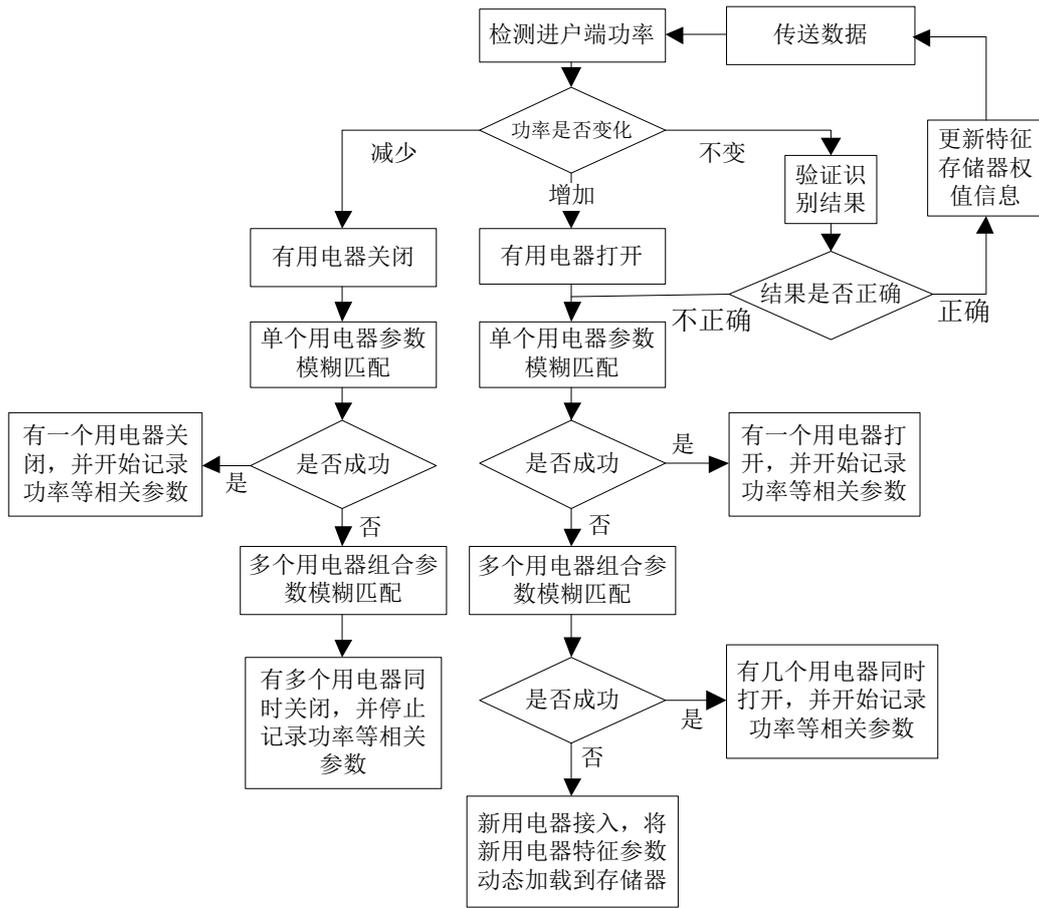


图 3.9 基于阈值的加权识别算法软件流程图

为了更清晰的说明下面列举一个打分的实例：

表 3.1 显示器数据库特征值表

Electrical equipment		Displayer
Harm_length		+006
Harm_num	FFT_R	FFT_I
+001	-029	+095
+003	-014	-080
+005	+023	+067
+007	-025	-047
+009	+021	+032
+011	-014	-015
Database record Current_Harm		

如表 3.1 所示，为感知节点终端的一个实例的存储器中显示器的电流谐波相关信息。Harm_length 为总谐波长度；Harm_num 为相应的谐波次数；FFT_R 为 FFT 变换后该次谐波的虚部；FFT_I 为 FFT 变换后该次谐波的实部。

表 3.2 新用电器特征数据表

Electrical equipment		New electrical equipment
Harm_length		+004
Harm_num	FFT_R	FFT_I
+001	-011	+099
+003	-020	-050
+005	+011	+065
+007	-010	-060
New electrical equipment Current_Harm		

识别到一个新接入的用电器，分别和存储器的每个用电器相应参数作比较，给出分数。如表 3.2 所示，为本设计的一个实例的新识别到的用电器电流谐波相关的参数，这里以这一参数为例说明打分过程：电流谐波的总权值为 0.8，也就是百分制中的 80 分，而谐波长度的权值为 0.3，也就是 $80 \times 0.3 = 24$ 分；每次谐波的分配权值以数据库中的谐波参数为参考分配，比如本次和数据库中的显示器作比较，则每次谐波分配到的权值为 $0.7/6 = 0.117$ ，再把新识别到的用电器的相应参数与其相比较得出分值，最后把这一参数所有分值相加，再把所有参数的分值相加可得出如下表。

表 3.3 新接入用电器打分表（及格分数 70 分）

	电流谐波	功率因数	电流峰均值比	总分	
示波器	26	2	5	19	
显示器	23	3	4	30	
频谱仪	72	9	9	90	<u>正确</u>
信号发生器	35	4	4	24	

通过表 3.3 可知频谱仪所打的分数最高，为 90 分，其余的分数都没有及格，可知该新接入用电器被识别为频谱仪。同时开始记录该用电器的功率等相应参数，上述单个用电器识别过程为识别的第一阶段。如果所有分数均不及格则识别失败，转入识别的第二阶段。

识别的第二阶段：首先分析采集到用电器数据信息，将每个用电器参数记录从 Flash 中读出，通过各用电器的功率信息与谐波信息进行不同用电器参数之间的排列组合，以用电器谐波长度为优先组合原则，按照用电器从少到多，得出不同用电器的组合参数。实际上，多个用电器的组合过程，就是一个解多维线性方程组的过程。之后，再使用类似单个用电器识别方法对多个同时开始运行的用电器进行识别。如果识别成功，开始记录用电器的功率等参数，并进行显示。如果所有分数均不及格则识别失败，转入识别的下一阶段。

识别的第三阶段：上述识别均不成功，说明数据库中没有存储该新接入用电器的特征参数，此时会动态地将该新用电器的特征参数加载到数据库，并提示输入该用电器的名字，至此整个识别过程完毕。

识别过程中，由于外界干扰，会有一定的误识别率。为防止系统的误识别，即使没有新用电器再接入系统，此时系统仍处于实时验证状态。在这种状态下，系统需要做的工作是：验证用电器识别结果是否正确，验证方法为，将识别结果叠加后的特征数据信息与实时信息模糊比较，得到识别结果，若识别结果不正确，则把识别结果清除，所有用电器重新识别，转入上述第一阶段，若正确，则继续处理；然后，由实时数据更新数据库特征参

数的权值，以使系统更有本地化特征，更新数据库中特征参数权值的过程，实际是使用电器的正确识别结果分值最大化的过程。

■ 轮询通信设计

感知节点终端软件中轮询通信部分由 MSP430F5438 完成，设计的部分主要分为以下几个方面：

- A. 收集识别电器的信息，分类统计，封装成数据帧的格式。
- B. 完成不识别用电器用电端口电流的 A/D 的采样，进行均值比较，分析是否有用电器供电。
- C. 根据上层的消息命令，完成对两个供电端口开关的控制，即识别部分用电器的供电端口和非识别部分(学生个人用电器)的供电端口。
- D. 完成轮询通信协议从机部分的软件算法，此部分为感知节点终端与感知节点控制器通信内容，为了叙述清晰，我们将单独叙述，可参照感知节点内部通信部分的软件部分。

3.2.2 感知节点控制器

感知节点控制器主要由 RFID 读卡器模块、有线轮询通信模块和无线通信模块组成，感知节点控制器结构框图如图 3.10 所示。感知节点控制器主控芯片由 TI 公司微控制器 MSP430F5438A 进行与节点终端轮询通信和与中心管理器轮询通信，并依据 RFID 卡号和识别电器数据进行逻辑配对算法处理。节点控制器实现了节点终端与中心管理器的信息交互的中继功能。

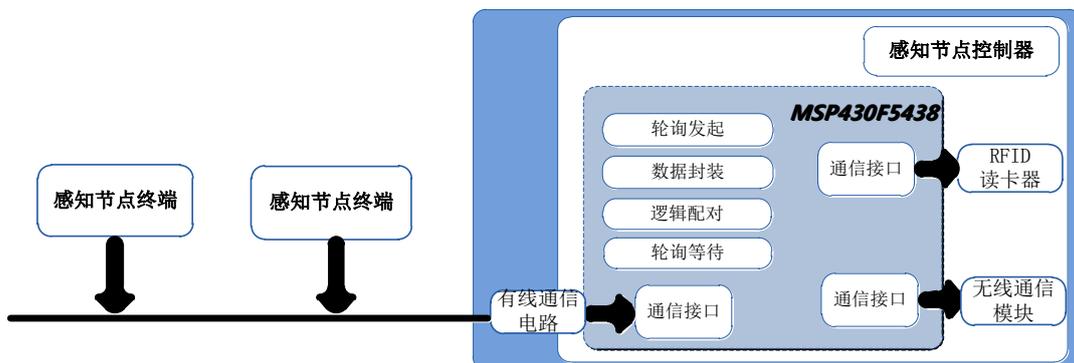


图 3.10 感知节点控制器结构框图

硬件设计

感知节点控制器硬件电路的设计，主要包括有线通信电路设计、RFID 读卡器电路设计及无线通信电路设计。

■ RFID 读卡器通信电路设计

我们选择了简单、易用、稳定、低成本、高性能实用的 13.56MHz 非接触式 IC 卡读写器，可读写 ISO15693 标准的非接触式 IC 卡，关于电子标签号的读取是通过 RS232 的方式读取。如图 3.11 所示，因此我们设计了 TTL 电平与 RS232 电平转换的电路，并且主控芯片 GPIO 口是 3.3LVTTTL 接口电平，为可靠安全实现数据交互，我们使用了 ADI 公司的可调双向电平转换的芯片 ADG3304，完成电平之间的转换。

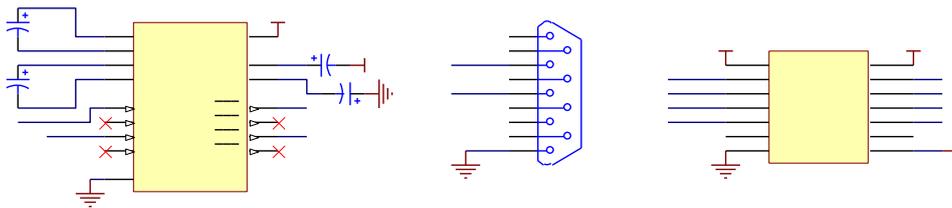


图 3. 11 RFID 读卡器通信电路

■ 无线通信电路设计

为了缩短开发进程及尽量简化系统设计，我们并没有选择基于 ZigBee 无线组网的通信方案，而是采用了利尔达公司 LSDF4310M01 微功率无线数传模块，工作在 433MHz ISM 频段，通过串口 UART 的方式可实现无线收发的功能。

■ 有线通信电路设计

有线通信电路是感知节点终端与感知节点控制器的硬件部分，我们关于感知节点终端与感知节点控制器的通信内容将分硬件和软件设计单独描述，可参照感知节点内部通信部分的硬件设计。

软件设计

感知节点控制器的软件设计，主要包括逻辑配对设计和轮询通信设计两部分。

■ 逻辑配对设计

逻辑配对软件设计是为了完成仪器设备的电器识别信息与表面贴装的电子标签的 ID 卡号的逻辑配对，从而完成对实验室仪器逻辑定位。当有仪器设备异动或者有新的仪器纳入到管理范畴当中时，需要完成以下步骤：

- A. 在感知节点控制器 RFID 读卡器处，完成登记刷卡的操作。
- B. 在感知节点终端处进行打开的操作，完成一次电器识别。
- C. 终端与控制器完成消息传递，完成将实验仪器精确定位到实验台的目的。

因为电器识别信息是从每个实验台处的感知节点终端完成的，而仪器异动刷卡操作是在每一排处的感知节点控制器 RFID 读卡器处完成的。如图 3.12 所示为逻辑配对软件流程图。按照刷卡登记的先后顺序完成仪器的定位，即先刷卡的仪器，在感知终端先进行用电识别。仪器的定位工作都是以 RFID 读卡器作为前提，感知控制器将收集到的 ID 卡号和识别信息依次与存储器中的逻辑配对关系进行遍历，若为新的卡号，则认为从其他位置上搬移到本排上的，如果卡号相同，则认为是一排内各个实验台上的仪器异动。再根据先后的电器识别信息，完成逻辑配对绑定工作。并且终端可实时将其上工作的仪器的用电信息发至控制器，控制器根据配对关系装填进轮询通信包的数据帧部分，向上层传递仪器工作时的状态监控和动态定位消息。

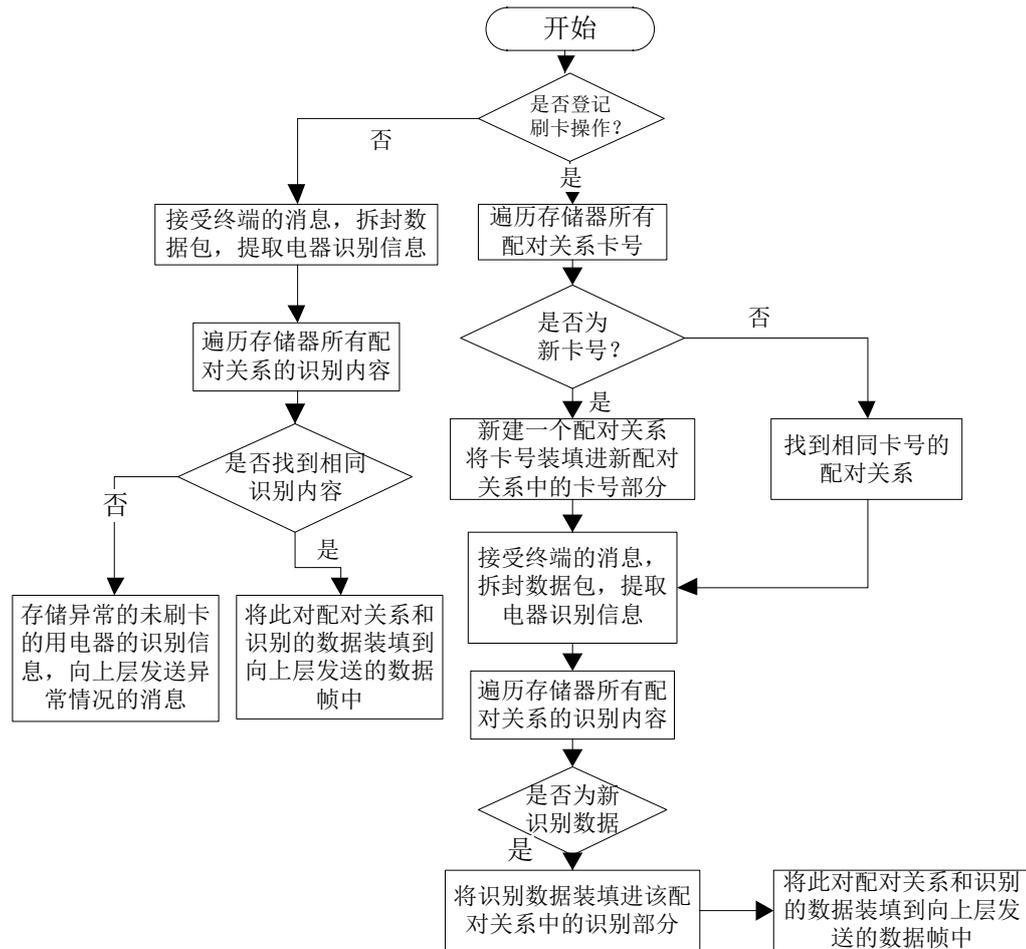


图 3.12 逻辑配对软件流程图

■ 轮询通信设计

感知节点控制器件中轮询通信部分由 MSP430F5438 完成，轮询通信主要分为两个方面，一是一排内节点控制器与各节点终端的通信；二是在整个实验室内各个节点控制器与中心管理器的通信。关于这两部分内容；我们将单独分为感知层内部通信章节和感知层与网络层通信章节叙述。

3.2.3 感知层内部通信（感知节点终端与感知节点控制器通信）

感知层模块间通信指感知节点终端和感知节点控制器之间的通信，分为软件和硬件两大部分。

硬件设计

对于数据传输主要有两类通信方式：第一类是以 RS232 和 SPI 总线为代表的简单的数据传输协议，这类协议硬件结构简单，许多单片机上都有相应的收发器接口，但是这类协议对通信现场的干扰抵抗能力较弱，并且像 SPI 总线这类协议当主机数较多的时候连线数目会大大增加，影响了传输效率的提高。第二类是以 RS-485 和 CAN 总线为代表的现场总线协议，这类总线往往需要一个专用的收发器，但是抗干扰能力强，并且连线简单，只需要 1 对差分传输线就可以了。综合两类传输方式的优缺点，硬件上我们采用了 RS-485 总线进行通信。

RS-485 总线由于其布线简单，稳定可靠从而广泛的应用于视频监控，门禁对讲，楼宇

报警等各个领域。RS-485 采用平衡发送和差分接收，因此具有抑制共模干扰的能力。加上总线收发器具有高灵敏度，能检测低至 200mV 的电压，故传输信号能在千米以外得到恢复。RS-485 采用半双工工作方式，任何时候只能有一点处于发送状态。RS-485 用于多点互连时非常方便，可以省掉许多信号线。应用 RS-485 可以联网构成分布式系统，其允许最多并联 32 台驱动器和 32 台接收器。

如图 3.13 所示，电路设计上我们采用了 MAX485 作为收发器。MAX485 是一款低功耗的 RS-485 收发器，每个器件都有一个驱动器和一个接收器，其驱动摆率不受限制，可以实现最高 2.50Mbps 的无差错数据传输。这个收发器在驱动器禁用的空载或满载状态下，吸取的电源电流在 120 μA 至 500 μA 之间。所有器件都工作在 5V 单电源下。驱动器具有短路电流限制，并可以通过热关断电路将驱动器输出置为高阻状态，防止过度的功率损耗。

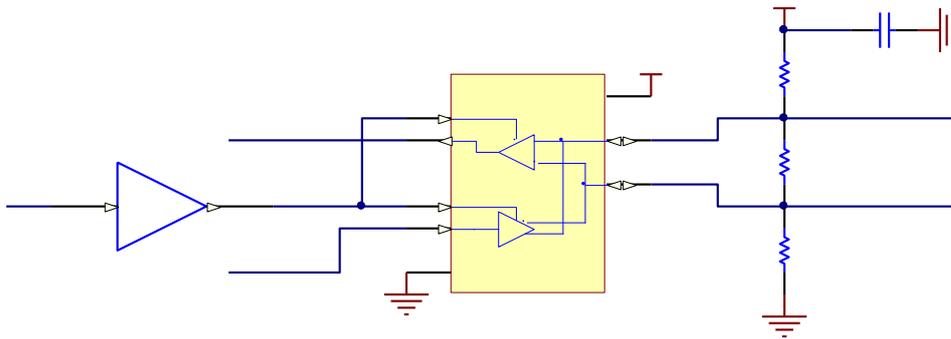


图 3.13 RFID 读卡器通信电路

软件设计

对于感知节点终端和感知节点控制器间通信，我们采用了轮询方式进行通信。

轮询是指网络中共有 N 个站点，主机按顺序从站 1 开始逐个轮询，站 1 如果有数据即可发给主机，站 1 如无数据，则发送控制帧给主机，表示无数据可发，然后主机询问站 2……在询问完站 N 后，又重复询问站 1。当然主机也可以将数据发给各站。由于在主机向各站发送数据时有主动权，且其数据帧均带有各站的地址，所以不会出现混乱现象。它是一种比较高效的通信方式，可以防止链路上的冲突，其循环时间的平均值为：

$$T_c = \frac{L}{1-S}$$

其中

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N \lambda_i / \mu}{C} = \rho$$

$$\rho = \sum_{i=1}^N \rho_i$$

为整个轮询系统的通信量强度。

当帧为定长时，帧的平均等待时间为：

$$W = W_1 + W_2 = \frac{L(1 - \frac{\rho}{N})}{2(1 - \rho)} + \frac{\rho}{2\mu C(1 - \rho)}$$

整个系统的巡回时间为：

$$L = NT_0 + Nt_s + (N + 1)\tau$$

其中， T_0 为轮询帧的发送时间， t_s 为每个站识别轮训帧平均需时间， τ 为主机到最远站 N 的单程传播时间（假设各站沿多点线路均匀分布）。

根据轮询协议，整个链路上的节点分为主机和从机两大部分。在感知节点终端和感知节点控制器的通信中感知节点终端作为从机，感知节点控制器作为主机。

1) 主机的软件设计采用状态机书写，状态转换图如图 3.14 所示：

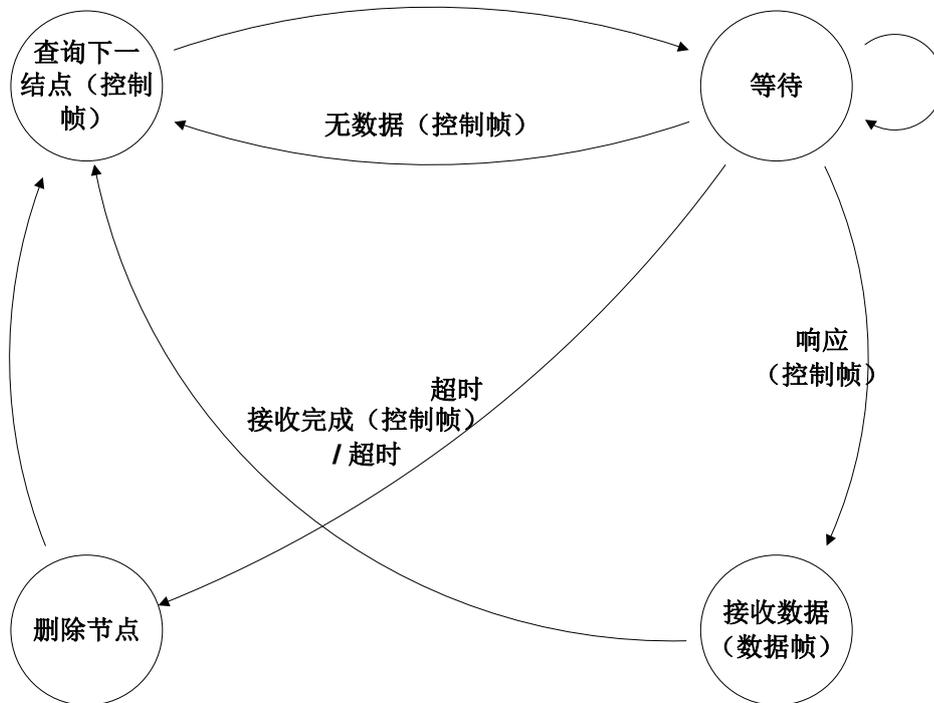


图 3.14 状态转换图

如图 3.14 所示，主机状态机从 FindNext 状态开始，先搜索存在的节点，如果有，就向该节点发送一个探寻帧 FindingFrame，并把状态转移至 Wait。若探寻的节点没有信息要发送，则回复一个 NoDataFrame，主节点收到 NoDataFrame 以后将状态转为 FindNext，探寻下一结点。

如果探寻的节点有信息要发送，则会回复一个 AckFrame，主节点收到 AckFrame 以后将状态转为 ReceiveData，准备进行接收。如果超过规定的时间还没有收到回复，证明该节点已经失效了，则主机转入 DelNode 状态，准备删除节点。

在主机进入 ReceiveData 状态后，没收到一个消息就会运行 ReceiveFrame () 函数

一次，进行拆包并保存需要的数据，同时运行 RefreshTimer() 刷新定时器数据。如果长时间没有收到消息，证明出错了，主机自动转回 FindNext 状态。当从机发完以后，会向主机发送一个 FinishedFrame，证明本次发送已经完成了，主机自动转回 FindNext 状态。

在主机进入 DelNode 状态后，会将相应的无效节点删除，以节约信道空间。然后主机转回 FindNext 状态。

2) 从机的软件设计流程图如下：

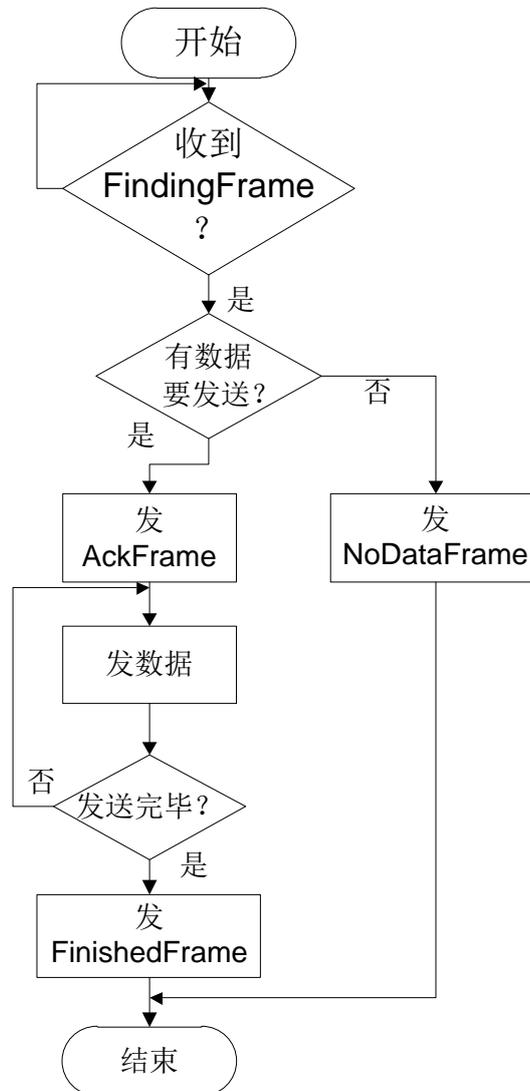


图 3. 15 从机轮询协议软件流程图

如图 3.15 所示，从机不断侦听链路上的信号，当收到帧以后首先校验是不是发往自己的 FindingFrame，如果不是的话就等待下一帧，否则检查自己的发送 FIFO 是否有数据要发送，如果有，就回一个 AckFrame，然后不断将 FIFO 中的数据打包成数据帧，发往主机，当数据全部发送完毕，即 FIFO 为空时，则发送一个 FinishedFrame。如果没有数据需要发送，则发送一个 NoDataFrame 给主机，并等待下一帧的到来。

(3) 帧结构

帧结构是指对一帧内所有时隙位置的具体安排。使收端能按规定的时隙分配识别它们的

相对位置，实现数字时分复用。通常在一帧内主要包括信息和开销。

为了有效地传输数据，而不至发生混乱，有必要规定帧结构。本系统数据传输上用到的帧结构分为控制帧和数据帧两种，控制帧和数据帧的长度都是确定的，结构如下：

1) 控制帧结构

控制帧结构如下

表 3. 4 控制帧结构表

帧头	控制字	地址	校验	帧尾
1 字节	1 字节	FCL 字节长	1 字节	1 字节

其中，帧头固定为 0xBB，帧尾固定为 0xBC，地址为 FCL 字节长，FCL 暂定为 1。控制字内容及对应的意义如下：

表 3. 5 控制字内容表

标志	内容
0xA1	数据 ACK
0xA2	无数据
0xA3	FindNext
0xA4	Finished Frame
0xA5	数据帧
0xCC	关闭所有继电器
0xCD	打开继电器 1
0xCE	打开继电器 2
0xCF	打开所有继电器

其中，0xCC、0xCD、0xCE、0xCF 用于控制节点通电和断电状态，从而实现预约管理。当学生刷卡成功签到后，感知节点中心管理器将通过两层网络下达打开供电开关命令，感知节点终端收到命令后按指令打开相应的继电器，当到了预约时间段的末尾，自动关闭所打开的继电器。

2) 数据帧结构

数据帧结构如下：

表 3. 6 数据帧结构表

帧头	控制字	数据	校验	帧尾
1 字节	1 字节	FDL 字节长	1 字节	1 字节

其中，帧头固定为 0xBB，帧尾固定为 0xBC，控制字固定为 0xA5，数据为 FDL (FrameDataLength) 字节长，FDL 定为 14。

(4) 帧定界和识别

由于 RS-485 总线是通过单片机上的 UART 接口和收发器组成的收发模块，因此单片机每次串口中断收到的是一个字节，需要将字节组合成一个个报文，才能进行下一步的信息处理工作。

由于这里所用到的帧都是定长或半定长的，因此报文检波和滤波可以通过以下步骤实现：

- ①检查接收缓冲区中的帧尾标志 0xBC，若查到，进入第②步
- ②在接收缓冲区中查找帧头标志 0xBB，若在一定长度内查到，进入第③步
- ③检查地址段看看是否发给自己的帧，如果是，进入第④步

- ④检查帧头和帧尾间的字节数，若为规定的字节数之一，进入第⑤步
 - ⑤按照字节数所指示的帧类型，检查校验和是否正确，如果校验和正确，进入第⑥步
 - ⑥检查控制字是否为规定的控制字之一，如果是，开始进行报文解析。
- 以上步骤中如果有否的情况出现，一律跳出检波程序。

根据估算，以上报文检波程序的出错概率与起止式同步的异步串行通信的差错率相当。

3.3 网络层功能设计

网络层对应的实体是感知节点中心管理器（下称管理器），为了完成节点汇聚网的功能，管理器需要能利用无线通信与下层感知节点通信，同时需要能通过局域网与上层通信。管理器还需要一个良好便捷的操作界面供用户使用。故分为以下几个模块：

- 网络通信模块
网络通信模块利用局域网与上层通信，包括转发下层信息、传达上层命令等。考虑使用 Socket 方式进行 TCP 连接。
- 无线通信模块
无线通信模块利用无线收发模块搭建出一个可靠的信道，使下层与本层能够通信。无线收发模块通过串口控制和收发数据，故需要占用处理器的一个串口。
- 读卡器模块
学生预约了实验台之后需要到实验室签到，这是通过在实验室内设置的管理器上刷卡来实现的，因此管理器需要能处理读卡器传来的 RFID 卡片信息，并进一步查找是否有该学生的预约记录。读卡器也是通过串口传递数据的，同样要占用处理器一个串口
- 核心控制软件模块
管理器所运行的程序。需要能驱动上述多个模块，同时要能动态更新、维护和记录工作仪器表。

节点中心管理器的布置为每个实验室一台，中心管理器既要通过无线方式与感知层节点完成信息交互，也要与上层应用层通过局域网完成信息交互。综合考虑安装简便、网络支持、人机交互等方面，提出两种方案：

- 使用 PC 作为管理器。
很多实验室配有电脑，是故若直接用 PC 作为管理器，不仅配置方便，更节约成本，程序的开发也较为便捷。但是也有少数实验室没有配备 PC。
- 使用嵌入式系统作为管理器
嵌入式系统的优点在于可独立于实验室的电源，嵌入式系统功耗可以很低，可以用电池供电。本系统考虑打造开放式实验室，在实验室停电的时候依然能监视实验室状态的功能就显得很重要。对于没有配备 PC 的实验室也可选用嵌入式系统作为管理器。

3.3.1 硬件设计

对于使用嵌入式系统作为中心管理器的情况，按照模块划分，硬件实现包括如图 3.16 硬件框图所示的五个部分。其中，选用三星公司高性能基于 ARM920T 架构和 32bit RISC 的 S3C2440 处理器。通过触摸屏实现人机交互，存储器用于存储程序和预约记录。

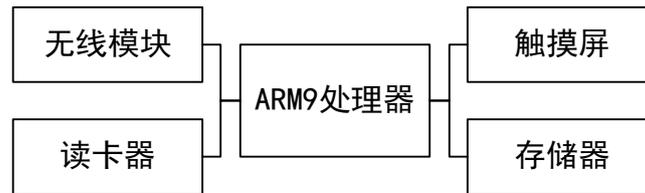


图 3.16 中心管理器硬件框图

为了缩短开发周期，关于 S3C2440 处理器、触摸屏、存储器及基本外设电路，我们选择 Friendly-ARM 公司发售的 Mini2440 开发板，而无线模块仍旧选择了利尔达公司 LSDF4310M01 微功率无线数传模块，读卡器选用与感知控制器同一款的读卡器模块，无线模块和读卡器各占一个串口。

3.3.2 软件设计

考虑到中心管理器的涉及到局域网 socket 的通信，任务较为繁多且复杂，故通过操作系统来处理多任务较为合理。我们选择了 WinCE 6.0 作为操作系统，基于 WinCE 操作系统应用程序的开发工具为 EVC4.0

中心管理器软件设计主要完成收集各个节点控制器的仪器工作信息及发送安全控制命令，并通过局域网与上层完成数据的交互；并配合 RFID 读卡器完成预约人员的认证登记操作。软件流程图如图 3.17 所示，这是一个标准的 WINCE 应用程序。

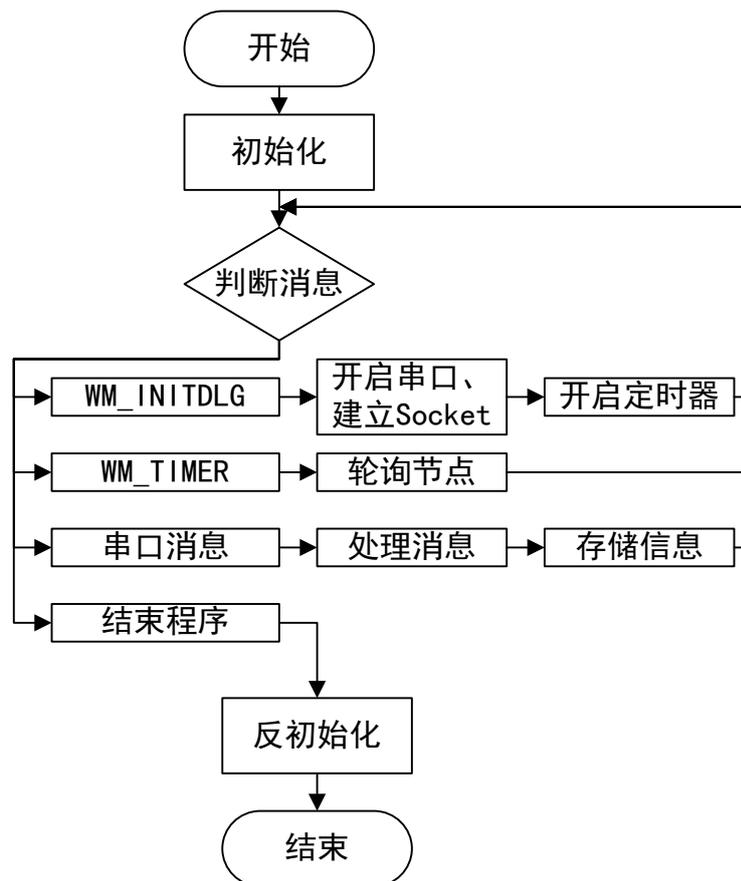


图 3.17 中心管理器软件流程图

中心管理器软件的设计主要是为了实现层间通信，具体可分为感知层与网络层通信，网络层与应用通信两个部分。

● 感知层与网络层通信

感知层和网络层间的通信,即感知节点中心管理器和感知节点控制器间的通信,采用无线模块通过轮询协议实现。

轮询协议的主机状态转换与上述感知层层内模块间通信一致,如图 3.13 所示。

从机工作流程与上述感知层层内模块间通信一致,如图 3.14 所示。

两个轮询协议区别主要在帧结构上,详述如下:

1) 控制帧结构

控制帧结构如下:

表 3.7 控制帧结构表

帧头	控制字	地址	校验	帧尾
1 字节	1 字节	FCL 字节长	1 字节	1 字节

其中,帧头固定为 0xBB,帧尾固定为 0xBC,地址为 FCL 字节长,FCL 暂定为 1。

控制字内容及对应的意义如下:

表 3.8 控制字内容表

标志	内容
0xA1	数据 ACK
0xA2	无数据
0xA3	FindNext
0xA4	Finished Frame
0xA5	数据帧

其中,感知节点中心管理器发往节点控制器的控制帧控制字部分分为两类:一类是上表中所列的 0xA3 帧,另一类将地址部分分为两块:前四位包含节点终端地址信息,后四位包含开关继电器的信息。这样,通过控制帧,就可以将来自感知节点中心管理器的开关信息下达到感知层的节点控制器。

2) 数据帧结构

感知节点控制器和感知节点中心管理器间的数据帧结构与上述数据帧不同,详述如下:帧结构整体如下:

表 3.9 数据帧结构表

帧头	命令	数据	校验	帧尾
1 字节	1 字节	15*X 字节	1 字节	1 字节

其中,数据区以每 15 个字节为一个单位,最多 8 个单位长,每个单位内包含节点终端号、仪器卡号、仪器识别的数据等信息,一个典型的数据区内数据组织如下:

- 【节点终端号 1+仪器 1 卡号+仪器 1 识别的数据】
- 【节点终端号 1+仪器 2 卡号+仪器 2 识别的数据】
- 【节点终端号 1+卡号(111111111)+不识别的数据】
- 【节点终端号 2+仪器 3 卡号+仪器 3 识别的数据】
- 【节点终端号 2+仪器 4 卡号+仪器 4 识别的数据】
- 【节点终端号 2+卡号(111111111)+不识别的数据】
- 【节点终端号 1+卡号(000000000)+识别的数据】
- 【节点终端号 2+卡号(000000000)+识别的数据】

3) 帧定界和识别

由于 RS-485 总线和无线串口工作原理相似,两者的帧定界和识别方法相同,在此不再赘述。

● 感知层与应用层通信

网络层和应用层间的通信即感知节点中心管理器和管理员终端软件间的通信，采用 TCP Socket 实现。TCP 通信采用 Windows Socket 类实现。通过 Windows Socket 可以很方便的实现数据打包发送的功能。为了接受的准确与实时性，我们建立了一个线程专门监听指定端口的 TCP 数据包并通过发送消息的方式实现数据的传递与共享。

使用时感知节点中心管理器开机后即和管理员终端软件建立连接。当下层有数据发上来时感知节点中心管理器将数据和处理后发送到应用层管理员终端软件，管理员终端软件再将相关信息写入数据库。

当有预约提醒信息需要发送时，管理员终端软件找到相应的实验室中心管理器 IP 地址，并把消息发送到该实验室的节点中心管理器，再由节点中心管理器控制实验台上识别电器和非识别电器电源的通断。

3.4 应用层功能设计

应用层的实体为本地服务器，将提供 WEB 服务完成教师和学生远程对实验室资源的查看和实验仪器设备的使用预约；向管理员用户提供实验仪器设备工作时的状态位置查询和用电控制；并提供数据库服务完成实验仪器设备的登记入库和使用记录的查看。另外对于开发型实验室人员进出复杂，我们还基于 EPCM-505C 平台设计了监控电视墙的功能。

本地服务器 EPCM-505C 开放平台为核心，如图 3.18 所示，我们实现的功能分为两个方面，利用 Atom 处理器强大的数据处理能力完成数据库及 WEB 服务，并为管理员用户提供良好的人机接口；利用 Arria II FPGA 高速并行处理能力完成开放型实验室图像监控电视墙的功能。

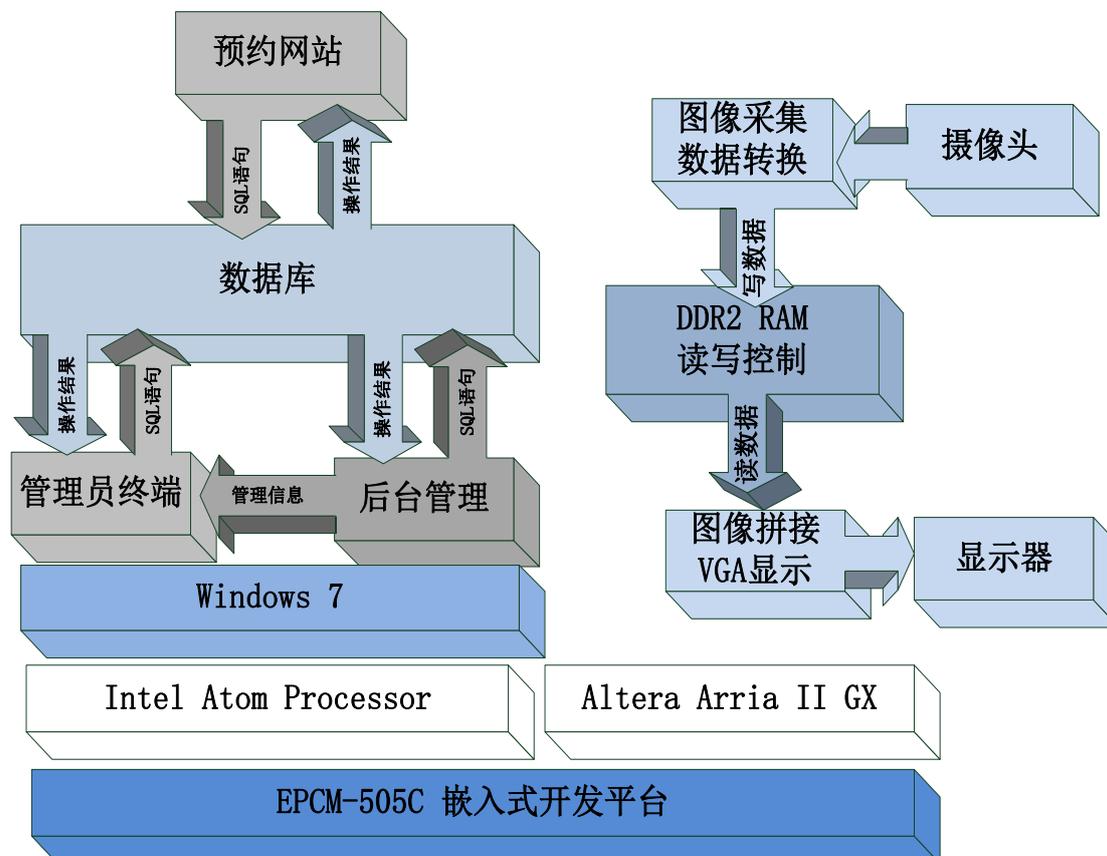


图 3. 18 本地服务器结构框图

3.4.1 基于 Intel Atom 处理器功能设计

我们的系统中基于 Intel 的 Atom 处理器功能设计，因直接面向管理员，并且包含数据库和网络服务器的应用，基本上属于软件开发设计。综合考虑用户的适应性，并且基于 Windows 开发较为普遍和便捷，我们选择了 Windows 7 操作系统。

应用层基于 Intel 的 Atom 处理器软件设计分为管理员终端软件、学生预约网站和管理员管理网站三个部分，

由于各软件模块均需要提供数据库支持，所以我们首先叙述数据库设计，

数据库设计

实验室数据库是整个实验室管理系统的最高层，维护着设备的购买信息、工作信息等相关信息，并对预约、查询等功能进行后台管理。

数据库环境说明

仪器及预约信息数据库采用 MySQL Community Edition 数据库管理系统建立并维护。MySQL 是最流行的开放源码 SQL 数据库管理系统，它是由 MySQL AB 公司开发、发布并支持的。MySQL 数据库服务器具有快速、可靠和易于使用的特点。MySQL 服务器最初是为处理大型数据库而开发的，与已有的解决方案相比，它的速度更快，多年以来，它已成功用于众多要求很高的生产环境。尽管 MySQL 始终在不断发展，但目前 MySQL 服务器已能提供丰富和有用的功能。它具有良好的连通性、速度和安全性，这使的 MySQL 十分适合于访问 Internet 上的数据库。

数据库在 Windows 7 操作系统下运行，数据库名为 device。初始的 root 用户密码为 root，MySQL 服务器的端口号: 3306。

数据库结构设计

仪器及预约信息数据库所需要的信息如下：

- ① 仪器购买信息
- ② 仪器运行状况信息
- ③ 学生基本信息
- ④ 管理员基本信息
- ⑤ 预约记录信息
- ⑥ 实验室 IP 地址信息

其中，①、②、⑤提供对仪器预约功能的支持；第③、④、⑥部分则是后台维护所需要的。按各信息之间的对应关系，数据库各表及表项设计如下：

1) device_info_tab

这个表用于保存设备购买信息以及设备位置信息。

各字段意义如下：

表 3. 10 设备购买信息以及设备位置信息各字段表

字段	意义	备注
device_code	设备编号	主键
device_name	设备名称	
description	设备描述	
oper_date	购买日期	

buyer	购买人	
seat	设备所在座位号（感知节点终端号）	
row	设备所在排号（感知节点控制器号）	
room	设备所在实验室号（感知节点中心管理器号）	

2) device_use_info_tab

这个表用于保存设备预约信息，标志位 alarm 用于定时提醒感知节点中心管理器有预约事件发生。

各字段意义如下：

表 3. 11 设备预约信息各字段表

字段	意义	备注
use_id	设备预约序列号	主键，自增
device_code	设备编号	
login_id	使用人 ID	
use_date	预约日期	
use_status	预约时间区间（上午、下午、晚上）	
room	设备所在实验室号（感知节点中心管理器号）	
row	设备所在排号（感知节点控制器号）	
seat	设备所在座位号（感知节点终端号）	
alarm	预约提醒标志位	

3) device_his_info_tab

这个表用于保存历史预约信息，当预约的学生签到后，其本次预约信息就会转移到这个表里，各次不同的预约由 use_id 区分。

各字段意义如下：

表 3. 12 历史预约信息各字段表

字段	意义	备注
use_id	设备预约序列号	主键
device_code	设备编号	
login_id	使用人 ID	
use_date	预约日期	
period	预约时间区间（上午、下午、晚上）	
room	设备所在实验室号（感知节点中心管理器号）	
row	设备所在排号（感知节点控制器号）	
seat	设备所在座位号（感知节点终端号）	

4) user_info

这个表用于保存设备使用者（学生）的信息，每次需要预约登录的时候网页服务器会查找这个表以验证学生身份。

各字段意义如下：

表 3. 13 设备使用者信息各字段表

字段	意义	备注
login_id	使用者登录 ID	
stu_num	使用者学生证号	主键
name	使用者姓名	
password	使用者登录密码	
gender	使用者性别	
birth	使用者出生日期	
psn_ID	使用者身份证号	
email	使用者电邮	

5) admin

这个表用于保存设备管理员者的信息。每次管理员需要通过网页（或终端）登录的时候，网页服务器(或管理员终端软件)会查找这个表以验证管理员身份。不同权限的管理员还可以按不同安全级别通过管理员终端软件访问数据库中的内容。

各字段意义如下：

表 3. 14 设备管理员信息各字段表

字段	意义	备注
name	管理员登录用户名	
realname	管理员真实姓名	
password	管理员登录密码	
login_id	管理员个人 ID	主键
gender	管理员性别	
birth	管理员出生日期	
power	管理员权限，分 4 等	

6) student_info

这个表用于保存学生信息，这组信息是预存在数据库中的。当有学生需要注册账号的时候网页服务器会查找这个表以验证学生身份。

各字段意义如下：

表 3. 15 学生信息各字段表

字段	意义	备注
name	学生姓名	
gender	学生性别	
psn_ID	学生身份证号	
stu_num	学生学生证号	主键

7) exp_record_tab

这个表用于保存学生使用设备信息，签到后其信息会记录到这个表中，通过这个表中的签到时间项，结合上述的预约时段信息，可以得到学生出勤（迟到、旷课等）信息。

各字段意义如下：

表 3. 16 学生使用设备信息各字段表

字段	意义	备注
exp_id	设备使用序列号	主键, 自增
login_id	使用者登录 ID	
sign_in_time	签到时间	

8) utilization_rate_tab

这个表用于保存设备使用率信息。设备使用率定义为累计使用时间与设备购买总时间之比。

各字段意义如下:

表 3. 17 设备使用率信息各字段表

字段	意义	备注
device_code	设备编号	主键
acc_time	累计使用时间	
start_time	本次使用开始时间	
late	本次迟到状况	

9) room_info

这个表用于保存实验室的 IP 地址信息。

各字段意义如下:

表 3. 18 实验室 IP 信息各字段表

字段	意义	备注
room_code	实验室编号 (感知节点中心管理器号)	主键
room_ip	实验室内感知节点中心管理器的 IP 地址	

10) room_power

这个表用于保存设备当前功率和仪器位置信息。通过这个表中的 room_ip 去查找上表中的 room_ip, 可以得到仪器所在实验室号。实际使用上可以通过联合查找来实现。

各字段意义如下:

表 3. 19 仪器功率和位置信息各字段表

字段	意义	备注
device_code	设备编号	主键
room_ip	实验室内感知节点中心管理器的 IP 地址	
power	设备功率信息	
row	设备所在排号 (感知节点控制器号)	
seat	设备所在座位号 (感知节点终端号)	
now_on	当前设备运行状态信息	
former_on	前一刻设备运行状态信息	

数据库环境说明

对于数据库来说, 安全性至关重要。在 MySQL 提供的安全机制的基础上, 我们还采取了以下措施来进一步加强数据库安全:

- 1) 防止用户直接操作数据库

实验室管理数据库安装在指定服务器上，用户通过相应的后台管理软件或网页访问数据库表中的数据。除此之外，不提供任何访问数据库途径，避免误操作造成的不必要损失。

2) 权限管理

根据应用需求为不同的管理者设置不同的访问权限，避免用户进行权限之外的操作。网页服务只提供基本的用户管理功能和设备信息查看功能。设备信息的修改以及实验室 IP 等涉及到系统运行的重要信息需要在服务器上进行操作。

管理员终端软件设计

前台设计

管理员终端软件的前台部分是一个图形界面。此界面主要为设备管理员而设计，希望他们通过此界面更好更安全的对实验室进行管理。

管理员终端软件包括设备库存管理、统计信息管理和管理员用户管理三个部分。通过实验室数据库软件用户可以对设备库存信息、设备当前运行状态等信息进行实时有效的监测。



图 3. 19 数据库界面

如图 3.19 所示，每当有新的设备加入到实验室时，管理人员可以输入设备信息后按下“新设备入库”键，设备信息即加入到数据库中；当需要删除时，只要点击相应的设备项再按下“库存清理”即可完成设备信息的删除；当需要修改设备信息时，只需点击设备项，在上面的信息栏里修改设备信息，再按下“修改设备信息”按钮即可。

统计信息管理可以设置所管理实验室的 IP 地址。如 3.20 图所示：



图 3. 20 实验室 IP 设置窗口

管理员用户可以通过点击“添加”或“删除”按钮对实验室 IP 地址信息进行添加和删除操作，当有重复的信息时，系统还会弹出警告。

点击“查看设备功率信息”即可查看所管理实验室的设备电流信息。如图 3.21 所示：



图 3. 21 仪器设备功率查看窗口

为了便于管理员对各种仪器的位置有一个全局的掌握，程序附加了绘制仪器位置拓扑图的功能。为了便于主程序调用，本部分写成了动态链接库（.dll）的形式。

拓扑图绘制程序首先以地址的方式通过初始化函数获取必要的数，并建立窗口线程。该进程的程序流程图如图 3.22 所示。收到数据之后，程序将统计感知节点的个数，并在大小图标中选出一套图标来绘制拓扑图。

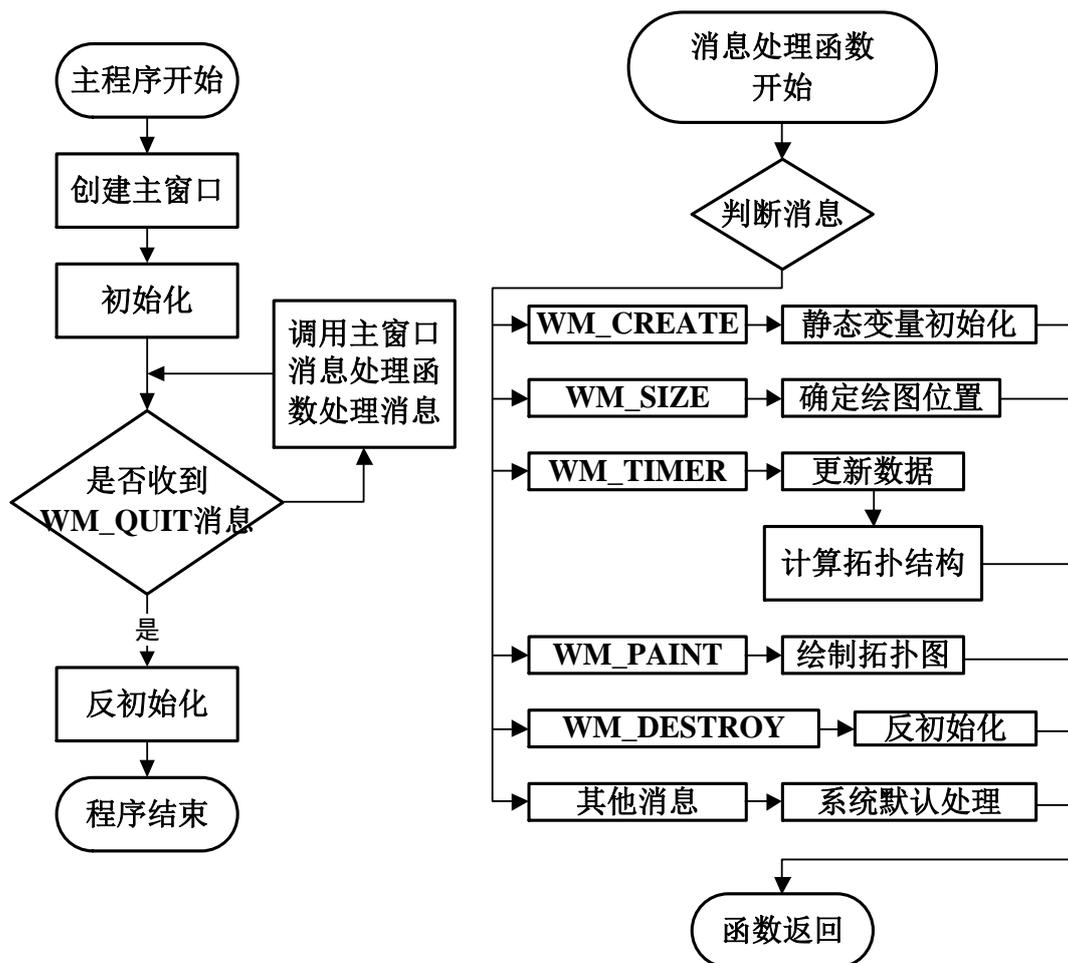


图 3. 22 拓扑图绘制软件流程图

设备管理系统还可以设置用户等级，不同等级的用户具有不同的权限，小至查看功率信息，大至库存信息修改都可以纳入用户等级管理范畴。

后台设计

管理员终端软件除了前台的功能以外，还在后台提供一定的服务，具体来说有以下几点：

① 拆包

管理员终端软件利用 TCP Socket 和感知节点中心管理器建立连接。感知节点中心管理器发来的帧有两种类型，一是签到帧，而是数据帧。通过解析从感知节点中心管理器发来的数据帧中的 IP 地址和设备状态信息，联系上述数据库的表 room_ip，可以获得设备的实验室号和工作状态以及异常信息等，并发往前台程序供管理员查看。

② 判断设备开关动作

通过分析设备的工作状态，可以找出设备开关瞬间，当设备从关到开时判定为打开动作，当设备从开到关时判定为关闭动作。将相关信息记录进数据库。具体实现上通过表 room_power 中的 former_on 和 now_on 两项来实现。

③ 计算设备利用率

通过判断设备的开关动作，可以得到本次设备使用的时间。累加到 utilization_rate_tab 的 acc_time 里面就可以计算设备利用率了。根据前述，设备使用率定义为累计使用时

间与设备购买总时间之比。

④ 学生签到登记

通过解析从感知节点中心管理器发来的签到帧，可以获取学生签到的信息，结合签到时间和预约记录，可以判定学生是否迟到等。具体实现上通过读写 `utilization_rate_tab` 来实现。

网站设计

建立实验室预约网站能为学生用户提供更为全面、便捷的实验室预约服务，让用户足不出户可以在家了解实验室设备信息、预定实验台等。管理员也可以通过网站了解预约列表、设备概要、设备利用率统计等信息，网站与管理终端软件相辅相成，形成一套完整的服务体系。

功能分析

网站服务的主题体是学生用户及实验室管理员。其主要实现以下功能：

- 1) 基本账号维护功能
 - ◆ 注册
 - ◆ 登录
 - ◆ 密码挂失
 - ◆ 维护个人信息
- 2) 预约信息维护功能
 - ◆ 预约实验台
 - ◆ 退订实验台
- 3) 信息浏览功能
 - ◆ 浏览可用仪器信息
 - ◆ 浏览学生迟到信息

主要服务流程

以下对网站涉及到的主要服务流程进行分析，进一步明确对网站的需求，为网站最终结构的确定提供参考。

1) 注册账号

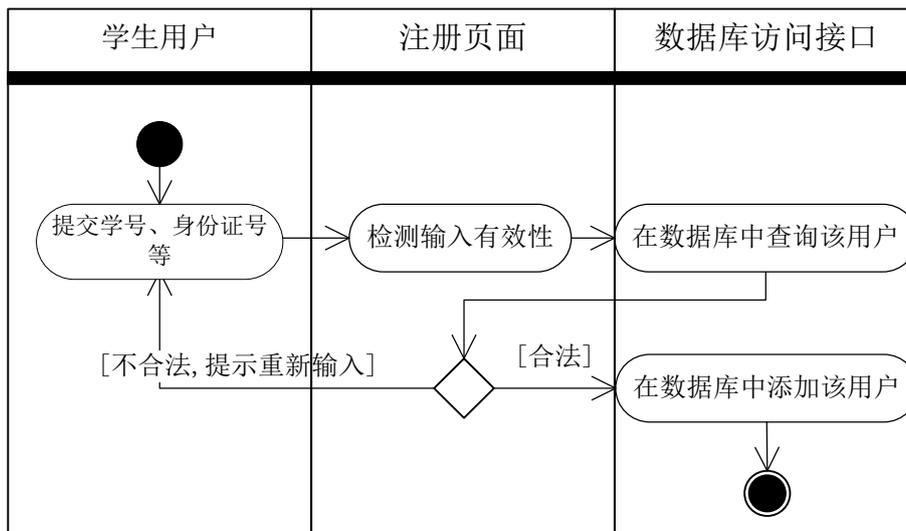


图 3.23 注册账号——活动图

2) 预约实验台

学生用户首先登录网站首页，选择需要实验的仪器，确定仪器以后之后链入座位信息页面进行座位选择。

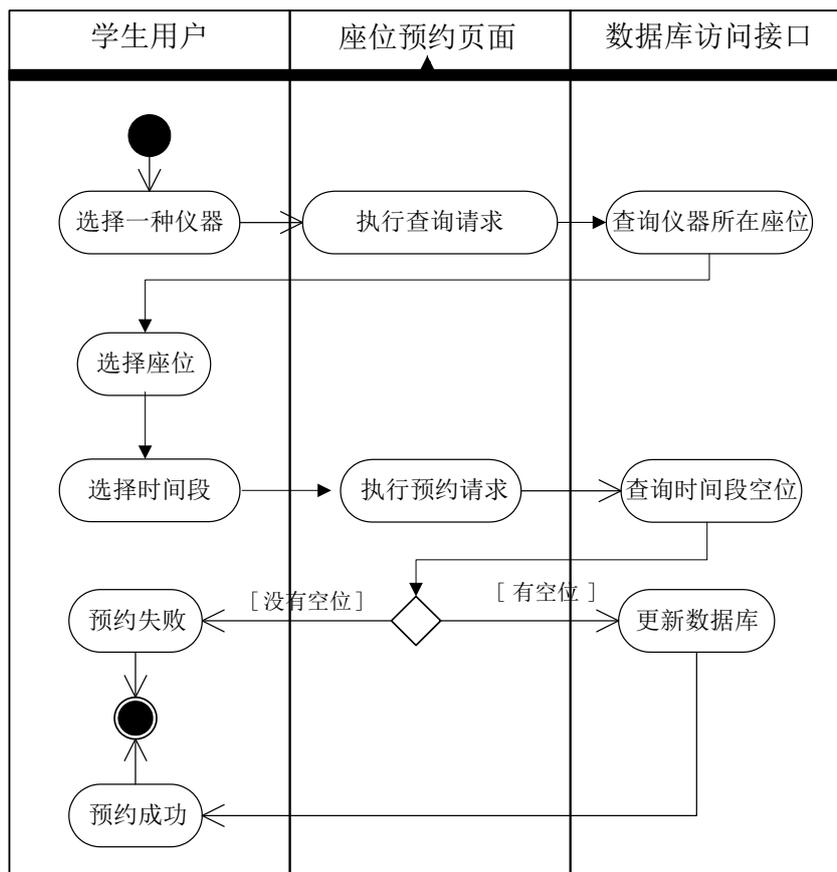


图 3.24 预约——活动图

3) 找回密码

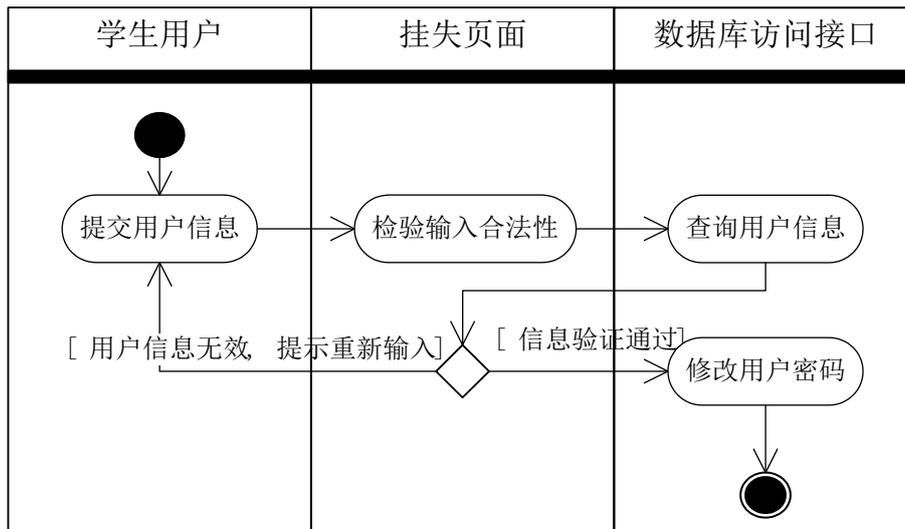


图 3.25 找回密码——活动图

4) 管理员用户页面

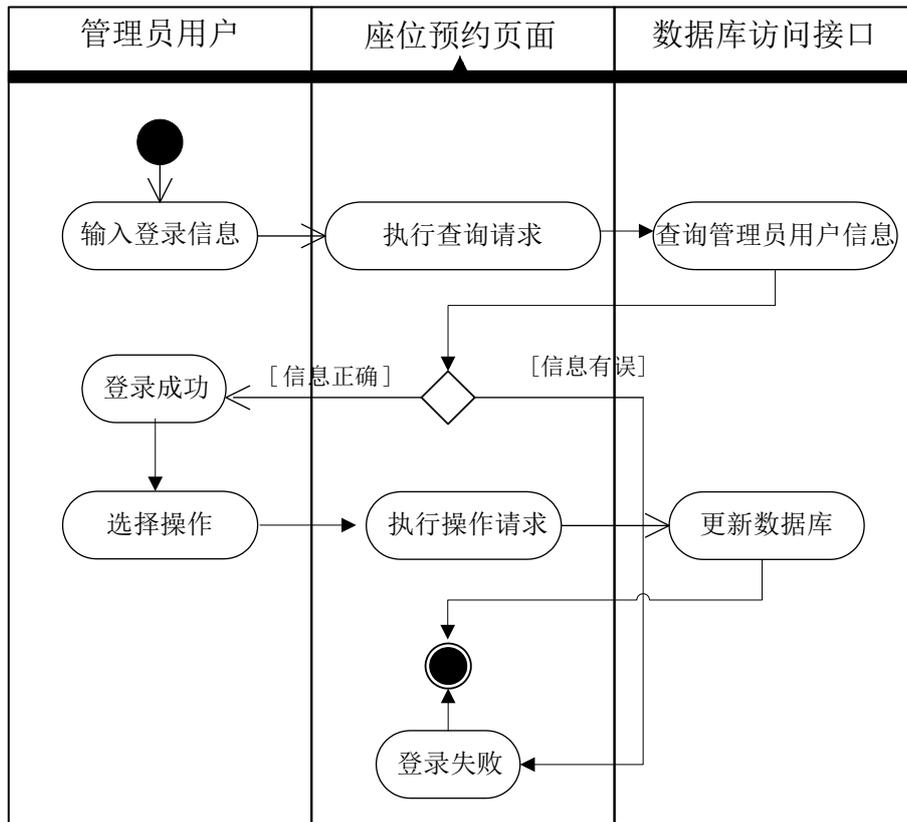


图 3.26 管理员——活动图

5) 其余部分

个人信息维护以及取消预约的流程与上述四个事件类似，均为用户在相应页面提交服务请求后，页面与数据库交互，然后返回操作结果。

3.4.2 基于 Arria II GX FPGA 功能设计

应用层 EPCM-505C 开发板中关于 Arria II GX FPGA 功能设计，因 FPGA 拥有高速、高带宽、高实时性、高集成度及并行化和可重配置的特点，非常适合数据量大的图像处理。并且因开发型实验室人员出入复杂，对开发型实验室进行实时监控就显得额外重要。故我们应用本次平台中的 FPGA 完成电视墙监控的功能。具体实现分为两个图像的采集和图像的显示两个方面。

硬件设计

我们利用 EPCM-505C 开发板中的 Altera HSMC 高速接口扩展了摄像头模块和 VGA 模块。首先选择了友晶公司的 THDB -HTG HSMC 转 GPIO 的转接板，完成了至普通接口的转换。摄像头模块我们选用了友晶公司的 D5M 500 万像素摄像头模块。如图 3.27 所示 VGA 显示模块我们选择了 ADI 公司高速 240MHz 三通道 10bit 视频 D/A 芯片 ADV7123，支持 100Hz 刷新率时的高达 1600×1200 分辨率的视频输出。

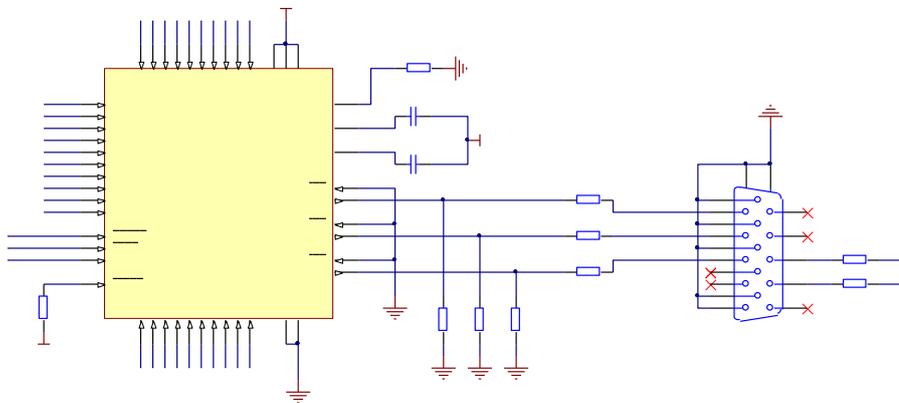


图 3.27 VGA 显示电路设计

软件设计

关于 Arria II FPGA 软件设计是在 FPGA 中通过硬件描述语言 Verilog 实现功能性的模块，如图 3.28 所示，主要包含 CMOS 数据捕获模块、Bayer 格式与 RGB 格式转换模块、DDR2 复合读写控制模块、VGA 控制模块四个部分。其中关于 DDR2 复合读写模块通过编写 Avalon 自定义外设，并在 SOPC builder 中搭建小型读写可编程系统实现对 DDR2 RAM 大量数据交互的读写控制。

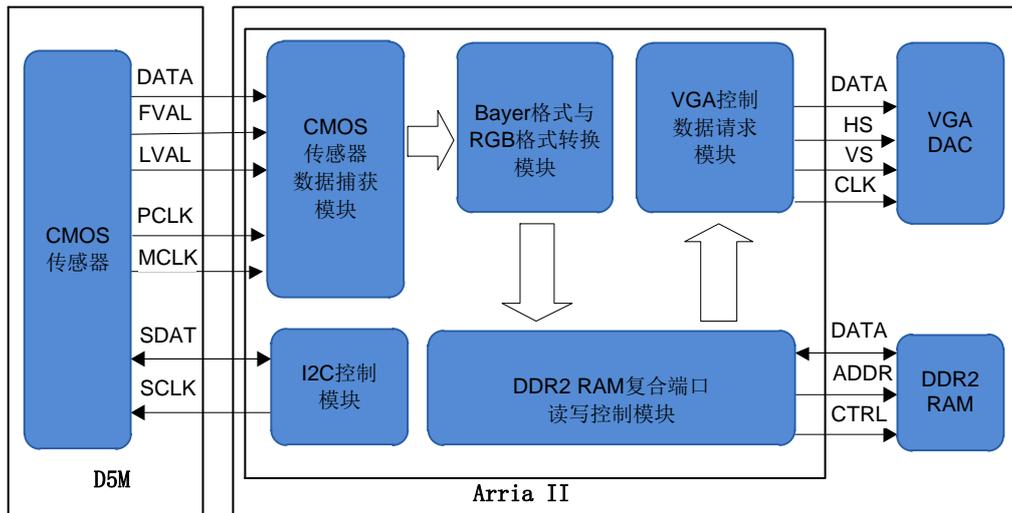


图 3.28 Arria II FPGA 功能框图

CMOS 数据捕获模块

此模块用来处理从 D5M CMOS 传感器的传来的 12bit 像素数据。主要功能是产生横向，纵向和框架计数器以控制有效数据的读入。如图 3.29 所示为 D5M 模块数据读写时序图，数据的读入都是在 PIXCLK 的控制下完成的，再根据“行有效”和“帧有效”信号完成有效像素数据的读入。

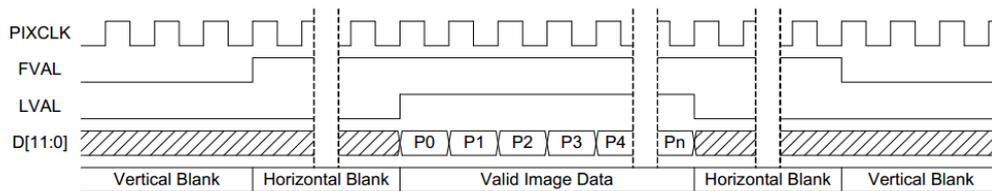


图 3.29 D5M 数据读写时序图

Bayer 格式与 RGB 格式转换模块

该模块是用来将数据格式从 Bayer 转换为 RGB 格式，将提供红色、绿色和蓝色各 10bit 的数据。如图 3.30 所示，为 D5M 中 Bayer 的数据格式。因此该模块的主要功能通过设置计数器完成对每个像素三个颜色数据的分离。

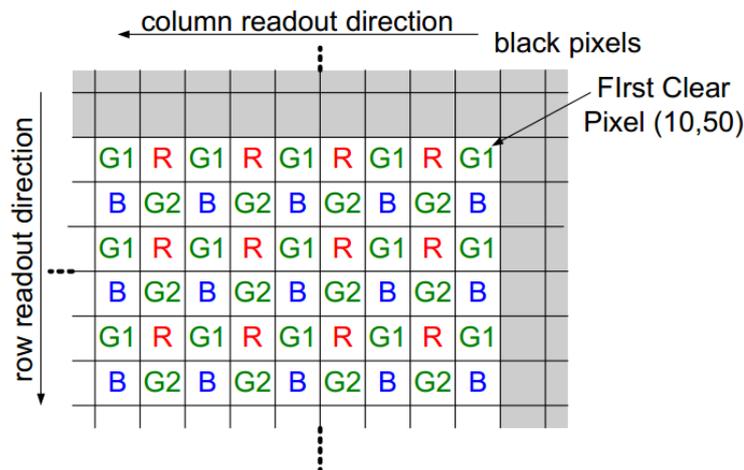


图 3.30 D5M 数据格式

DDR2 复合读写控制模块

该模块是通过 DDR2 RAM 的读写作为帧缓存来存储和读写每个像素的所有 RGB 值。对于图像处理的大量数据，且涉及到读写同步的问题。我们是通过 Avalon 自定义外设多端口读写控制模块实现，具体实现为通过 FPGA 内部资源实现读写的 FIFO，并统一根据读写的使能信号完成与 DDR2 RAM 的数据控制。对于 DDR2 RAM 的底层读写时序，我们通过 SOPC builder 工具添加 Altera 公司提供的 IP 核实现，具体搭建的 SOPC 系统如图 3.31 所示。

Use	Conn...	Name	Description	Clock	Base	End	IRQ	Tags
<input checked="" type="checkbox"/>		ddr2 s1	DDR2 SDRAM Controller with ALTMEM... Avalon Memory Mapped Slave	clk_100 ddr2_sysclk	0x00000000	0x0fffffff		
<input checked="" type="checkbox"/>		Read_Port0 avalon_master	DDR2_SODIMM_Read_Port Avalon Memory Mapped Master	[clock_sink] ddr2_sysclk				
<input checked="" type="checkbox"/>		Write_Port0 avalon_master	DDR2_SODIMM_Write_Port Avalon Memory Mapped Master	[clock_sink] ddr2_sysclk				

图 3.31 DDR2 读写控制 SOPC 系统

VGA 控制模块

该模块根据读使能信号完成像素数据读取，并通过设置行和场计数器安装 VGA 时序向 D/A 传递每个像素的 RGB 的数据。我们选择了 640×480 分辨率作为显示方案，因此数据读写及 D/A 的时钟都是通过锁相环分频得到的 25MHz 的时钟。

第四章 系统功能测试

为了真实反映系统的功能,我们在华中科技大学电工电子科技创新中心的实验室装配整个系统各个模块,进行整体功能的测试。如图 4.1 所示为创新中心实验室概况,首先在创新中心教师办公室布置本地服务器(EPCM-505C 开发板),在创新中心的 608 实验室布置感知中心管理器,并在 608 实验室中第一至二排布置感知节点控制器,在第一至二排的 88 号至 90 号实验台布置感知节点终端。



图 4.1 华中科技大学电工电子科技创新中心实验室概况

对于整个系统功能测试,我们按层次和模块测试划分一下几个部分:

- 感知节点终端功能测试
- 感知节点控制器功能测试
- 感知节点中心管理器功能测试
- 本地服务器功能测试

4.1 感知节点终端功能测试

如图 4.2 所示为感知节点终端硬件实物图，感知节点终端功能测试主要为电器识别测试。



图 4.2 感知节点终端硬件实物图

测试地点：华中科技大学电工电子科技创新中心 608 实验室 88-90 实验台

测试设备： Tektronix TDS 1002B 型数字存储式示波器、EE1643C 型函数信号发生器
AT5011 频谱仪、感知节点终端两台。

测试环境：一般室内环境。

测试说明：

对于测试感知节点终端的电器识别功能，将以上几种用电器添加入数据库。表 4.1 显示了这几种用电器使用时同种用电器可能出现的功率状态。并且为了标识识别正确，我们在测试时额外添加了 LCD 液晶显示模块，完成对电器识别状态的显示。

表 4.1 用电器用电状态表

用电器名称	状态编号	均功率	状态	LCD 显示方式	数量
示波器	00	0	未使用	显示示波器关闭	1
	01	29W	开机自检	显示示波器打开	
	02	26W	正常使用	显示示波器打开	
频谱仪	00	0	未使用	显示频谱仪关闭	1
	01	35W	开机一小段时间	显示频谱仪打开	
	02	39W	后期一段时间	显示频谱仪打开	
函数信号发生器	00	0	未使用	显示信号发生器打开	2
	01	21W	接入状态	显示信号发生器关闭	

对上表做以下特别说明，对于数量的计量，指的是对同种型号的用电器的统计。比如，若两用电器都是函数信号发生器，但是型号或者品牌不相同，则认为这两用电器属于不同种类的用电器。

值得指出的是，非存储器中用电器接入系统是不值得提倡的，这样会导致系统对正常

用电器的误识别。因此，在使用新用电器接入前，需对系统进行“存储”操作，存储操作可在仪器购入时对每个实验台上的实验仪器进行入库工作。

系统测试选取了 2012 年 6 月 20 日作为测试时间，在测试之前，系统中所有识别的仪器已完成入库的工作。表 4.2 给出了测试数据。

表 4. 2 用电器测试数据表

测试时间段 仪器种类及参数		14: 00~ 15:00	15:00~ 16:00	16:00~ 17:00	17:00~ 18:00
		实验台 88 示波器	使用时间	40min	关闭
显示状态	工作图标		非工作图标	工作图标	非工作图标
平均功率	28.4W		0W	29.1W	0W
实验台 88 函数信号 发生器	使用时间	20min	10min	关闭	30min
	显示状态	工作图标	工作图标	非工作图标	工作图标
	平均功率	22.2W	21.6W	0W	23.4W
实验台 88 频谱仪	使用时间	15min	关闭	关闭	20min
	显示状态	工作图标	非工作图标	非工作图标	工作图标
	平均功率	35.7W	0W	0W	36.2W
实验台 90 示波器	使用时间	关闭	30min	关闭	40min
	显示状态	非工作图标	工作图标	非工作图标	工作图标
	平均功率	0W	27.9W	0W	28.1W
实验台 90 函数信号 发生器	使用时间	50min	10min	30min	关闭
	显示状态	工作图标	工作图标	工作图标	非工作图标
	平均功率	22.9W	23.2W	21.9W	0W
实验台 90 频谱仪	使用时间	20min	关闭	25min	关闭
	显示状态	工作图标	非工作图标	工作图标	非工作状态
	平均功率	34.9W	0W	35.3W	0W

测试分析：

通过上表数据及大量的调试过程可得到，正常使用时，单个实验仪器接入系统时识别准确率能够达到 95% 以上，多个用 多个实验仪器同时接入系统时准确率能够达到 90%。系统经过了大量的用电器投入和切除操作，误识别率极低。当出现了误识别，由于系统特征参数与用电器参数不吻合，系统亦能使用多用电器的识别算法纠正错误，得到正确的识别结果。

结合测试数据及以上的分析，可以得出以下测试结论：感知节点终端能够胜任实验室基本仪器的识别任务，达到对仪器工作状态的实时监测的目的。

4.2 感知节点控制器功能测试

如图 4.3 所示为感知节点终端硬件实物图，感知节点终端功能测试主要为轮询通信的测试。



图 4.3 感知节点控制器硬件实物图

测试地点：华中科技大学电工电子科技创新中心 608 实验室第一至二排 88-90 实验台

测试设备：双绞线、感知节点终端两台、感知节点控制器一台、自制 RS485 调试助手。

测试环境：多台电脑运行，存在电脑、WiFi、无线鼠标、扫频仪、开关电源、蓝牙等辐射源。

测试说明：

两台感知节点终端与感知节点控制器通过双绞线相连，两个感知节点终端分别发送如表 4.3 的数据，感知节点控制器发起轮询，并且当分别受到终端 1 和终端 2 的正确的数据包后，测试通过液晶模块分别显示相应内容，整个过程通过自制的 RS485 调试助手通过电脑进行监控。

表 4.3 测试数据包内容

数据发送端	发送数据包内容（十六进制）	LCD 显示方式
感知节点终端 1	0x01、0x02、0x03、0x04	终端 1 数据 1
	0x05、0x06、0x07、0x08	终端 1 数据 2
	0x09、0x0a、0x0b、0x0c	终端 1 数据 3
感知节点终端 2	0x01、0x02、0x03、0x04	终端 2 数据 1
	0x05、0x06、0x07、0x08	终端 2 数据 2
	0x09、0x0a、0x0b、0x0c	终端 2 数据 3

整个测试过程，每个终端每隔 1 秒依次发送一次数据包，并且依次发送数据 1、数据 2、数据 3，两个终端各完成 50 次数据发送，同时在节点控制器的 LCD 液晶模块上进行登记记录，得到表 4.4 所示的测试结果。

表 4.4 测试数据包内容

LCD 显示方式	对应数据内容	终端发出数据包数量	控制器正确解包数量	误码率
终端 1 数据 1	0x01、0x02、0x03、0x04	16	15	6%
终端 1 数据 2	0x05、0x06、0x07、0x08	16	15	
终端 1 数据 3	0x09、0x0a、0x0b、0x0c	18	17	
终端 2 数据 1	0x01、0x02、0x03、0x04	17	16	4%

终端 2 数据 2	0x05、0x06、0x07、0x08	18	18
终端 2 数据 3	0x09、0x0a、0x0b、0x0c	15	14

测试分析:

通过上表数据及大量的调试过程可得到，轮询协议通信过程中，可能出现丢包的现象，因不能正确收到数据包，导致误码率增加。因轮询通信协议，通信过程都是由主机发起，可能因为从机数据包较多，导致暂时的挤压，主机因为要轮询所有的从机。故完成一轮询问需要较长的时间，所以主机可能来不及及时收集从机的实时数据。但本系统中，没有实时性要求很高的需求，且由感知节点终端数据是不停歇的发送，数据包存在一定冗余，所以丢包可以容忍。对于共享介质的多机通信来说，向正确的对象传递正确的数据才是最重要的，故轮询通信一些完全可以满足各个模块间通信的需求。

感知节点控制器与节点中心管理器的无线通信，也是通过轮询通信协议完成，因经过大量的调试过程，我们已经打通了各层间的通信，故不再单独测试。

4.3 感知节点中心管理器功能测试

如图 4.4 所示为感知节点终端硬件实物图，感知节点终端功能测试主要为轮询通信的测试和 socket 通信测试

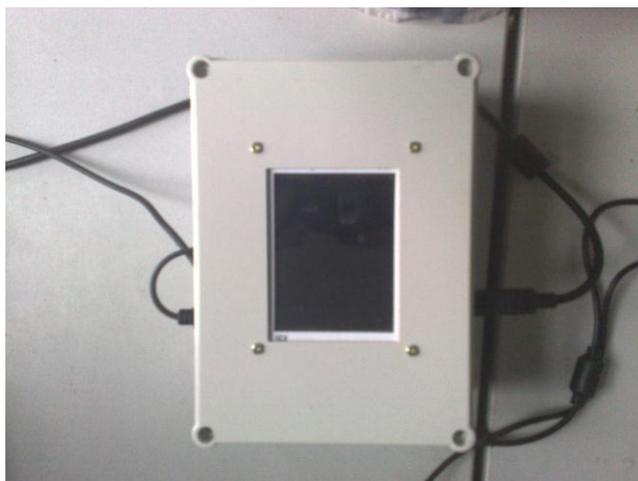


图 4.4 感知节点中心管理器硬件实物图

测试地点: 华中科技大学电工电子科技创新中心 608 实验室

测试设备: 感知节点终端两台、感知节点控制器一台、感知节点中心管理器一台、本地服务器一台、Tektronix TDS 1002B 型数字存储式示波器、EE1643C 型函数信号发生器 AT5011 频谱仪。

测试环境: 一般室内环境。

测试说明:

两台感知节点终端分别摆放在 608 实验室内第一排 0 号和 1 号实验台，初始时，两台感知节点终端上没有管理任何仪器，中心管理器的查看界面如图 4.5 所示，卡号为“111111111”表示节点终端上不识别的用电器即学生个人用电器没用用电行为。

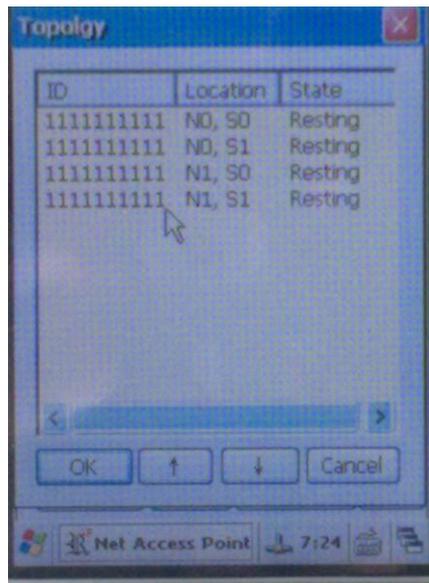


图 4.5 中心管理器监控界面

首先将表明贴装电子标签卡号为“0000997216”的函数信号发生器在第一排感知节点控制器处完成一次刷卡操作，控制器登记 LED 亮起，接下来将此台设备搬移到 0 号实验台的感知节点终端处完成一次打开的操作，中心管理器向上层本地服务器完成信息交互，本地服务器的管理员终端拓扑图的查看界面如图 4.6 所示，可以看到已经有一台设备纳入管理，此时显示其工作状态为打开的状态。

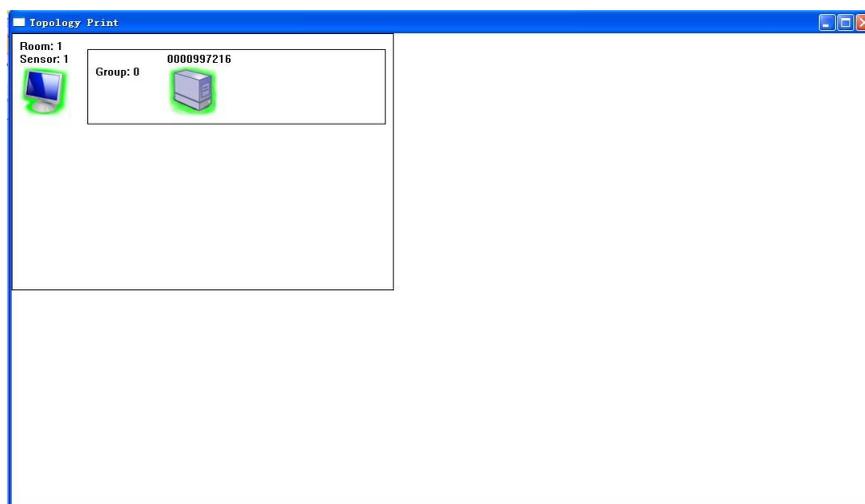


图 4.6 本地服务器的管理员终端拓扑图的查看界面 1

依次将表面贴装电子标签卡号为“0000997217”的函数信号发生器在第一排 1 号实验台登记，卡号为“0000997218”的频谱仪在第一排 1 号实验台登记，登记过程如上所示。登记完毕后，关闭卡号为“0000997217”的函数信号发生器，此时本地服务器的管理员终端拓扑图的查看界面如图 4.7 所示。

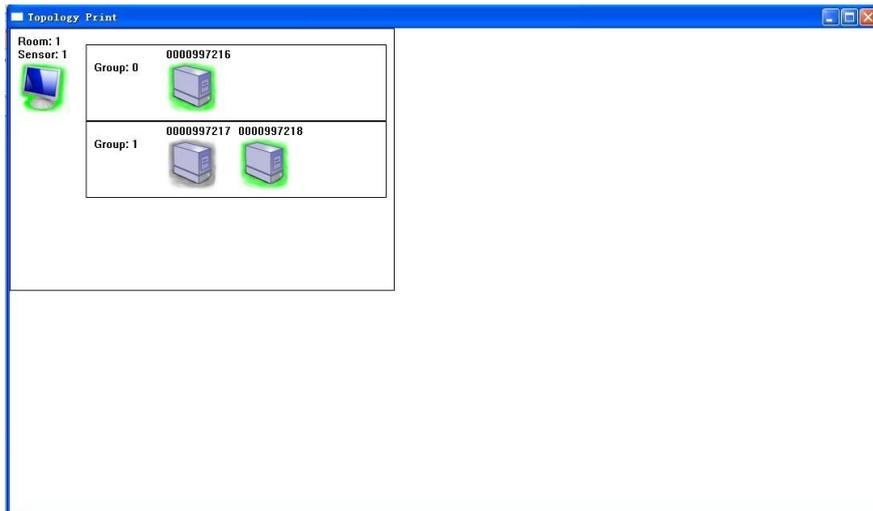


图 4.7 本地服务器的管理员终端拓扑图的查看界面 2

测试分析:

通过以上范例及大量的调试过程可得到，感知层与网络层可以成功完成信息交互，感知中心管理器可以查看管理本实验室的房间内所有仪器设备的工作状态。另外中心管理器将其管理范围内的仪器设备信息向应用层通过局域网传递。并可根据上层管理员终端软件下达的指令完成对识别的用电器（仪器设备）和非识别的用电器（学生个人用电器）的供电控制，从而达到对实验室仪器的用电管理的目地。

4.4 本地服务器功能测试

对于本地服务器的功能测试主要为预约网站的测试。如图 4.8 所示为网站的主页。



图 4.8 预约网站首页

测试地点：华中科技大学电工电子科技创新中心 608 实验室

测试设备：本地服务器、局域网路由器、个人电脑。

测试环境：一般室内环境。

测试说明：

网站是在 EPCM-505C 嵌入式开发平台上搭建网络 APACHE 服务器实现的，并且为了测试，我们通过路由器，搭建了小型局域网。其他电脑与 EPCM-505C 通过路由器相连，则其他电脑可通过浏览器访问预约网站的相关页面。

- 学生用户



图 4.9 注册界面及用户密码重置界面

如图 4.9 所示为学生用户注册界面和密码重置界面，为了正确验证学生的身份，注册时需要提供学生学号和身份证号，本地服务器数据库中已预存学生资料记录。

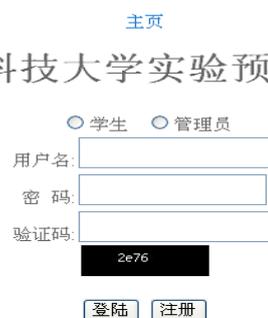


图 4.10 用户登陆界面

实验预约

选择房间 [101](#) [102](#) [103](#) [104](#)

实验预约

选择时间
 当前预约日期: 2012-06-27

	<input type="button" value="预约机器"/> <input type="button" value="取消预约"/> <input type="button" value="修改密码"/>		
座位号	上午	下午	晚上
1	<input type="radio"/> 空闲	<input type="radio"/> 空闲	<input type="radio"/> 空闲
2	<input type="radio"/> 空闲	<input type="radio"/> 空闲	<input type="radio"/> 空闲
3	<input type="radio"/> 空闲	<input type="radio"/> 空闲	<input type="radio"/> 空闲
4	<input type="radio"/> 空闲	<input type="radio"/> 空闲	<input type="radio"/> 空闲

图 4.11 实验室预约界面

如图 4.10 和 4.11 所示，为学生进行预约实验的相关网页界面，学生输入之前注册过的用户名、密码以及验证码后，进入可预约页面。点击其中一个实验室房间号，进入实验台预约界面。在这里可以按照仪器类型搜索实验台，也可以直接点击空的实验台进行预约。

- 管理员用户

[主页](#)
管理员身份验证
 请输入用户名和密码

用户名:

密码:

[主页](#)

实验室管理系统

登录成功, 管理员, 欢迎光临

[用户管理](#)
[修改密码](#)
[预约列表](#)
[设备概要](#)
[设备利用率统计](#)
[返回](#)
[退出登录](#)

图 4.12 管理员用户界面

如图 4.12 所示为管理员登陆界面，管理员用户的账号和密码是由系统预先分配的。

如图 4.13 所示为可供管理员查看记录页面，包含用户列表、用户预约列表、设备概要、设备利用率统计。

[用户管理](#) [修改密码](#) [预约列表](#) [设备概要](#) [设备利用率统计](#) [返回](#) [退出登录](#)

用户列表

[主页](#)

学号	姓名	性别	身份证
201012790	凯培	女	440123456789029966
201012791	石象杰	男	423123456789025659
201012792	孙尚香	女	420123456789025623
201012793	赵学而	男	440123456789027723
201012795	达科特	男	440123456789025631
201012796	约翰	男	440123456789025675
201012799	武安国	男	440123456789027723

[用户管理](#) [修改密码](#) [预约列表](#) [设备概要](#) [设备利用率统计](#) [返回](#) [退出登录](#)

用户预约列表

[主页](#)

use_id	设备编号	卡号	使用日期	使用时段	房间号	排	座位号
1	0000997216	0009472323	2012-02-04 00:00:00	晚上	1	1	2
2	0009434567	0009470028	2012-06-08 20:00:00	下午	1	1	2

[用户管理](#) [修改密码](#) [预约列表](#) [设备概要](#) [设备利用率统计](#) [返回](#) [退出登录](#)

设备概要

[主页](#)

编号	名称	描述	制造商	购入日期	房间号	房间ip	排	座位号
0000997005	EE1643C 函数信号发生器	fangjian1	TZC	2012-02-14 19:50:06			0	0
0000997216	EE1420 DDS信号发生器	hdhgd152	rhre	2012-02-14 19:50:06			0	0
0009434567	电脑	华为	HW	2012-06-08 00:00:00			0	0
0009465274	EE1643C 函数信号发生器	fangjian1	TZC	2012-02-14 19:50:06				
0009465279	EE1643C 函数信号发生器	fangjian1	TZC	2012-02-14 19:50:06			0	0
0009470021	示波器	韩国	HG	2012-06-06 00:00:00	1	172.24.8.89	1	1
0009470023	电脑	华为	HW	2012-06-08 00:00:00	1	172.24.8.89	2	2
0009470024	信号发生器	韩国	HG	2012-05-08 00:00:00	2	172.24.8.90	2	2
0009470025	功率计	电子	HG	2012-06-01 00:00:00	2	172.24.8.90	3	3
0009470026	万用表	韩国	HG	2012-06-06 00:00:00	0		2	3
0009470028	EE1420 DDS信号发生器	hdhgd152	YYL	2012-02-14 19:50:06				
4321012345	示波器	hdhgd152	ZYG	2012-02-14 19:50:06				

[添加设备信息](#)

[用户管理](#) [修改密码](#) [预约列表](#) [设备概要](#) [设备利用率统计](#) [返回](#) [退出登录](#)

设备利用率统计

[主页](#)

编号	名称	房间号	排	座位号	运行时间/h	购入日期	使用率%
0000997005	EE1643C 函数信号发生器	0	0	2		2012-06-24 15:10:25	0.2582404%
0000997216	EE1420 DDS 信号发生器	0	0	17		2012-06-24 15:09:08	2.1944372%
0009465279	EE1643C 函数信号发生器	0	0	0		2012-02-14 21:50:06	0.0000000%

图 4.13 预约记录及设备使用记录查看界面

测试分析:

通过以上范例及大量的调试过程可得到，预约网站可以满足学生对实验室仪器准确预约工作，管理员用户可通过网站实现对实验室仪器设备的远程管理和学生预约记录的查询工作。

第五章 系统特色及功能扩展

5.1 系统特色

作为一个充分整合了多种应用技术且有自己核心算法的作品，无论是在程序设计方面还是算法方面，我们都花了较长的时间来学习、研究及应用，最终使我们的作品得到了较完整的实现。作品最明显的特色有如下五方面：

5.1.1 系统层次结构

本系统创新性地提出了包含节点感知层、节点汇聚层、本地接入层及业务承载层架构的实验室管理系统解决方案，建立了分布式的实验室联动管理系统。节点感知层实现了仪器设备的工作时状态的监控和动态定位，节点汇聚层实现了数据交互的中继，本地接入层实现了面向管理员的人机交互界面，业务承载层实现了面向学生和管理人员的远程服务。并且系统各层次实现了模块化和可裁剪化的设计，可根据实际实验室的具体需求和情况，选择化的进行灵活配置。

5.1.2 智能电器识别技术

传统的对电器的工作状态的查询和管理是在每一台的用电器电源接入口进行采样分析，这对实验室中拥有较多用电器而言，实现对每台仪器工作状态的实时跟踪成本和投入巨大，而感知节点终端只需安置在每个实验台上管理本实验台上的不同种类的多种用电器。除了完成对其用电状态的实时监控，可以达到对实验仪器的动态管理的目的。同时也可统计其耗能情况和设备利用率，为设备处提供仪器设备的使用和下一次采购策略。

5.1.3 仪器设备的动态定位

本系统创新地将基于电流谐波的智能电器识别技术与稳定可靠的电子标签技术结合，实现了仪器设备使用过程中的动态定位。学生用户只需在每次仪器设备异动时，进行简单的刷卡登记操作，即可使管理员对每一台实验设备的位置有全局的掌控，实现了开发型实验室提出资源共享的目标。

5.1.4 实验的预约

本系统创新地提出了学生对实验室资源的自主预约使用目标。学生通过远程 WEB 的方式实现对所需资源的浏览和实验的预约，实验进行时通过配置 RFID 卡在每个实验室的中心管理器完成认证登记后，中心管理器即可向感知层下达指令，打开仪器设备的供电开关，为实验学生提供仪器设备的使用。即实现了学生一对一有针对性的每一张实验台上仪器的使用。

5.1.5 实验室的监控

本系统面临开发型实验室的目标，通过本次大赛的开发平台上的 FPGA 实现了对实验室监控的电视墙的功能设计，管理员即可利用本地服务器 (EPCM-505C 开发平台) 实现 24 小时对实验室的实时监控。

5.2 已实现功能

目前，本系统已完成四台感知节点终端、两台感知节点控制器、一台感知节点中心管理器及本地服务器 (EPCM-505C) 的功能设计。

- 感知节点终端
实现电器识别、通信交互及两路用电的控制的功能设计。
- 感知节点控制器
实现识别信息和卡号的逻辑配对、与终端通信交互、与中心管理器通信交互及 RFID 读卡的功能设计。
- 感知节点中心管理器
实现管理范围内仪器设备的工作状态监控和动态定位的用户界面、与控制器的通信交互、与本地服务器的通信交互、实验人员认证登记及 RFID 读卡的功能设计
- 本地服务器
实现各个实验室内仪器设备实现管理范围内仪器设备的工作状态监控和动态定位的拓扑图显示、数据库服务、WEB 服务及电视墙监控的功能设计。

5.3 系统的功能扩展

由于时间、资金及资源等因素的限制，本作品目前还只是第二版样机的设计，还不能达到产品实用化的程度。要达到真正的产品实用化，还有大量的工作去做。本作品完善后，将作为华中科技大学电工电子科技创新中心实际管理仪器设备试点应用。同时，在第二版样机基础之上还有很多可扩展及改进之处：

- 电器识别
由于部分实验仪器设备是随着实验人员的使用情况，其工作时电流谐波变化范围较大，我们的系统暂时无法对其识别和捕获。但我们对其单独提供了基于门限值的识别和检测策略，单独对此类仪器进行分析，可确认此类仪器是否工作在正常的工作状态，从而完成对实验室中各类仪器设备进行动态管理的目标。
- 分布式系统
本系统目前完成了拥有应用层功能的本地服务器及其以下各层的功能实现，对于协同化的分布式系统，只需再根据相应需求开发相应的本地服务器及其以下各层的功能实现，但因我们考虑过模块化设计，功能方面都留有余量，故硬件不需要任何改动，只需少部分扩展软件功能即可。多个本地服务器及其子层可构成分布式系统，实现整个高校内部所有实验室的资源共享，仪器设备的统一化管理。
- 通信方案
本系统考虑到实验室结构和成本安装等因素，故选择了较为简单可行的有线通信和无线通信结合的解决方案设计，并且使用轮询协议完成数据的可靠传输。当然本系统也可选择了较为成熟的 ZigBee 无线通信方案和 CAN 总线的有线有线通信方案。
- 成本及性能
在保证性能的同时，尽可能减少成本，在华中科技大学各电子线路实验室推广应用。

第六章 结束语

开放型实验室灵动助理的概念提出是在 2011 年 9 月，当时我们刚刚都经历过 2011 年全国大学生电子设计竞赛的历练。在竞赛培训的过程中，因为时间紧张且参赛规模较大，我们发现在实验室仪器设备管理较低效，经常出现仪器设备异动找不到的情况，导致不能充分利用。且因为竞赛期间，时间都很紧迫，经常出现通宵制作作品的情况，但在非正常工作期间，实验室管理人员都不在岗。而实验室仪器设备都处于超负荷运转，如某小组半夜休息，但仪器设备却忘记关闭，导致仪器设备持续工作了十几个小时。并且为了开放供竞赛培训，实验室整个暑假都处于开发的状态，这对实验室安全管理提出了严峻的挑战。

因此我们经过与指导老师的多次讨论，经过五六次大的方案修改、十几次小的实现方案的论证、几十次的团队小组内部会议。并且通过四个月的不懈努力，我们的系统已完成了第一版和第二版样机的制作，各个模块工作稳定，能较好完成系统的基本功能。并且本系统将在华中科技大学电工电子科技创新中心试点运行，进而在华中科技大学其他各大电子信息类实验室进行推广。

这次 TI 杯专题竞赛，让我们对嵌入式系统有了深刻的理解和认识，特别是对 Windows 下开发工具 VS008 软件的运用以及 EVC 程序设计与调试有了较好的掌握，我们对 FPGA 的 SOPC 系统软硬件开发也积累了许多经验，对 Altera 提供的一套 FPGA 的开发环境及 SOPC 系统开发环境有了更加深入的学习，以及对自主设计 PCB 的流程和 IAR 开发环境都有了较为熟悉的历练。在将近四个月的制作过程中，我们团队为了这个系统付出了很多劳动，学习了很多以前从未接触的知识，同时学习到了嵌入式系统开发以及软件设计的很多知识，四个月的奋斗历程，也是四个月的学习过程，更是四个月的不断成长以及成熟的过程。

致谢

感谢华中科技大学电子与信息工程系能给我们这次参加比赛的机会以及在竞赛过程中的对我们大力支持。

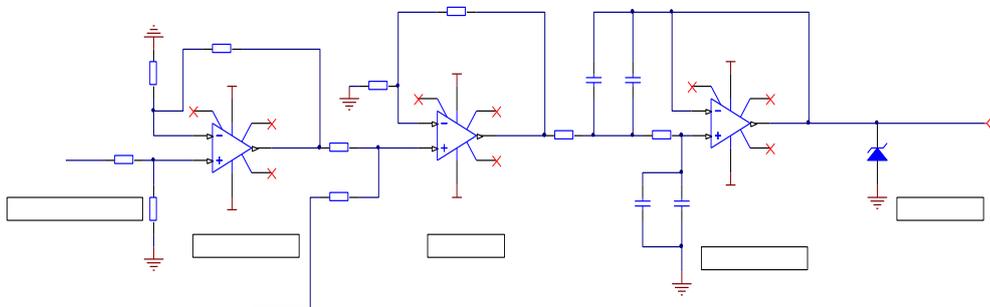
感谢华中科技大学电子与信息工程系王小燕老师的悉心指导。感谢电工电子科技创新中心尹仕老师、肖看老师、王贞炎老师给予我们极大的帮助，感谢曾凯文、刘鬯、李鑫、熊春、糜健等学长在比赛过程中经常与我们交流，将他们丰富的知识与比赛经验传授于我们。

参考文献

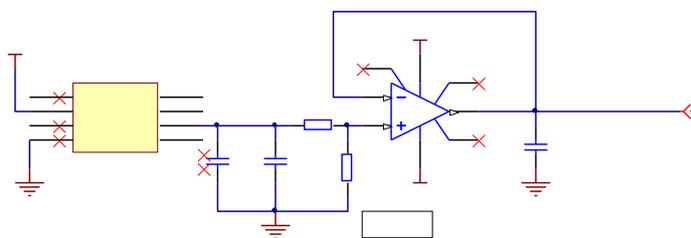
- [1] 黄熙岱. 高校实验室仪器设备存在问题及其对策. 中国现代教育装备, 2010 年第 7 期
- [2] 蔡月忠. 加强实验项目教学, 提高高校实验室利用率. 中国现代教育装备, 2010 年 1 期
- [3] 王瑾. 基于物联网的实验室管理技术. 电脑知识与技术, 2010 年 21 期
- [4] 杨海英. 物联网技术在高校实验室管理中的研究. 上海: 复旦大学信息科学与工程学院, 2012-01
- [5] 郑宇, 姚加飞. 基于谐波分离的学生公寓负载特性识别. 电气应用 2007 年第 26 卷第 8 期.
- [6] 侯培中, 李伟波. 基于神经网络的负载识别. 科学技术与工程, . 2006.
- [7] Takekazu Kato, Hyun Sang Cho, Dongwook Lee, Tetsuo Toyomura. Appliance Recognition from Electric Current Signals for Information-Energy Integrated Network in Home Environments. Graduate School of Infomatics, Kyoto University, Yoshida Honmachi 36-1, Sakyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto, Japan.
- [8] 沈建华, 杨艳琴, 翟晓曙. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与应用. 清华大学出版社. 2004
- [9] 王石, 杨英娜. 精通 PHP + MySQL 应用开发. 人民邮电出版社, 2006.
- [10] 郑阿奇. Visual C++ 网络编程. 电子工业出版社, 2011.
- [11] 李涛, 刘凯奎, 王永皎. Visual C++ + SQL Server 数据库开发与实例. 清华大学出版社, 2006
- [12] 孙鑫, 余安萍. VC++ 深入详解. 电子工业出版社. 2006
- [13] 霍顿, Visual C++ 2008 入门经典. 清华大学出版社. 2009
- [14] 夏宇闻. Verilog 数字系统设计教程(第二版). 北京航空航天大学出版社. 2008

附录

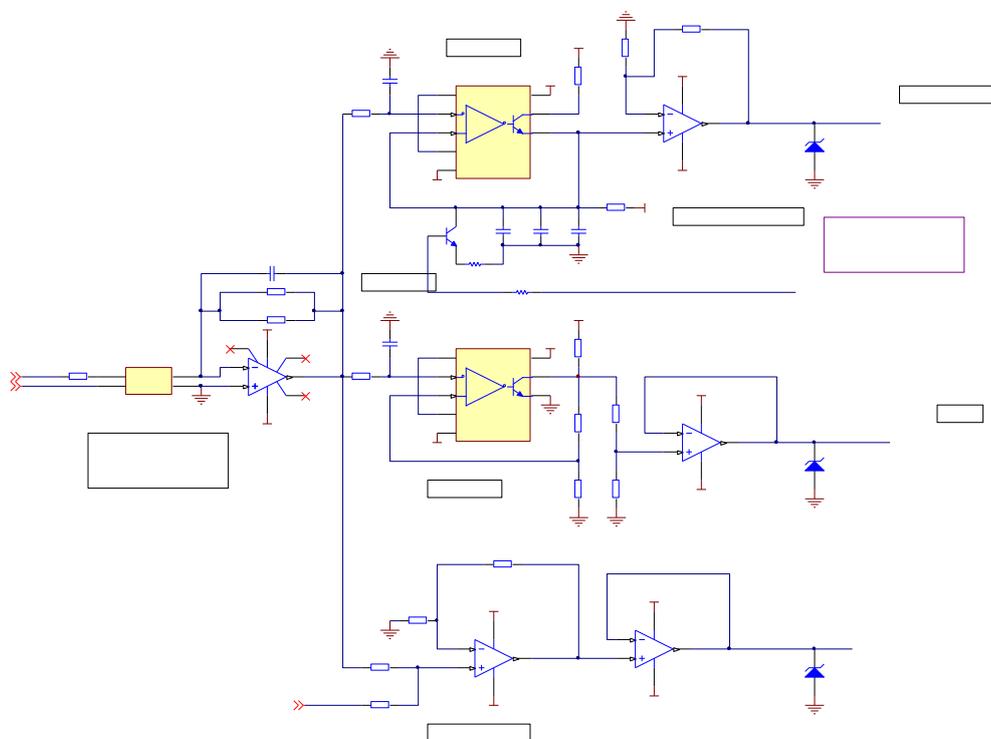
附录 1 硬件电路的设计



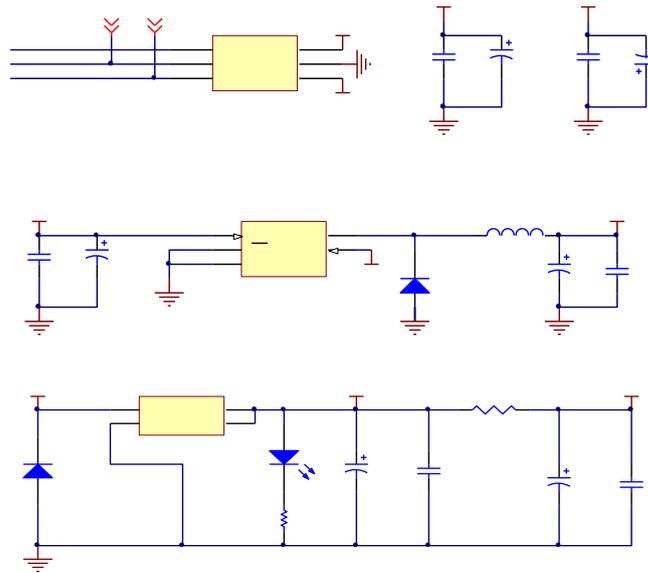
附图 1.1 电网电流测量电路



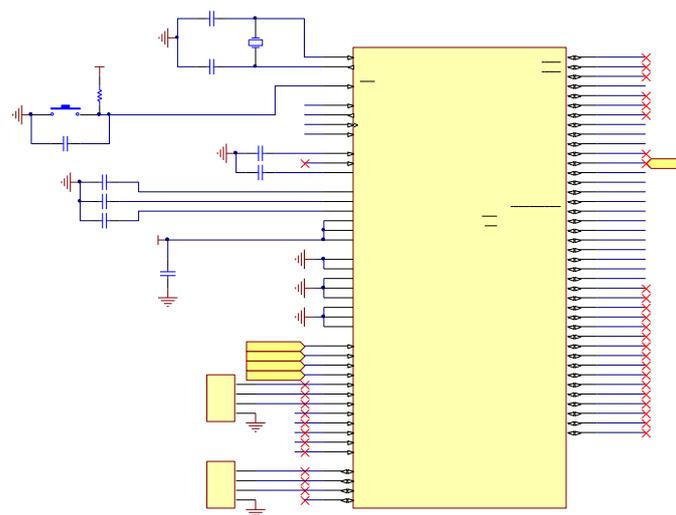
附图 1.2 2.5V 参考源电路



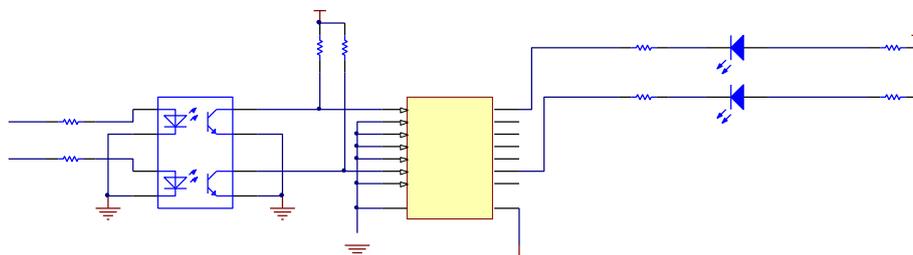
附图 1.3 电网电压测量电路



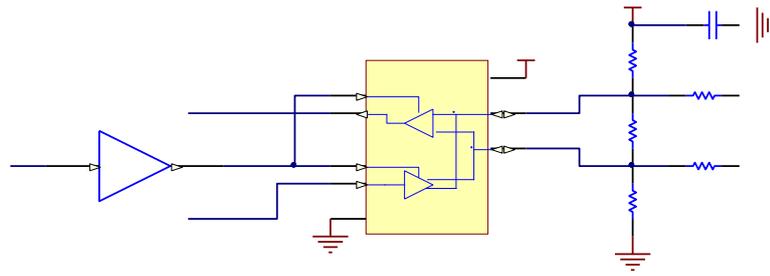
附图 1.4 电源电路设计



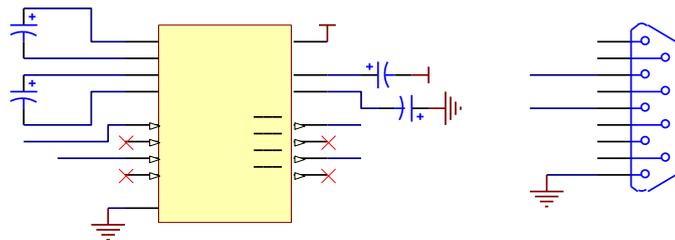
附图 1.5 控制器 ADuC7026 电路



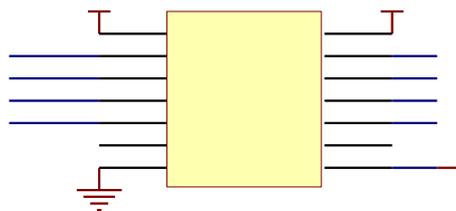
附图 1.6 继电器隔离驱动电路



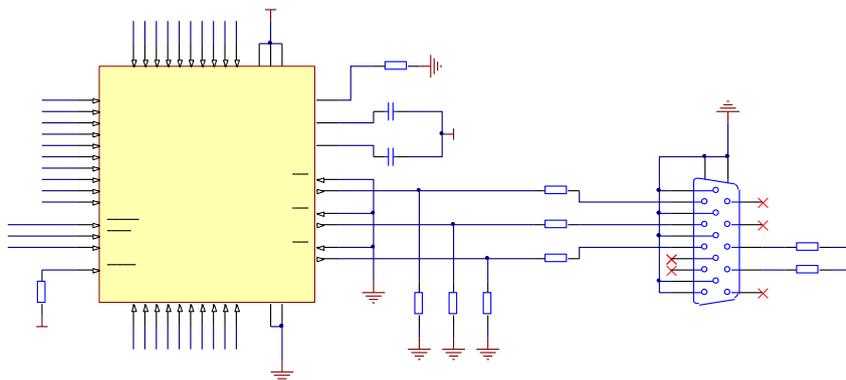
附图 1.6 RS485 电平转换电路



附图 1.7 RS232 电平转换电路

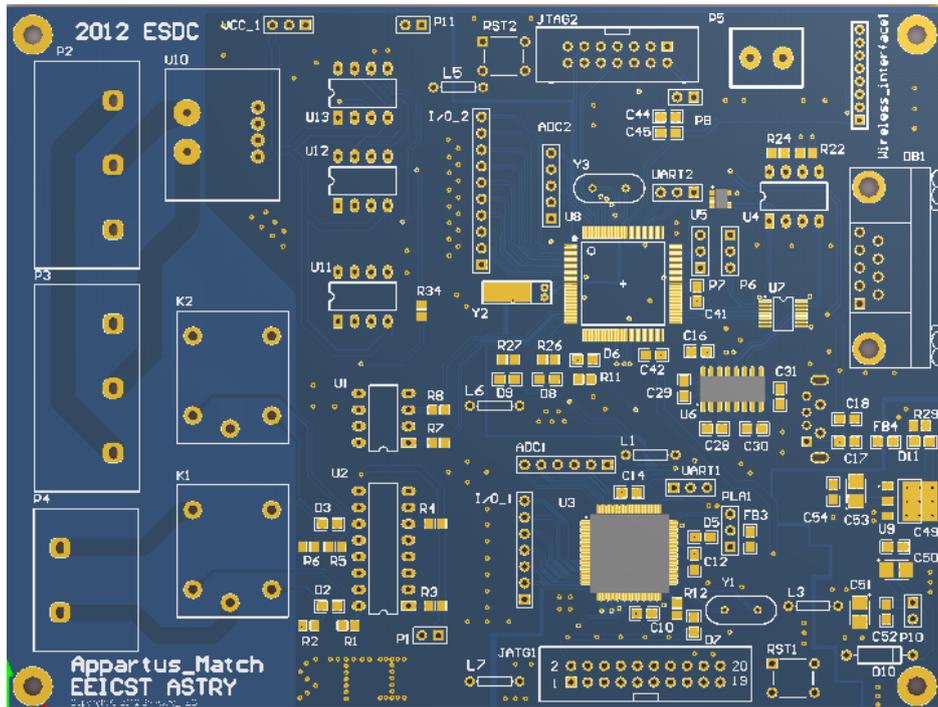


附图 1.8 可调电平双向转换电路

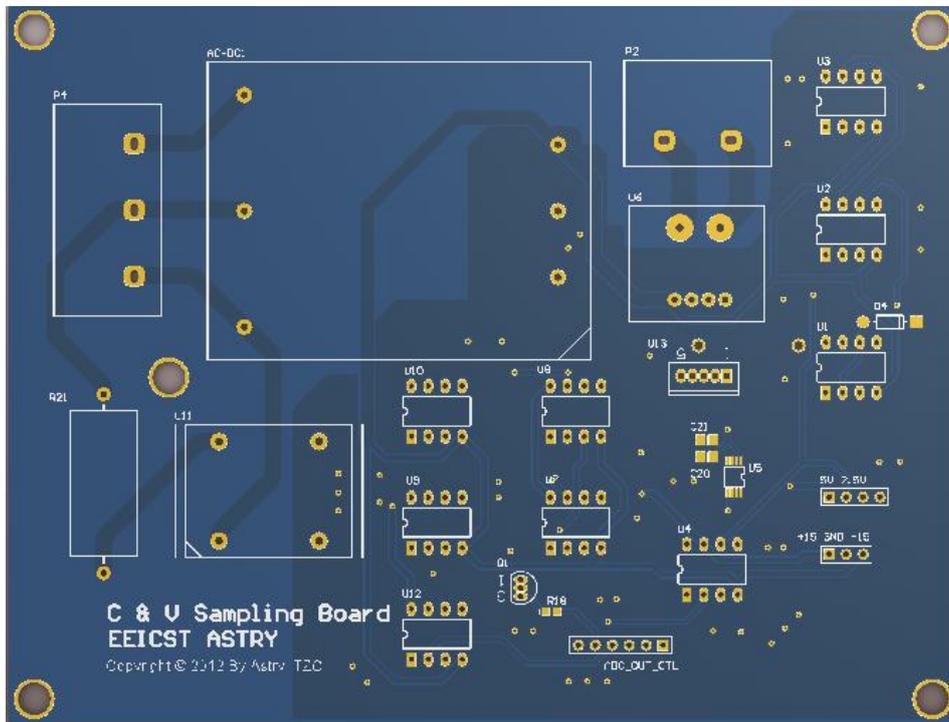


附图 1.9 视频 D/A 电路

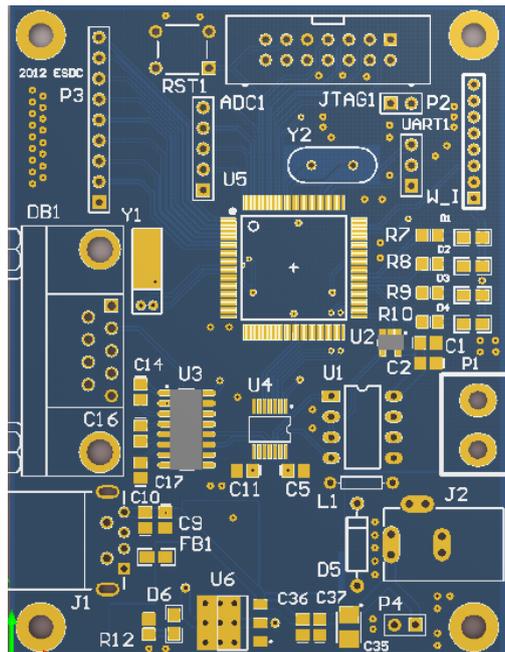
附录 2 硬件 PCB 设计



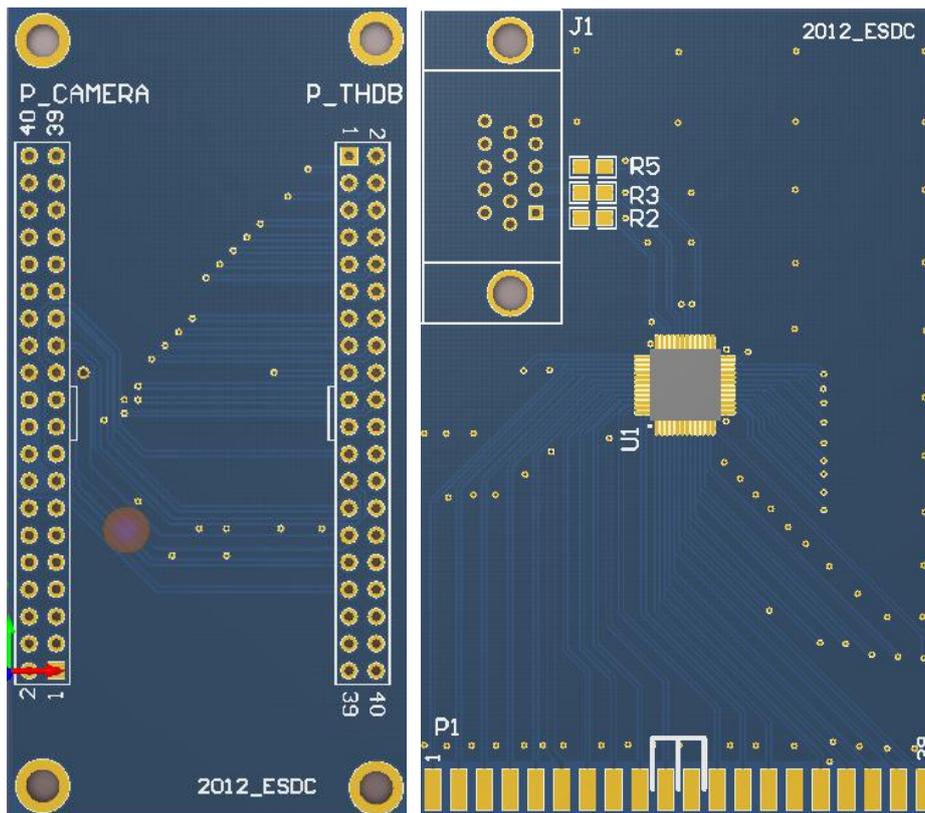
附图 2.1 感知节点终端处理器外设 PCB



附图 2.2 感知节点终端采样电路 PCB



附图 2.2 感知节点控制器 PCB



附图 2.2 摄像模块转接 PCB 及 VGA 板卡 PCB

附录 3 软件核心代码

- 电器识别部分

```

void My_IRQ_Function(void)    //中断处理函数
{
    int Adc_P_tmp1;
    if(((IRQSTA&PLA_IRQ0_BIT)!=0) )
    //如果出现 pla 中断， p1.3。意味着， 电网电压过零点到来。
    {
        PLAELM1 = 0x0241;    //配置成低电平跳出中断
        PLAELM1 = 0x025C;    //配置回去
        AD_enable ++;
        if(Data_hold == 0)//若数据处于非保持状态， 则 AD 使能
            AD_enable =0;
    }
    if((IRQSTA&WAKEUP_TIMER_BIT)!=0) //定时器中断， 意味着采样时刻到来。
    {
        if(AD_enable == 0)//若 AD 在使能状态
        {
            if(FFT_AD_time >= FFT_LEN)//当点数采满之后， 停止采样
            {
                Adc_I =(short)(sqrt(Adc_I_tmp/FFT_LEN));
                Adc_I_tmp = 0;//数据复位
                Adc_U_tmp = 0;
                Adc_P_tmp = 0.0;
                FFT_AD_time=0;
                Data_hold = 1;//数据保持
            }
            else //采样， 并把数据存储。
            {
                if(Data_hold !=1)
                {
                    Adc_P_tmp1 = ADC_Data(ADC_I);
                    Adc_I_tmp3 = Adc_I_tmp2;
                    Adc_I_tmp2 = Adc_I_tmp1;
                    Adc_I_tmp1 = Adc_P_tmp1;
                    fft_data[FFT_AD_time].R=(Adc_I_tmp3+Adc_I_tmp2+Adc_I_tmp1)/300.0;
                    fft_data[FFT_AD_time].I= 0.0;
                    FFT_AD_time++;
                }
            }
        }
        T2CLR1 = 0xFF; //清中断标志。
    }
}
    
```

```

    }
}

```

//以下代码在主函数中循环执行

```
while(1)
```

```
{
```

//首先，是通信部分代码，与 MSP430 使用 SPI 协议通信，

```
    if(ii == 0)
```

```
    {
```

```
        //处理识别数据用于发送
```

```
        for(i=0;i<Rec_result_num;i++)
```

```
        {
```

```
            rec_result[i].name = Rec_result[i]; //数据传递
```

```
        }
```

```
        j=spi_erec(SPI_CMD_RECNOW);
```

```
        if(j==SPI_SUCC)
```

```
        {
```

```
            WriteUART("Send Succ\n");
```

```
        }
```

```
    }
```

```
    ii++;
```

```
    if(ii>10)ii=0;
```

//然后，数据处理部分代码

```
if(Data_hold == 1)
```

```
{
```

```
    FFT(fft_data,FFT_LEN);
```

```
    New_Rec= get_pow();//得到功率信息
```

```
    Adc_I2 = (short)(fft_data[1].I/1.28/1.414);//转换成电流基值，以 mA 为单位。
```

```
    if(New_Rec != 0)//有用电器需处理
```

```
    {
```

```
        if(pro_con == 1)
```

```
        {
```

```
            get_add_data(New_Rec);//得到新增数据的 FFT 信息。
```

```
            beisu = RI2AG(fft_data,FFT_LEN); //归一化
```

```
Fea_Data = getFea(fft_data,FFT_LEN);//得到用电器特征数据.
```

```
Rec_result_tmp = rec_single(Fea_Data);
```

```
    if(Rec_result_tmp== 1)
```

```
        {
```

```
            #ifdef DEBUG
```

```
                WriteUART("Lamp Recon!\n");
```

```
            #endif
```

```
        }
```

```
    if(Rec_result_tmp== 2)
```

```

        {
            #ifdef DEBUG
                WriteUART("Computer Recon!\n");
            #endif
        }
        if(Rec_result_tmp== 3)
        {
            #ifdef DEBUG
                WriteUART("BENQ LCD Recon!\n");
            #endif
        }
        if(Rec_result_tmp != 0)
        {
            Rec_result_tmp=
            pro_result(Rec_result,Rec_result_tmp,Rec_result_num,New_Rec);
            if(Rec_result_tmp != 0)//无错误发生
            {
                Rec_result_num = Rec_result_tmp;
            }
            else
                Rec_result_num =0;
        }
        else
        {
            #ifdef DEBUG
                WriteUART("Rec Error!\n");
            #endif
            //ChangeXdigit(1,1,"error",5);
        }
        pro_con = 0;//处理完毕
    }
    else
    {
        delay1(500);
        pro_con ++; //等待下次采样数据开始处理。
    }
}
//用户识别处理代码。end
Data_hold = 0;//fft 数据传输完毕，可以继续采样。
}
}

```

● 轮询通信协议部分

```
void Master_Cycles()
{
    if(CurrentState!=Wait &&
        CurrentState!=ReceiveData)
    {
        SendPowerFrame();
    }

    switch(CurrentState)
    {
    case FindNext:
        delay_ms(10);
        do
        {
            NodeNum=(NodeNum+1)%NUMBER;
        }while(!NodeList[NodeNum]);

        if(NodeNum==0)
        {
            TransmitFrames();
        }

        SendFindingFrame(NodeNum);
        CurrentState=Wait;
        break;
    case Wait:
        //TurnOnTimer();
        if(isTimeExpired)
        {
            isTimeExpired=0;
            CurrentState=DelNode;
            //TurnOffTimer();
        }
        else if(isNoDataFrame)
        {
            isNoDataFrame=0;
            CurrentState=FindNext;
            //TurnOffTimer();
        }
        else if(isAckFrame)
        {
            isAckFrame=0;
            CurrentState=ReceiveData;
```

```
        //TurnOffTimer();
    }
    else
    {
        CurrentState=CurrentState;
    }
    break;
case DelNode:
    //DeleteNode(NodeNum);
    CurrentState=FindNext;
    break;
case ReceiveData:
    /*while(!isFinished)
    {
        ReceiveFrame();
    }*/
    if(isDataArrived)
    {
        isDataArrived = 0;
        ReceiveFrame();
    }
    if(isFinished)
    {
        isFinished = 0;
        CurrentState = FindNext;
    }
    break;
default:
    CurrentState = FindNext;
    break;
} //switch
}

void Slave_Cycles()
{
    if(isFindingFrame==0)
    {
        return ;
    }
    isFindingFrame=0;
    if(DataNum==0)
    {
        SendNoData(MyNum);
    }
}
```

```
else
{
    SendACK(MyNum);
    delay_ms(5);
    /*while(!SendBuff.isEmpty)
    {
        DeQueue(&SendBuff,DataToSend);
        SendData(DataToSend);
        delay_us(1000);
    }*/
    SendData(DataToSend,DataNum);
    delay_us(1000);
    SendFinshFrame(MyNum);
}
}
```