

武汉大学大学生创新创业训练计划 项目结项报告

智慧城市建设下基于 LoRa 技术与 STM32 系列单片机的城市内涝监测系统

院（系）名 称：电子信息学院

专 业 名 称 ：电子信息类

学 生 姓 名 ：曾鹏宇 邵飞 秦音 阙明冲 谢佳泰

指 导 教 师 ：张铮 高级工程师

二〇二一年三月

郑 重 声 明

本项目组呈交的结项报告，是在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果，所有数据、图片资料真实可靠。尽我们所知，除文中已经注明引用的内容外，本报告的研究成果不包含他人享有著作权的内容。对本报告所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确的方式标明。本报告的知识产权归属于培养单位。

项目组签名：_____

日期：2021 年 3 月 23 日

（请指导老师在此处书写审核报告后的意见）

导师签名：_____

日期：2021 年 3 月 23 日

摘 要

在 5G 时代、万物物联的技术潮流与智慧城市建设背景下，本项目提出一种新型的内涝检测模式：用多个小型传感器作为内涝信息收集终端，利用 LoRa 技术组成广域信息收集网络，利用 STM32 系列单片机及 LoRa 技术将内涝终端信息反馈至信息处理终端，同时利用数字地图技术搭建平台以确定传感器位置，并利用地图合成平台形成内涝状况热力图，还原城市整体与细节内涝状况。

关键词：物联网；LoRa；内涝监测；

目 录

一、绪论	- 1 -
1.1 项目概述	- 1 -
1.2 成员分工	- 1 -
1.3 研究背景	- 1 -
1.4 研究意义	- 2 -
1.5 项目创新点	- 2 -
二、项目方案	- 2 -
2.1 整体方案设计	- 2 -
2.2 信息收集与发送部分	- 3 -
2.3 信息接收部分	- 4 -
2.4 信息处理与存储部分	- 4 -
三、实验与结果	- 4 -
3.1 系统装置	- 4 -
3.2 水位信息获取与发送	- 6 -
3.3 数据解析与上传	- 8 -
四、总结与展望	- 10 -
4.1 项目总结	- 10 -
4.2 项目成果	- 11 -
4.3 不足与改进	- 11 -
4.4 心得体会	- 11 -
参考文献	- 13 -
致 谢	- 14 -

一、绪论

1.1 项目概述

在 5G 时代、万物物联的技术潮流与智慧城市建设背景下，本项目提出一种新型的内涝检测模式：用多个小型传感器作为内涝信息收集终端，利用 LoRa 技术组成广域信息收集网络，利用 STM32 系列单片机及 LoRa 技术将内涝终端信息反馈至信息处理终端，同时利用数字地图技术搭建平台以确定传感器位置，并利用地图合成平台形成内涝状况热力图，还原城市整体与细节内涝状况。

1.2 成员分工

曾鹏宇同学负责项目总体进展，资料的收集、整理，负责单片机数据编码与上位机程序设计，并和邵飞同学一起完成信息接收模块中 STM32 单片机数据的读取程序编写。

邵飞同学负责科研后期成果整理工作，完成信息接收模块中上位机与 LoRa 无线收发器搭建和串口通信程序设计。

秦音同学负责项目物品购置、租用工作，负责传感器模块的制作与调试。

谢佳泰同学负责完成信息手机模块传感器信息的获取与解析。

阙明冲同学负责完成信息发送模块的 STM32 单片机与 LoRa 无线收发器搭建和信息发送程序设计。

1.3 研究背景

现代社会随着城市化的快速推进和基础设施建设的相对延后，导致了诸如城市排水功能不足的问题。面对特大暴雨等极端降水情况，不少城市的排水系统都难以承受。在大力发展智慧城市建设的今天，如何将物联网技术应用至城市暴雨防涝，提高新时代人民的生活质量，已经成为刻不容缓的问题。

在无线通信领域，蓝牙、ZigBee、GPRS 等无线通信技术应用较多。但在智慧城市背景下，在距离传输方面，蓝牙、ZigBee 不能满足千米级别的长距离信息传输；在成本方面，GPRS 的流量费用导致的成本负担较大。而 LoRa (Long Range) 技术是一种适用于远距离和超远距离无线数据传输的新一代传输技术，该技术可以最大程度地实现更长距离通信与更低功耗，同时还可节省额外的中继器成本。至今为止，LoRa 技术主要依附于全球免费的频段进行信息传输，包括 433MHz、868MHz、915MHz 等。本项目拟采用的 SX1278 芯片所选用的频段即为 433MHz。

同时单片机技术已较为成熟。STM32 系列单片机是由 ST（意法半导体）开发的一种高性能微控制器。STM32 产品家族具有的低电压和节能两大优点。低功耗模式共有 4 种，可将电流消耗降至 $2\mu A$ 。从低功耗模式快速启动也同样节省电

能；启动电路使用 STM32 内部生成的 8MHz 信号，将微控制器从停止模式唤醒用时小于 $6\mu s$ 。

基于 LoRa 技术与单片机技术的成熟，监测城市内涝状况得以更有效地实现。

1.4 研究意义

由于城市工业化加速和全球气候变化越来越剧烈，导致各种极端天气出现的越来越频繁。各种极端天气的出现衍生出的一系列其他灾害也对人们的生产生活带来了严重影响，对人民的生命和财产安全产生了威胁。国内相关领域对气象灾害的预警和防卫力度不断加大，人们也越来越重视对灾害的预警监测，防患于未然。

城市内涝灾害问题在中国普遍存在，各大城市基本上都有着这些问题，而且我国管理模式大多未能与现代技术和科技手段相结合。现有的城市内涝检测预警网络还存在检测数据精度低、信息传输速度慢、系统处理信息效率低下等问题，导致内涝预警不及时，再加上城市发展速度不断加快，各种新的建筑也在不断拔地而起，建立一个完整高效的市内涝检测预警网络就十分有必要。

1.5 项目创新点

1. 关注城市发展问题背景下的具体问题，为解决大城市病提出可实施、建设性方案，推动万物物联背景下的智慧城市建设。
2. 整合利用多种物联网技术，实现信息获取、传输、整合与监测的一体化，符合智慧城市的精简化与模块化建设。
3. 利用数字地图技术，获得直观的内涝情况图，更具有数据可读性与直观性。
4. 数据记录点数量多，信息的获取与监测实现网络化，获得的内涝情况更加具体、精确有效。

二、项目方案

2.1 整体方案设计

本项目系统主要有三大部分：信息收集部分、信息传输部分与信息处理部分。

2.1.1 信息收集与发送部分：

主要包括信息收集模块和信号处理模块两部分：

- (1) 信息收集模块：包括谐振式水压传感器对积水信息进行实时收集。
- (2) 信号处理模块：包括 STM32 单片机，将从水压传感器获得的信息进行解析，并重新编码。
- (3) 信息发射模块：包括基于 LoRa 技术的 SX1278 无线收发器的发射模块。

2.1.2 信息接收部分：

主要包括基于 LoRa 技术的 SX1278 无线收发器的接收模块、USB 转 TTL 模块。SX1278 无线模块通过串口通信与 USB 转 TTL 模块相连接，USB 转 TTL 模块将 SX1278 无线模块接收到的信息传输到上位机。

2.1.3 信息处理与存储部分：

包括信息处理终端与存储终端。信息处理终端的 PC 机搭载的上位机软件将自动读取获取到的信息，在解析、处理、转化后利用数字地图绘制形成内涝情况热力图。同时将数据上传至服务器端的 MySQL 数据库，实现数据的存储。

系统整体架构如图 2.1 所示：

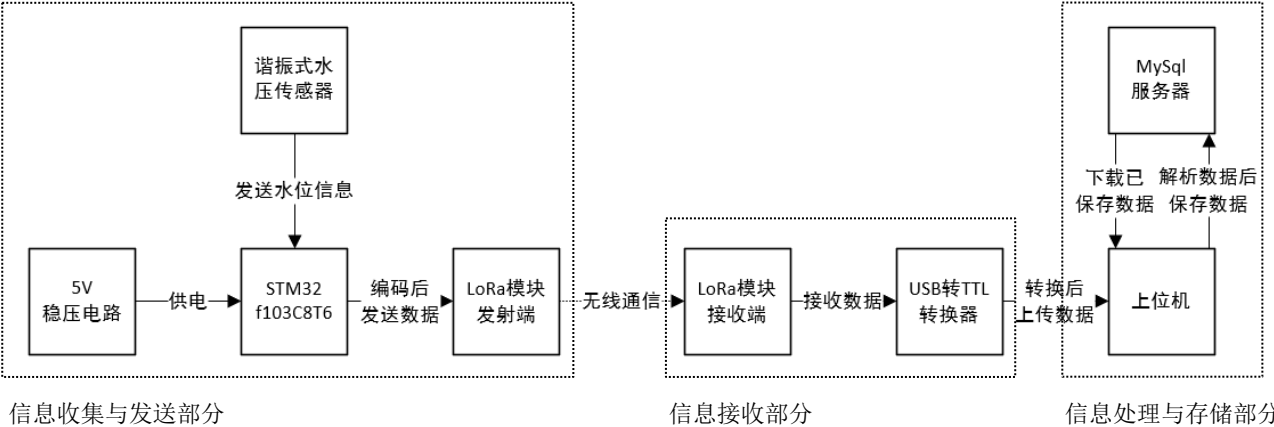


图 2.1 监测系统架构图

2.2 信息收集与发送部分

2.2.1 谐振式水压传感器

在本次测量过程中我们选用了谐振式水压传感器来进行对水位的测量，其利用谐振元件把被测参量转换为频率信号，当被测参量（指水的压力）发生变化时，振动元件的固有振动频率随之改变，通过相应的测量电路，就可得到与被测参量成一定关系的电信号。具有系统功耗小、稳定性好、抗干扰性好、整体式结构、无活动部、可靠性好等优点。

2.2.2 STM32 单片机

STM32 系列单片机是由 ST（意法半导体）开发的一种高性能微控制器。STM32 产品家族具有的低电压和节能两大优点。同时为用户提供了丰富的外设资源，包括 SPI、I2C、UART 接口，可以满足本次项目的性能要求。

2.3 信息接收部分

2.3.1 基于 LoRa 技术的 SX1278 模块

SX1278 模块是一种基于 LoRa 技术的远距离无线传输技术，其实也是诸多 LPWAN 通信技术中的一种，是美国 Semtech 公司采用和推广的一种基于扩频技术的超远距离无线传输方案，这种传输方案提供一种简单的能实现远距离、低功耗、大信息容量的系统，进而扩展传感网络。目前，LoRa 主要在全球免费频段运行，包括 433、868、915MHz 等。

2.3.2 USB 转 TTL 模块

为了将 LoRa 模块输出的 TTL 电平信号传输给上位机，使用 USB 转 TTL 转换器来完成这一转换任务。将 LoRa 模块输出的信息结果转换后通过 USB 接口传输到上位机。

2.4 信息处理与存储部分

2.4.1 平台前端

平台前端使用 winform 框架搭设上位机，上位机功能包括读取串口数据、解析数据并上传至云服务器的 MySQL 数据库、利用数据绘制热点地图与积水量变化折线图。

2.4.2 平台后端

平台后端使用阿里云学生服务器作为平台，利用 MySQL 作为数据库。MySQL 是一种开放源代码的关系型数据库管理系统 (RDBMS)，使用最常用的数据库管理语言——结构化查询语言 (SQL) 进行数据库管理。MySQL 因为其速度、可靠性和适应性而受到广泛应用。

三、实验与结果

3.1 系统装置

根据本文设计的系统进行设计，包括信息收集与发送部分、信息接收部分以及信息处理与存储部分的软硬件设计。

信息收集与发送部分装置原理图如图 3.1 所示：

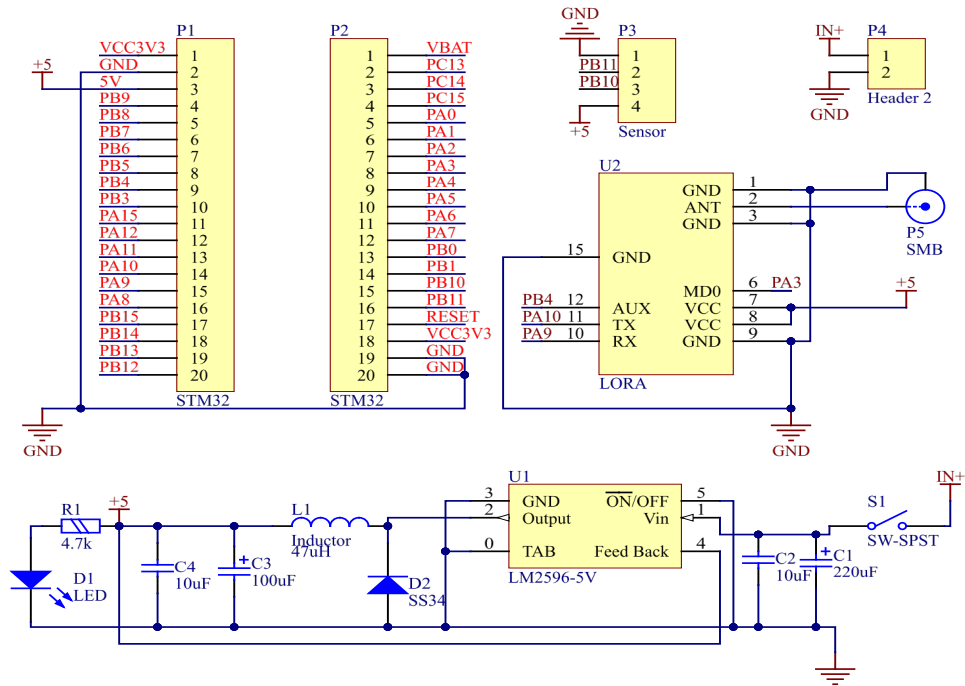


图 3.1 装置原理图

其中电源电路采用德州仪器生产的 LM2596s-5v 作为稳压芯片，将电池供电转换为稳定的 5V 输出。控制核心采用 STM32f103C8T6 最小系统开发板。信息收集与发送部分装置整体集成在一块 PCB 板上，性能稳定、受干扰极小、集成度高。

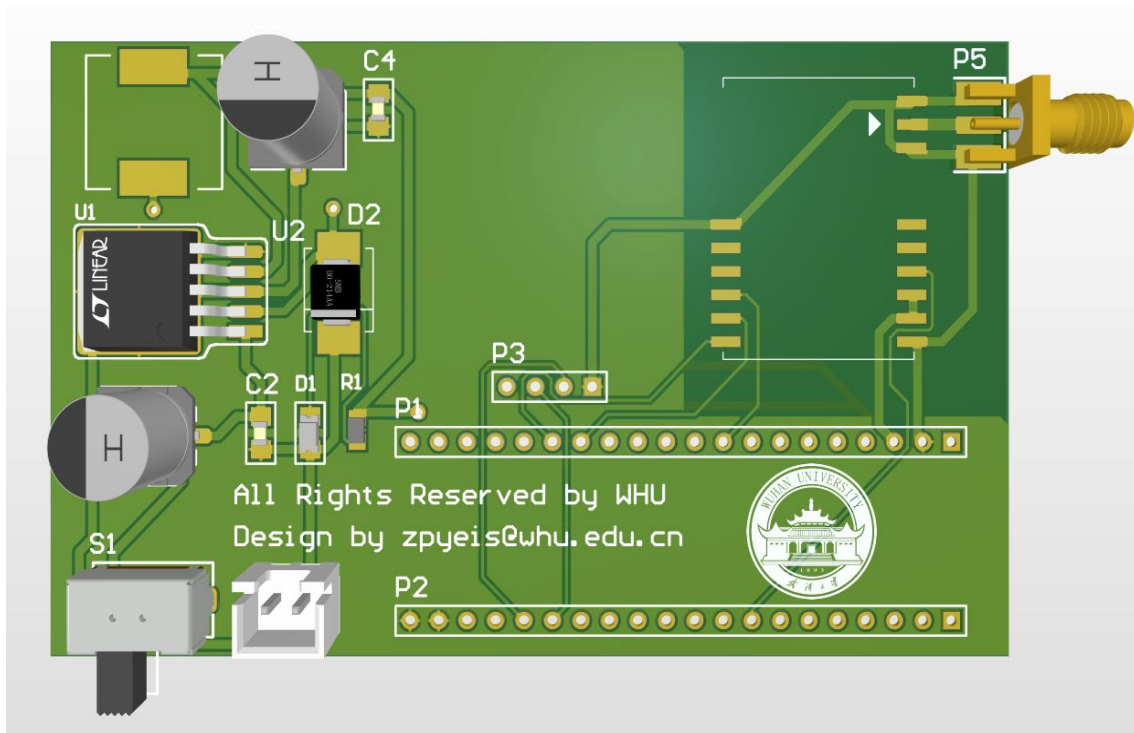


图 3.2 装置 PCB 设计 3D 图

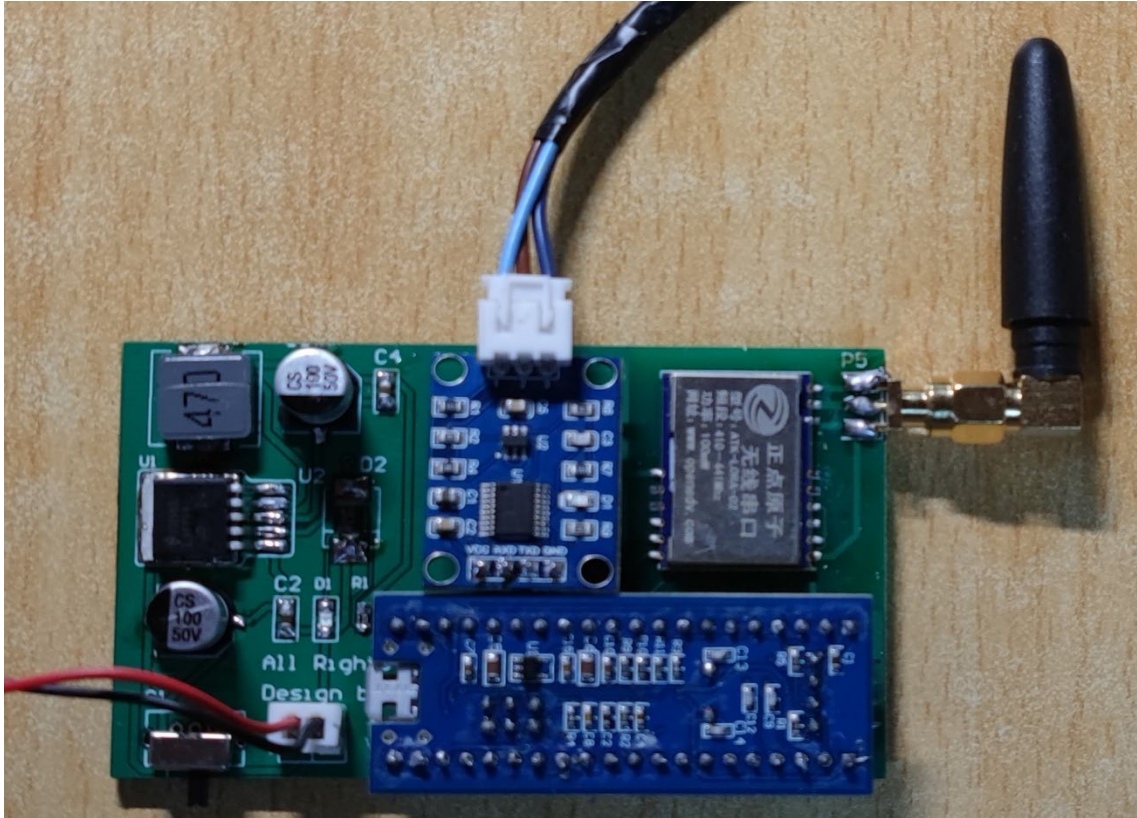


图 3.3 装置实物图

3.2 水位信息获取与发送

谐振式水压传感器的水位高低检测是根据气管中气压的大小来判断。水位越高，水压越大，导致传感器中电感线圈的电感值增大，谐振频率减小，对应的处理电路将谐振频率转换并计算为水深并输出。同时在测量之前，必须进行校准。STM32 向传感器模块通过串口传输“CAL”初始化指令，来校准水压传感器。

水压传感器开始工作后，其获得的数据以“@XXXXX#XXXX”（其中@为频率帧头，后五位为频率值；#为深度帧头，后四位为深度值）的格式通过串口通讯发送到 STM32。STM32 以中断形式接收数据，将相应数据解析成浮点数格式。并进行编码后发送给 LoRa 模块。

其中编码格式为：一字节固定帧头 0xaa，一字节设备编号，四字节设备纬度（浮点数），四字节设备经度（浮点数），四字节水位深度（浮点数）。数据包总共为十四个字节长度。

其中水压传感器挂载在 STM32 的第三串口，LoRa 模块挂在在 STM32 的第一串口。

相关代码如下：

```

void USART3_IRQHandler(void) {
    u8 res;
    if (USART_GetITStatus(USART3, USART_IT_RXNE) == SET) {
        USART_ClearFlag(USART3, USART_IT_RXNE); //
        res=USART_ReceiveData(USART3); //
        if(res==35)
            num=res;
        if(num==35)
        {
            temple++;
            if(temple>0)
            {
                s[temple-1]=res;
            }
            if(temple==5)
            {
                num=(s[1]-48)*10+(s[1]-48)*1+(s[2]-48)*0.1+(s[3]-48)*0.01;

                USART_SendByte(USART1,0xaa);
                USART_SendByte(USART1,0x02);
                btemp = (u8*)&lat;
                blist[0] = *btemp;
                blist[1] = *(btemp + 1);
                blist[2] = *(btemp + 2);
                blist[3] = *(btemp + 3);

                for(int i=0;i<4;i++) USART_SendByte(USART1,blist[i]);

                btemp = (u8*)&lon;
                blist[0] = *btemp;
                blist[1] = *(btemp + 1);
                blist[2] = *(btemp + 2);
                blist[3] = *(btemp + 3);
                for(int i=0;i<4;i++) USART_SendByte(USART1,blist[i]);

                btemp = (u8*)&num;
                blist[0] = *btemp;
                blist[1] = *(btemp + 1);
                blist[2] = *(btemp + 2);
                blist[3] = *(btemp + 3);
                for(int i=0;i<4;i++) USART_SendByte(USART1,blist[i]);

                temple=0;
                num=0;
                s[0]=s[1]=s[2]=s[3]=0;
            }
        }
    }
}

```

图 3.4 下位机中断服务程序

```

#include "stm32f10x.h"
#include "myfile.h"

int main(void)
{
    ClockInit(ms);
    NVIC_PriorityGroupConfig(NVIC_PriorityGroup_1);

    NVICInit(USART3_IRQn,0,1);//config the IT of the USART
    USARTInit(USART1,0,9600,1);
    USARTInit(USART3,0,9600,1);

    Delay(2000);
    USART_SendString(USART3,"CAL");
    Delay(2000);
    USART_SendString(USART3,"CAL");

    while (1) {
    }
}

```

图 3.5 下位机初始化程序

3.3 数据解析与上传

LoRa 接收端接收到数据后，通过 USB 转 TTL 转换器将相应数据通过 USB 接口传输到上位机。上位机软件平台对数据解析读取并解析，将数据可视化，绘制内涝情况热点图与内涝情况趋势图。

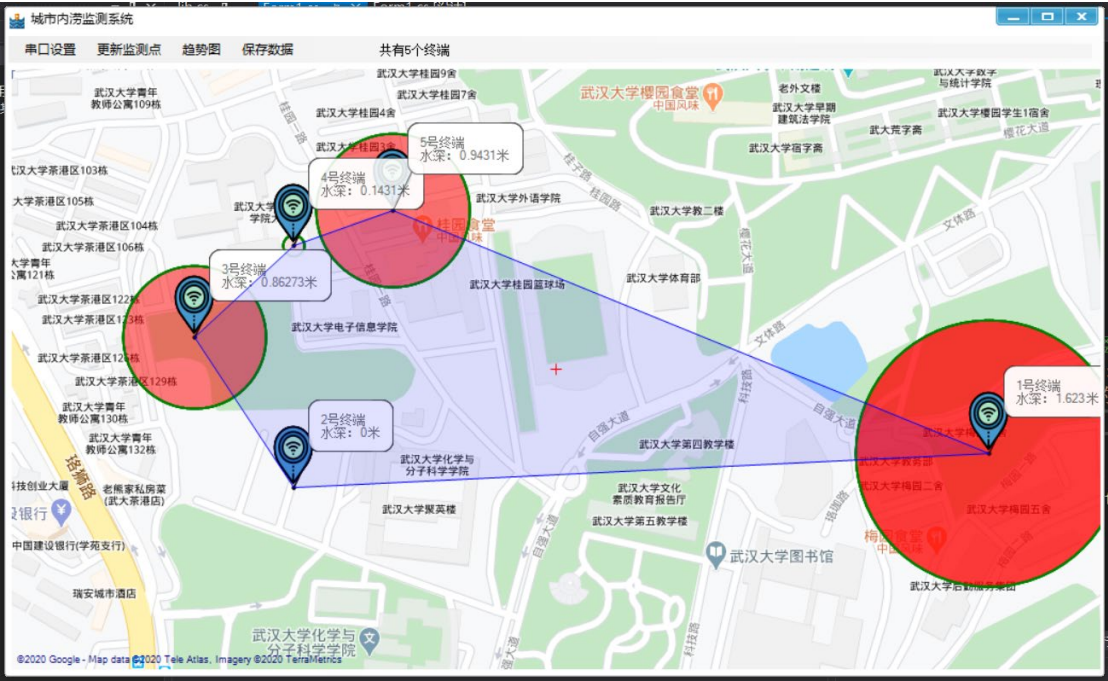


图 3.6 上位机主界面

在上位机界面，可以在地图上实时显示水位，地图上根据水位情况在区域内画出深浅不一的区域，可以直观了解内涝状况。同时可以根据选择，显示对应终端下位机的所有水位信息，将水位信息按照时间顺序显示在折线图上。

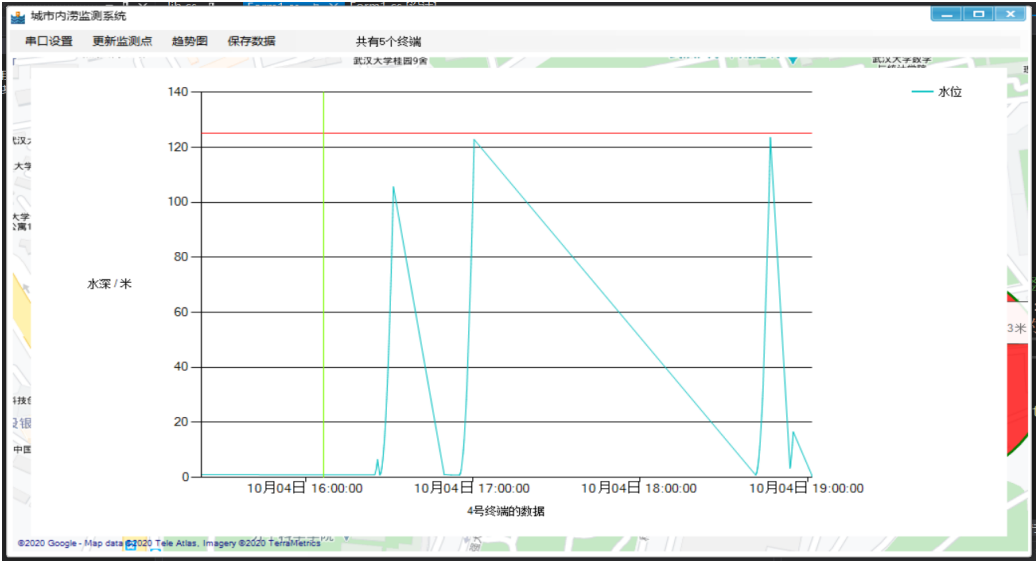


图 3.7 某一终端的具体水位信息（数据为测试数据，故数值变化较大）

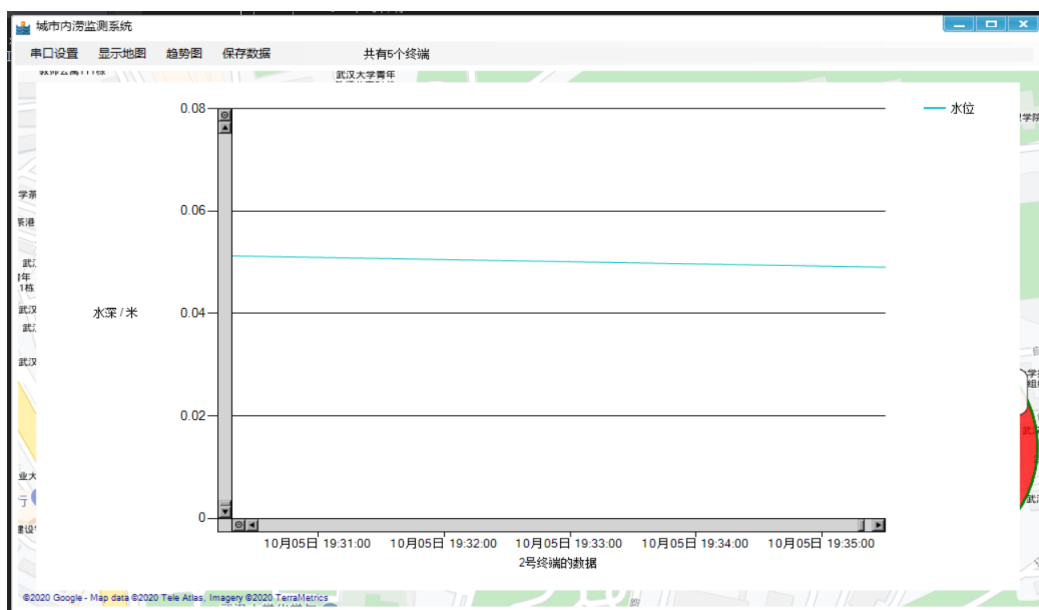


图 3.8 某一终端的具体水位信息

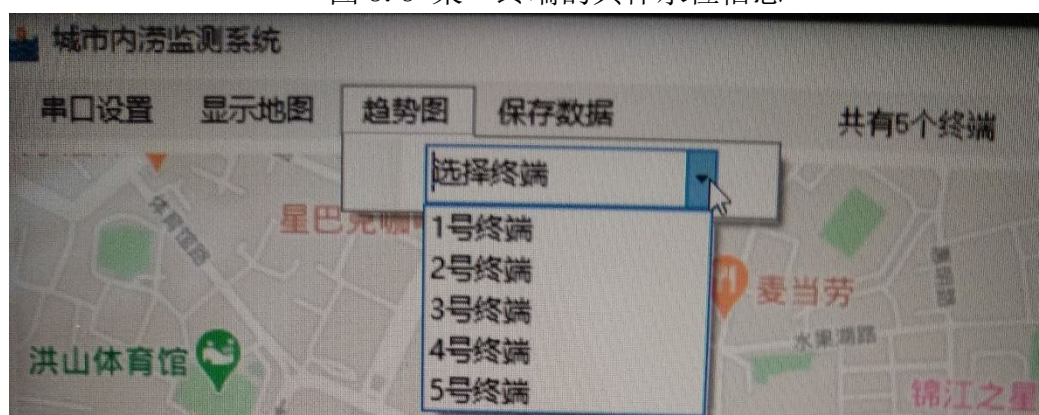


图 3.9 终端选择列表

同时上位机将数据上传至云服务器端的 MySQL 数据库，实现数据存储。

number	lat	lon
1	30.5368	114.365
2	30.5365	114.358
3	30.5378	114.357
4	30.5386	114.358
5	30.5389	114.359
NULL	NULL	NULL

图 3.10 数据库终端信息数据表

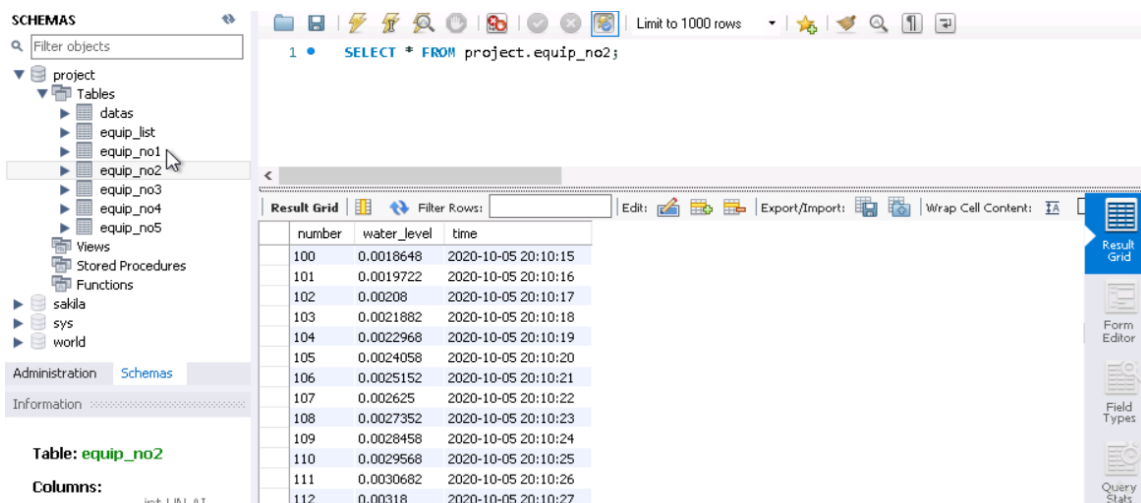


图 3.11 数据库终端水位信息数据表

MySQL 数据库搭载在阿里云学生服务器上，实现了上位机与云端数据库的关联，实现异地多机获取数据。

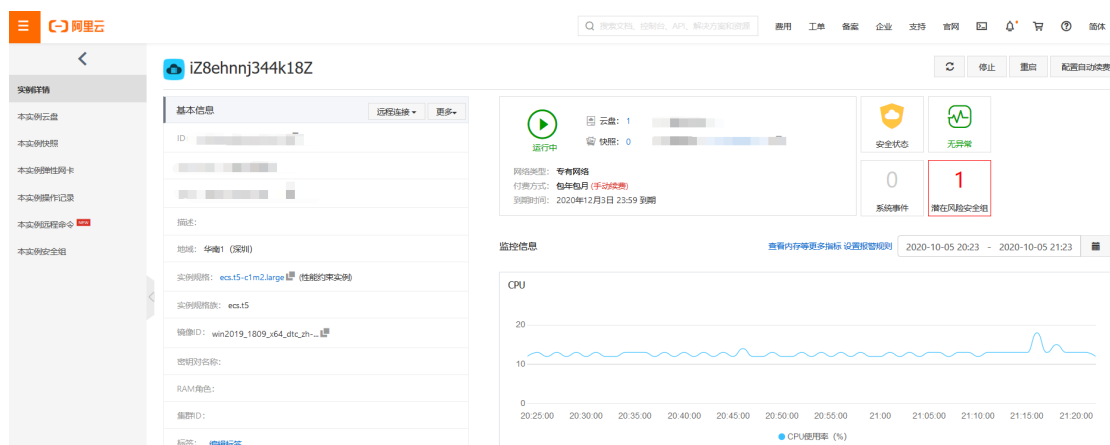


图 3.12 阿里云服务器相关信息

四、总结与展望

4.1 项目总结

根据项目的预期安排，我们完成了项目的目标，在完成了下位机嵌入式软件设计与硬件设计的基础上，搭建上位机并完成整体测试。并对上位机平台进行改进，添加数据库储存相关信息：将监测点位置、监测点编号、时间、水位等信息存储在 MySQL 数据库中。同时采用阿里云作为服务器，将 MySQL 数据库搭建在网络服务器上，从而实现在多台设备上同时访问数据并实时获取数据。

整体系统性能较高，可以实现稳定远距离通信与准确的水位监测，上位机平台可以直观显示内涝情况，同时实现了数据的云端联通。项目完成了从下位机到上位机再到云端的自主设计，真正实现了信息监测系统。

4.2 项目成果

总结报告	1 份
嵌入式程序	1 份
上位机软件	1 份
终端硬件设备	2 套
相关专利	在申

表 4.1

4.3 不足与改进

在实验的过程中，我们也不断地反思与总结，通过我们组内的讨论，我们总结了以下的不足之处，并对以后的改进提出了一些想法。

(1) 终端耗电较高，电池无法维持长时间运行。

在项目初期我们提出使用太阳能板为电池供电的方案提高装置续航能力，但经过实际测试，发现小面积太阳能板的供电能力有限，在阴雨天气完全无法起到供电的作用；而大面积太阳能板又影响了装置的小型化。

经过综合分析，我们从开源和节流两个方面提出改进措施。

首先应当减少装置能耗。原装置主要耗电器件为 STM32 单片机与 LoRa 模块。首先可以将单片机更换为有低功耗模式的 MCU，例如德州仪器生产的 MSP 系列单片机。同时，可以在下位机算法上实现：在水位变化较小时将 LoRa 模块设置为睡眠状态，减少数据发送频率。从而整体减少耗能。

此外，经过查找资料了解了国内外常设式传感器的供电方式后，我们认为使用电缆供电的方式更符合长期布设，如果用于短期监测，则可以使用电池供电。

(2) 上位机可视化准确度有偏差。

上位机对于内涝区域的可视化主要是从监测点的水位数据出发，以监测点为圆心绘制颜色深浅不一的圆形实现，但实际上内涝区域有所不同。

对此，我们提出的改进方案主要为增加监测点数量与改进监测点放置位置。监测点数量提高后，可以起到以点描述面的功能，可以宏观反映区域的内涝情况。此外，在重点区域的道路上放置检测点，也可以起到较准确地描述重点区域内涝情况的功能。

4.4 心得体会

(1) 曾鹏宇

和团队的一年科研时光已经告一段落了，在这个过程中我们有过许多挫折，也有柳暗花明、豁然开朗的欣喜。科研对于本科生来说是一种超越课内学习的锻炼，无论是对于发现问题、解决问题，还是自主学习、抗挫折的能力，都是一种提升。我们在这个过程中不仅增长了见识，还了解到并略深入的学习了一个完整的系统开发的模式，还将我们所学的算法与数据结构、程序设计实践、电路相关

课程的知识运用到了项目实践中，我们对此都有许多收获。

（2）秦音

从申请立项到现在已经过去了一年多的时间，这段日子很令人怀念，在这过程中我们付出了努力和汗水，受益匪浅。作为一个初学者，科研思想很重要，我通过多查阅相关的论文了解到现有的成功方案最终实现了我们的目标，同时我们在讨论方案的过程中也有过分歧，在这过程中，我们会仔细的探讨矛盾最终得出一个一致的结论，生活往往也是如此，遇到困难时应该虚心求教，保持耐心，以积极地态度去面对。这虽然不是一个伟大的工程，但我而言这是一次成功的锻炼，感谢学校给了我这次学习的机会，我今后一定会继续努力，认真学习。

（3）邵飞

大一上学期，我们热爱钻研的五位同学组成了一支科研队伍，并申请了内涝检测这一校级项目。我们在完成此项目的同时，所进行的学习，可以说是横向和纵向兼有的。横向体现在每位成员所需要掌握的知识模块较多，需要逐一学习。纵向体现在学习过程贯穿于这一年的专业之中。例如大一下学期的算法与数据结构、第三学期的算法实操，都给了我们上位机方面的启发。而诸如水位传感器的环节的具体原理，也随着目前的传感器课程越来越清晰。我们在做科研项目的时候，无形中也促进了专业的学习，这是相得益彰的。

（4）阙明冲

通过参加这次校级暴雨洪涝检测的项目，我们都收获匪浅。回想这一年多时间来自己参加项目的经历，从开始对实验内容的理解认识到项目计划的讨论确定，从对项目的整体把握到实验创新点的寻找，并制定详细的项目方案和进程，以及项目中重要的实践环节，整个实验过程中我不仅学到了许多我所感兴趣的，觉得有用的东西，更重要的是自己的思维能力、团队协作能力、实践能力都得到了提高，而且也学到了坚持不懈、善于思考、积极总结的可贵精神。

（5）谢佳泰

非常有幸与 4 位志同道合的同学一起完成了人生的第一次科研，人生有那么多第一次，但这一次显得格格外不同，我们各自在家，完成了自己的任务，虽然都是第一次，大家过程中也遇到许多困难，在我们的齐心协力下克服了，这是弥足珍贵的回忆。同时，也促进了我对专业课的学习，特别是传感器和微机原理这两门课，深有体会。最后，再次感谢各位伙伴的努力，给我人生中留下浓墨重彩的一笔。

参考文献

- [1]王晓晖,杨厚俊,范延滨.基于LoRa技术的远距离智能照明系统[J].青岛大学学报(自然科学版),第三十一卷第3期,2018.
- [2]张雨晨,陈文钊,梁振奇,唐少虎.基于LORA技术的停车场车位显示平台设计[J].Intelligent City,第四卷第6期,2018.
- [3]陈洋波,张会,杜国明.城市内涝预警综合评价方法[J].中国防汛防旱,第4期,2015.
- [4]郑屹.基于移动客户端的城市内涝预警系统设计与实现[D].江苏:东南大学,2018.
- [5]陈垚森,陈洋波,周浩澜,徐会军.多普勒天气雷达资料在城市内涝预警的应用[J].中国农村水利水电,第8期,2012.
- [6]周艏,许小娟.城市内涝预警系统的建设思路[J].水利水文自动化,第2期,2004.
- [7]王文川,陈阳,康爱卿.基于SWMM模型的城市LID措施优选研究[J].水利规划与设计,第11期,2019.
- [8]郭雪梅,任国玉,郭玉喜,等.我国城市内涝灾害的影响因子及气象服务对策[J].灾害学,第二十三卷第2期,2008
- [9]薛春芳,王建鹏,薛荣,等.基于GIS的西安城市强降水内涝预报预警系统[J].陕西气象,第3期,2008.
- [10]陈倩云,余弘婧,高学睿,安婷莉,王玉宝,孙淼.当前我国城市内涝问题归因分析与应对策略[J].华北水利水电大学学报(自然科学版).第四十卷第1期,2019

致 谢

一年多的科研实践转眼就要结束了，在这期间我们有过钻研问题的焦躁，有过调试设备的苦恼，也有过突破瓶颈的喜悦，有过化解难题的兴奋，这段经历充实而又难忘，也让我们团队成员有了很多收获与进步，潜心研究的过程注定是艰辛的，但是一路走来我们获得了很多的帮助与支持，首先要感谢学院给予我们这次宝贵的机会和平台，让我们能在科研立项中强化所学的知识，增强学术本领。当然，最要感谢的是本次项目的指导老师张铮老师，张铮老师为我们提供了科研思路，场地和各种设备，让我们有条件顺利开展本次科研项目，还定期关心我们的科研进度，在我们遇到困难时随时为我们指导，极大地锻炼了我们的科研能力！

最后，感谢在百忙之中参与科研结项评阅的各位老师和专家，谢谢你们！