

基于 NB-IoT 的农业灌溉水渠远程 监测系统设计

孙志刚¹, 高萌萌¹, 张敏¹, 曹娜³, 王国涛^{1,2}

(1. 黑龙江大学 电子工程学院, 哈尔滨 150080;

2. 哈尔滨工业大学 电器与电子可靠性研究所, 哈尔滨 150001;

3. 河南师范大学 电子与电气工程学院, 河南 新乡 453007)

摘要: 为了满足农田信息采集与智能水利检测技术的发展, 进一步优化现有的智能监测水渠水利系统, 设计了一套基于 NB-IoT 的农业灌溉水渠远程监测系统, 系统包含监测节点、NB-IoT 通信模块和远程服务器三部分; 监测节点采用 STM32F103RCT6 为微控制器, 定点采集所在位置的农田信息与灌溉水渠信息, 并通过 NB-IoT 通信模块发送至远程服务器; 远程服务器一方面解析接收的参数信息, 实现数据显示与地图定位等功能, 另一方面将接收的参数信息保存至 TXT 文件中, 便于后续数据分析与历史查询等操作; 在远程服务器设置参数阈值信息, 可以反馈至监测节点完成预警判断与远程报警; 测试结果表明: 监测节点以 3 小时为时间间隔进行一次参数采集, 参数信息到达远程服务器的时间差控制在 80 ms 以内, 地图显示的定位误差在 2 m 以内, 达到了系统设计的参数要求, 为水渠水力智能化监测提供了有力保障。

关键词: NB-IoT; 远程监测; 参数采集; 预警阈值; 远程服务器

Design of Remote Monitoring System for Agricultural Irrigation Canals Based on NB-IoT

SUN Zhigang¹, GAO Mengmeng¹, ZHANG Min¹, CAO Na³, WANG Guotao^{1,2}

(1. School of Electronic Engineering, Heilongjiang University, Harbin 150008, China;

2. Reliability Institute for Electric Apparatus and Electronics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

3. School of Electronic and Electrical Engineering, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

Abstract: In order to meet the technology development of farmland information collection and intelligent water conservancy detection, and further optimize the existing intelligent monitoring system of canal water conservancy, a set of remote monitoring system for agricultural irrigation canals based on the NB-IoT is designed. The system includes three parts: monitoring node, the NB-IoT communication module and remote server. The monitoring node adopts the STM32F103RCT6 as the microcontroller to collect the farmland information and irrigation channel information at the fixed time point, and sent it to the remote server through the NB-IoT communication module. On the one hand, the remote server parses the received parameter information, the functions such as data display and map positioning are realized. On the other hand, the remote server saves the received parameter information to the TXT file, which is convenient for operations of subsequent data analysis and historical query. The parameter threshold information can be set on the remote server, which can be fed back to the monitoring node to complete early warning judgment and remote alarm. The test results show that the monitoring node collects parameters once at an interval of 3 hr, the time difference of parameter information reaching the remote server is controlled within 80 ms, and the positioning error displayed on the map is within 2 m, which meets the parameter requirements of the system design and provides the strong guarantee for the intelligent monitoring of canal hydraulics.

Keywords: NB-IoT; remote monitoring; parameter collection; warning threshold; remote server

收稿日期: 2022-02-19; 修回日期: 2022-03-10。

基金项目: 国家自然科学基金(51607059); 黑龙江省自然科学基金(QC2017059, JJ2020LH1310); 黑龙江省博士后基金(LBH-Z16169); 黑龙江省高校基本科研业务费(HDRCCX-201604, 2020-KYYWF-1006); 黑龙江省教育厅科技成果培育(TSTAU-C2018016); 七台河市科技计划项目(20308C); 黑龙江大学研究生创新科研项目(YJSCX2021-067HLJU)。

作者简介: 孙志刚(1996-), 男, 汉族, 江苏扬州人, 硕士研究生。主要研究方向为信号处理、机器学习与智慧农业方向的研究。

通讯作者: 王国涛(1982-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 博士后, 教授, 主要从事信号检测、农业信息化方向的研究。

引用格式: 孙志刚, 高萌萌, 张敏, 等. 基于 NB-IoT 的农业灌溉水渠远程监测系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(7): 70-77.

0 引言

农业是我国的主要产业之一,也是我国用水量最大的产业。由于传统农业灌溉水量测量的不准确和不完善,导致缺水与浪费水的现象在农业用水,特别是田间灌溉中十分严重,全国农业灌溉用水的平均利用率仅在 40% 左右^[1]。针对以上问题,提高农业水利利用率,最为快捷有效的方法就是结合水利信息化技术,精确监测用水量。即充分利用成熟的计算机信息技术,来改善水利资源的应用水平和共享程度,以此来提高水利水电建设的效益^[2]。需要说明的是,在早期的农田作业任务中,常采用人工现场作业的方式进行作物灌溉,关于这方面的农业机械化研究较为落后。进入 21 世纪,尤其是第三次计算机信息时代以来,许多发达国家基于新技术展开对农业机械化的研究。在农业自动化系统的研制中,大多数系统都是将农田信息采集和节水灌溉控制分为独立的两个部分进行设计,这在很大程度上造成了硬件资源的浪费。

对于农业机械化的研究,发达国家开展较早,并且已经拥有相对十分完备的技术与理论体系。其中,在农田信息的采集与处理上,大部分研制的系统是利用笔记本这类具体高集成度的手持电子设备完成的^[3]。这种设计方案减少了在硬件拓展上的花费,并且实际处理速度快。缺点是它们在田间作业时使用不便,可持续使用时间短,可使用的外部接口数量有限,造价昂贵,很难应用到实际农业生产中。另一部分研制的系统是在单片机的基础上设计的信息采集系统^[4],这种设计方案相较于前者,具有配置灵活、拓展性强的特点,但会带来处理速度慢、存储空间小的缺点。随着无线通信技术的日益成熟与广泛应用,国内外学者开始研究基于无线通信技术,将电子设备或单片机采集到的农田信息,快速发送到远程服务器。同时,将采集农田信息的传感器组成无线通信网络,使采集的农田信息更加准确、及时,这在很大程度上解决了原有系统存储空间不足的问题。

中国农田信息采集与智能水利检测技术的研究仍然处在起步阶段,信息化与智能化水平不高,难以满足精准农业的需求。国内学者在参考国外先进成果的基础上,积极探索开发符合我国农业特点的产品。如文献 [5] 以 Arduino 开发板和 NB-IoT 无线传输技术为核心技术,设计了一种基于高度集成化、广覆盖、低功耗的棉田环境监测监测系统,用户使用网页客户端和手机 APP 可以实时观看监测数据。文献 [6] 建立了一个基于物联网技术的参数监测数学模型,在此基础上,构建了一套温室农业种植环境监控系统。文献 [7] 设计了一套基于 ZigBee 节点通信的农田土壤湿度监测系统。具体的,通过在不同种植区域放置监测节点来采集当前的土壤湿度信息。所有监测节点采集的土壤湿度信息均上传至服务器,通过 Web 端显示农田的土壤湿度信息。文献 [8] 建立了一个灌溉系统精准控制模型,并在此基础上,设计了一套集数据采集、数据通信、数据

分析、数据存储以及灌溉决策为一体的灌溉精准控制系统,具有较高的实用参考价值。

综上所述,当前针对农业信息采集装置或监测系统的研究取得了一定的成果,但对于农业水渠等场景水位自动监测的研究较少,自动化程度和信息化水平还需要进一步提升。本研究设计了一套基于 NB-IoT 的水渠水利智能监测节点和管理系统,系统包含监测节点、NB-IoT 通信模块和远程服务器软件三部分。监测节点为整个系统的硬件设计部分,在农业现场它被放置在所需监测的农业灌溉水渠边上,用于采集水渠附近农田的空气温度、空气湿度、空气压强、土壤湿度,水渠的水位信息,以及当前自身所在的经纬度、海拔高度信息。上述参数信息经 NB-IoT 通信模块传输至远程服务器。远程服务器接收实时传输的参数信息,一方面解析数据对应显示到监测数据显示模块中,或通过调用地图的方式对监测节点进行地图定位;另一方面,接收的参数信息被保存至本地路径下的 TXT 文件中,便于后续用户的附加操作,如数据分析与历史查询等,并可进一步绘制水渠监测的趋势图等。

1 系统总体方案设计

本研究设计的农业灌溉水渠监测系统包括:监测节点、NB-IoT 通信模块与远程服务器,涵盖物联网技术的感知层、传输层与应用层^[9]。监测节点通过配备 NB-IoT 通信模块可以与远程服务器建立双向数据通信连接,系统组成架构如图 1 所示。

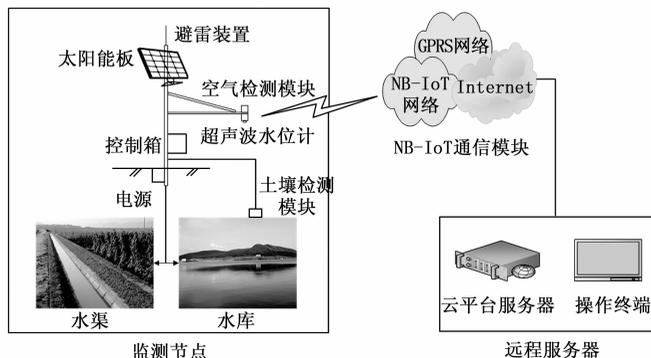


图 1 系统组成架构图

图中所示,单个监测节点通过 NB-IoT 通信模块可以与远程服务器建立双向数据通信连接,同样的,布置在农业水渠或水库周围的多个监测节点通过各自配备 NB-IoT 通信模块,可以与同一个远程服务器建立多个双向数据通信连接,从而实现对区域范围内农田信息和灌溉水量的监测。其中,单个监测节点在固定的时间点实时采集一次其所在位置的水位信息、空气检测信息、土壤检测信息,以及自身的位置信息,通过 NB-IoT 通信模块将采集的参数信息发送至远程服务器。这里的水位信息指的是监测节点所在农业水渠的水面高度,空气检测信息包括监测节点所在农田范围内的空气湿度、空气温度和空气压强,土壤检测信息指的是监测节点所在农田范围内的土壤湿度,位置信息指

的是单个监测节点的经纬度和海拔高度。同时,监测节点具有自我检测功能,在电源欠压或 NB-IoT 通信模块网络异常等情况下,会发送相关的报警信息至远程服务器。需要说明的是,在图 1 所示的系统架构图中,超声波水位计由高精度超声波测距传感器与配套硬件设施组成,空气检测模块由温湿度传感器、气压传感器与配套硬件设施组成,土壤检测模块由土壤湿度传感器与配套硬件设施组成,电源经特殊保护后埋藏于土地中,太阳能板与避雷装置裸露在外,其余硬件部分均放置于控制箱内。

NB-IoT 通信模块作为监测节点与远程服务器之间的通信媒介,一方面负责将监测节点实时采集的参数信息及时准确的发送至远程服务器。远程服务器接收监测节点实时发送的信息,并解析其中的空气温度、空气湿度、空气压强、土壤湿度、水面高度、经纬度显示到远程服务器软件的监测数据显示模块上,通过调用百度地图可以显示各个监测节点的位置。在远程服务器软件的界面上选择不同的监测节点编号,可以实时查看该监测节点反馈的参数信息。各个监测节点发送的参数信息能够存储至远程服务器本地路径下的 TXT 文件中,用于后续数据分析和历史查询等处理。另一方面,可以在远程服务器上设置各参数信息的预警阈值,设定的阈值信息通过 NB-IoT 通信模块反向传输至指定的监测节点,监测节点保存阈值信息并在每次实时参数采集时进行一次阈值判断,当判断实时采集的某个参数信息达到设定的预警阈值后,监测节点及时发送报警信息至远程服务器。

2 系统硬件设计

农业灌溉水渠远程监测系统的硬件设计主要集中在监测节点和 NB-IoT 通信模块上,它们的设计效果影响整个系统运行的高效性和可靠性。监测节点的硬件设计包括 3 个部分,分别是:微控制器及其外围电路、传感器模块与外接模块。其中,一个监测节点的硬件结构如图 2 所示。

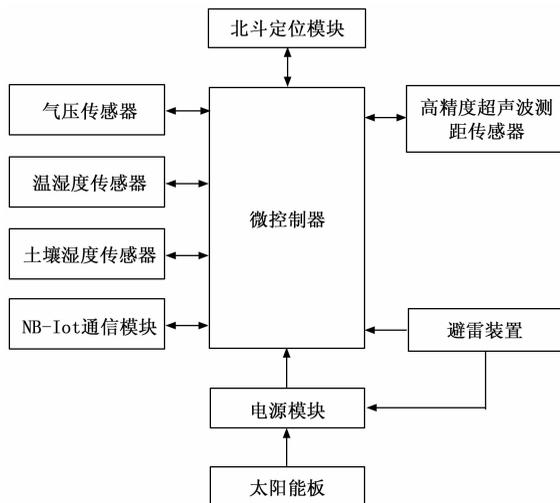


图 2 监测节点硬件结构图

能够保证其正常工作的构成最小控制系统的外围电路,包括 A/D 转换电路、时钟电路、复位电路和晶振电路等。图中所示,本研究涉及的传感器模块包括气压传感器、温湿度传感器、土壤湿度传感、高精度超声波测距模块和北斗定位模块。传感器模块与 NB-IoT 通信模块采用串口通信方式与微控制器之间进行数据传输。外接模块包括电源模块、太阳能板和避雷装置。电源模块给监测节点和 NB-IoT 通信模块提供 5 V 直流电源,监测节点通过 A/D 转换电路反向完成对电源模块的电压监测。太阳能板与电源模块直接连接,在硬件层面实现太阳能到电能的转化,并及时对电源模块进行充电,保证监测终端设备的续航能力。避雷装置与微控制器、电源模块直接连接,在硬件层面实现雷暴天气对监测节点的保护。监测节点上电后,微控制器完成自身、传感器模块及 NB-IoT 通信模块的初始化配置,随后进入休眠模式,NB-IoT 通信模块随后进入 PSM (Power Saving Mode) 模式,以此来降低硬件端的功耗。同样出于节能的考虑,监测节点被设置为在固定时间点启动一次参数信息采集,并对完成一次参数信息的发送。需要说明的是,该固定时间点由微控制器解析北斗定位模块返回的短报文中的 UTC 时间确定。

具体的,当微控制器解析并判断 UTC 时间到达设定的时间点时,微控制器退出休眠模式,开始控制传感器模块实时采集一次当前所在位置的水位信息、空气检测信息、土壤检测信息和位置信息。完成一次参数采集后,微控制器将采集的参数信息通过串口发送至 NB-IoT 通信模块,并再次进入休眠模式等待下一次 UTC 时间触发。NB-IoT 通信模块在接收到发送的采集信息后,退出当前的 PSM 模式,并通过 AT 指令将参数信息经最近的通信基站发送至远程服务器。同样的,在完成参数信息发送后,NB-IoT 通信模块再次进入 PSM 模式。需要说明的是,处于 PSM 模式的 NB-IoT 通信模块在接收到远程服务器发送的预警阈值设定信息后,会立刻退出当前模式,待其通过串口将预警阈值设定信息发送至微控制器后,再次进入 PSM 模式,此时微控制器开启工作并进行预警阈值的存储。另外,微控制器在启动工作时,除了实时采集一次上述的各类传感器信息,还会通过自身的 A/D 电路获取电源模块的电压信息,如果供电电压偏低,会在发送给远程服务器的参数信息中添加报警信息。当微控制器实时采集并判断某个参数信息达到设定的预警阈值,或 NB-IoT 模块当前网络异常状态时,同样会在发送给远程服务器的采集信息中添加报警信息。

2.1 微控制器电路设计

本研究中的微控制器选用 STM32F103RCT6 型号的芯片,其与供电模块、晶振回路、复位电路等其他外围电路形成最小控制系统,电路原理如图 3 所示。

在实际工作过程中,微控制器能够达到的最高工作频率为 72 MHz,处理性能较好。它具有 256 k 字节的系统可编程 Flash 存储器,以及 48 k 字节的 RAM 空间,能存储大

微控制器及其外围电路指以微控制器为核心的,附属

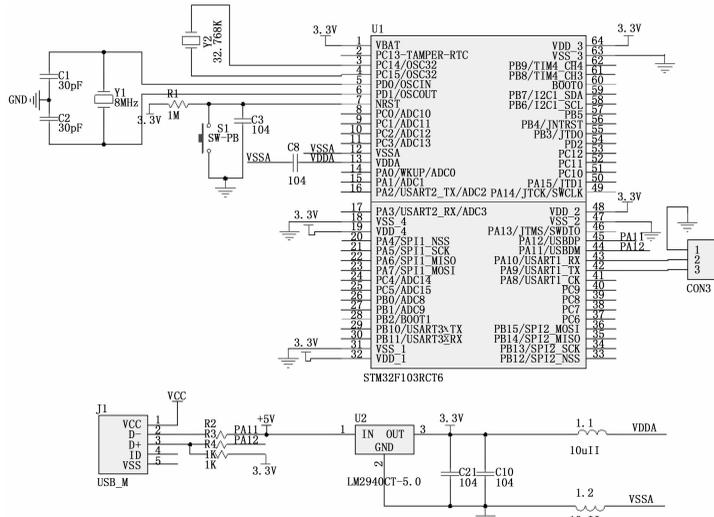


图 3 微控制器的电路原理图

量的参数信息^[10]。同时,它支持 CAN、IIC、UART 等多种通信方式,配备 9 个通信接口^[11]。

本研究中,微控制器需要实现的功能包括:解析判断北斗定位模块返回的短报文中的 UTC 时间,触发监测节点启动工作,控制传感器模块实时采集一次参数信息,通过串口将参数信息发送至 NB-IoT 通信模块,接收并存储 NB-IoT 通信模块通过串口返回的预警阈值设定信息,判断参数信息是否达到预警阈值,以及电压和网络是否异常,及时发送报警信息等。本研究要求微控制器在 100 ms 内完成全部参数信息的采集,可以看出,选用该型号的微控制器完全满足上述功能实现的性能要求。

2.2 北斗定位模块电路设计

本研究的北斗定位模块选用正点原子的 S1216F8-BD 型号的 GPS/北斗双模定位模块,电路原理如图 4 所示。该模块具有 167 个通道,追踪灵敏度高达 -165 dBm,测量输出频率最高可达 20 Hz^[12]。微处理器可以通过串口对该模块进行各种参数设置,并可以将参数设置信息存储在模块内部 Flash 中,避免了重复设置的问题。同时,该模块保留 IPX 接口,接上 GPS/北斗双模有源天线后即可进

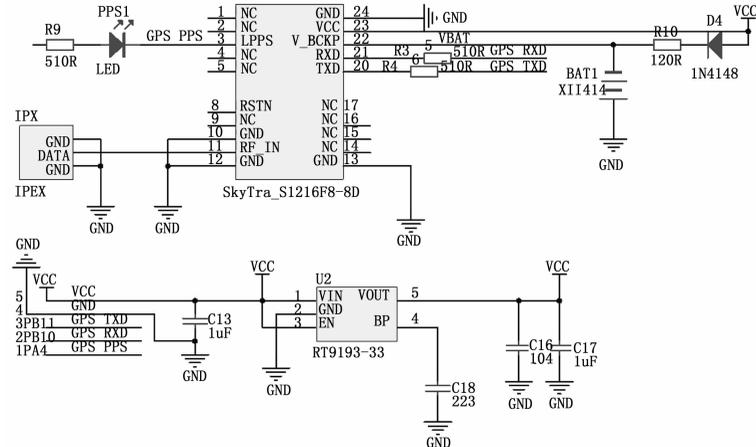


图 4 北斗定位模块的电路原理图

行定位,定位数据刷新速率快,冷启动后约 30 秒可获得当前经纬度信息^[13]。在本研究中,微控制器及其外围电路组成的最小控制系统的电平为 5 V,而该模块兼容 3.3 V/5 V 电平,可以与最小控制系统进行快速连接。微控制器根据 NMEA-0183 协议,通过串口向该模块发送命令,可以在 500 ms 内快速获得返回的短报文,从中可以解析得到需要的经纬度、海拔高度和 UTC 时间。

2.3 NB-IoT 通信模块电路设计

NB-IoT 通信模块选用谷雨物联网的基于移远 NB 模组 BC95 的 NB 最小系统,电路原理如图 5 所示。该模块板载 IPEX 射频天线座,5 V 转 3.3 V 的 LDO 稳压电源, MicroSIM 卡座,ESD 防护电路,可以与本研究的最小控制系统直接连接。该模块采用了省电技术,在 PSM 模式下,模块的整体供电电流低至 40 μ A,其中 BC95 功耗 5 μ A,LDO 稳压芯片静态 35 μ A^[14-15]。在本研究中,NB-IoT 通信模块借助串口实现数据的收发,即通过串口接收来自微控制器发送的采集信息,通过可选择的电信 NB 网络将采集信息发到至远程服务器,并且接收来自远程服务器的预警阈值设定信息,再次通过串口转发给微控制器保存。需要说明的是,为了保证数据传输的效率和可靠性,本研究要求 NB-IoT 通信模块在 200 ms 内完成参数信息的双向传输,总丢包率控制在 0.2% 以内。

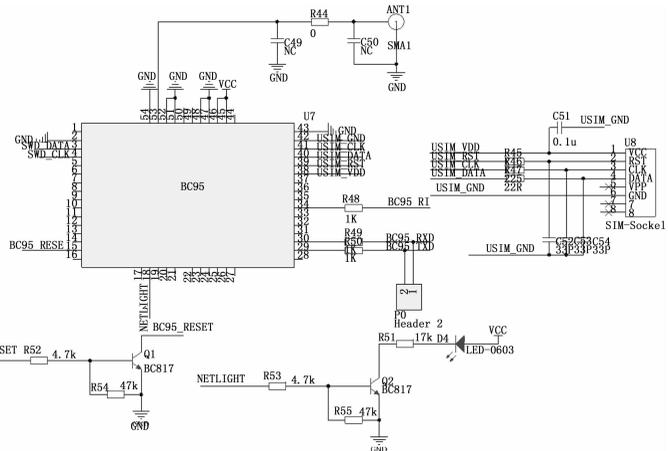


图 5 NB-IoT 通信模块的电路原理图

2.4 传感器模块选型设计

本研究中选择用于实现具体功能的传感器模块均遵循低功耗与运行稳定的要求,其具体描述如下:本研究选用 US-100 型号的高精度超声波测距传感器来采集农业水渠的水位信息。该模块可实现 0~450 cm 的无接触测距功能,兼容 2.4~5.5 V 的电压输入,可以与最小控制系统直接连接。同时,该模块在常温条件下的测距精度为 0.3 cm \pm 1%。本研究对水位的测量范围为 0~300 cm,测量精度在 0.5 cm 以内。由此看出,选用该模块可以满足上述参数要求。

本研究选用 DHT-11 型号的温湿度传感器来

采集监测节点所在农田范围内的空气温度和空气湿度。该模块的温度测量范围为 0~50℃，湿度测量范围为 20% RH~90% RH，模块的电压接入范围为 3.3~5.5 V，与最小控制系统的电压输出相匹配。该模块在常温条件下的温度测量精度为 ±2℃，湿度测量精度为 ±5% RH。本研究对空气温度的测量范围为 0~40℃，对空气湿度的测量范围为 20% RH~70% RH。由此看出，选用该模块可以满足上述参数要求。

本研究选用 YL-69 型号的土壤湿度传感器来采集监测节点所在农田范围内的土壤湿度。该模块可以接入 3.3~5 V 的电压，与最小控制系统的电压输出相匹配。该模块提供两种湿度信息获取方式，本研究采用其 A0 口输出的模拟值，带入具体的数学转换公式，可以得出所需要的土壤湿度数值。本研究对土壤湿度的测量范围为 10% RH~80% RH，选用该模块可以满足上述参数要求。

3 系统软件设计

农业灌溉水渠远程监测系统的软件设计主要包括监测节点的软件设计、NB-IoT 通信模块的软件设计、远程服务器的软件设计、协议构建与解析、高精度水位测量算法五部分。

3.1 监测节点软件设计

监测节点软件设计主要包括主程序、节点服务程序、串口接收服务程序 3 个部分。其中，节点服务程序和串口接收服务程序为现有的配置程序，所以监测节点软件设计主要集中在主程序上，其实现流程如图 6 所示。

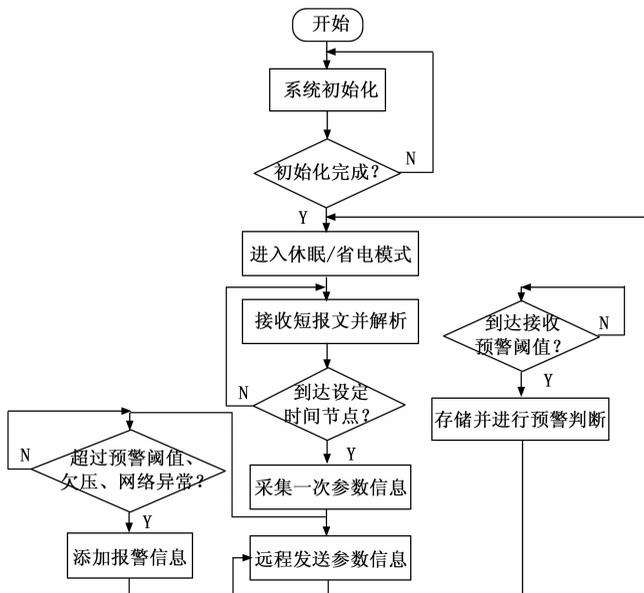


图 6 监测节点软件实现流程图

主程序启动后，微控制器首先对附属的外围电路、NB-IoT 通信模块及传感器模块进行初始化，初始化完成后微控制器进入低功耗的休眠模式，NB-IoT 通信模块进入 PSM 模式。在这期间，北斗定位模块实时反馈短报文给微控制器，微控制器解析其中的 UTC 时间，判断是否到达设定的

时间节点。当判断到达设定的时间节点后，微控制器控制传感器模块采集一次当前所在位置的水位信息、空气检测信息、土壤检测信息和位置信息，并按照构建的通信协议通过 NB-IoT 通信模块将采集的参数信息发送至远程服务器。与此同时，微控制器对自身的电压状况及 NB-IoT 通信网络状况进行一次检测，在判断电源欠压或网络异常时，在发送的参数信息中添加对应的报警信息。微控制器通过 NB-IoT 通信模块接收和保存远程服务器设定的预警阈值，并在每次参数信息采集时进行判断，当判断采集的参数信息高于设定的预警阈值时，同样会在发送的参数信息值添加报警信息。

3.2 NB-IoT 通信模块软件设计

在本设计中，NB-IoT 通信模块采用 TCP/IP 协议将监测节点采集的参数信息发送至远程服务器，其中，NB-IoT 注册网络连接、发起通信请求、参数信息发送、指令下发和设备注销都是通过串口发送 AT 指令进行控制^[16]。同时，为了提升监测节点整体的运行速度，减轻微控制器的负担，两者之间的串口中断采用直接存储器访问方式，具体的实现流程如图 7 所示。

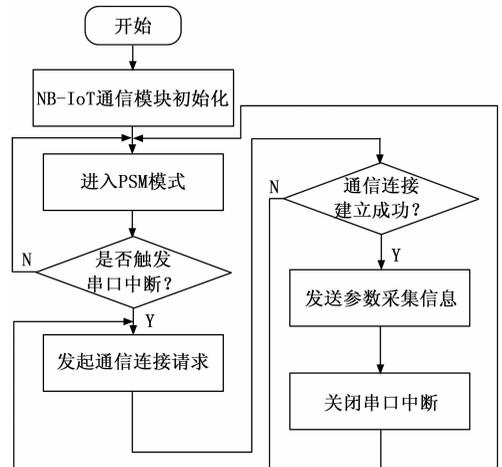


图 7 NB-IoT 通信模块软件实现流程图

NB-IoT 通信模块启动后，NB 最小系统进行初始化，随后进入 PSM 模式。在此过程中，NB-IoT 通信模块判断是否接收到监测节点触发的串口中断，在串口中断触发后，表明监测节点采集了一次当前所在位置的水位信息、空气检测信息、土壤检测信息和位置信息，这些参数信息可以通过串口发送至 NB-IoT 模块。此时，需要向远程服务器发送 Socket 通信连接请求，在与远程服务器建立数据通信连接后，NB-IoT 通信模块将参数信息转发至远程服务器，随后关闭串口中断，结束当前参数信息的转发，再次进入 PSM 模式。

3.3 远程服务器软件设计

远程服务器软件，也即运行在远程服务器端的系统软件，在文中统称为远程服务器。远程服务器软件采用客户端/服务器 (Client/Server, CS) 模式进行设计，在 Visual Studio 环境下采用 C# 语言进行开发^[17]。远程服务器软件

包括通信日志模块、网络参数配置模块、监测数据显示模块、阈值设定模块、地图定位模块与按钮模块, 其工作流程如图 8 所示。

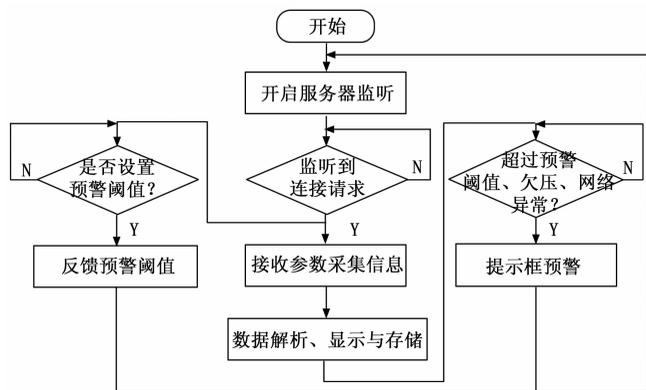


图 8 远程服务器软件实现流程图

远程服务器运行后, 开启服务器监听, 等待 NB-IoT 通信模块发送通信连接请求。当监听到 NB-IoT 通信模块的通信连接请求后, 建立数据通信连接, 接收其发送的参数信息。一方面, 远程服务器解析参数信息, 将其解析并显示在监测数据显示模块, 通过调用地图定位模块可以查看监测节点的地图位置。另一方面, 远程服务器将参数信息保存至本地路径下的 TXT 文件中。在参数信息解析的过程中, 如果得到报警信息, 远程服务器会及时弹出对话框进行预警信息提示。在此过程中, 用户可以在阈值设定模块输入部分参数的预警阈值, 在 NB-IoT 通信模块与远程服务器建立通信连接后, 远程服务器会反向向 NB-IoT 通信模块反馈设定的预警阈值, 最终传输至监测节点进行保存。

3.4 协议构建与解析

协议构建与解析部分包括 NB-IoT 数据通信协议的构建与北斗短报文解析两部分, 前者用于将监测节点定时采集的一次当前所在位置的水位信息、空气检测信息、土壤检测信息和位置信息, 以及可能存在的报警信息, 按照构建的通信协议格式整合成一条参数信息, 经 NB-IoT 通信模块发送至远程服务器。后者用于监测节点解析北斗定位模块返回的短报文, 根据短报文信息解析格式得出需要的经纬度、海拔高度和 UTC 时间等信息。

3.4.1 NB-IoT 数据通信协议构建

NB-IoT 通信模块与远程服务器建立数据通信连接后, 双方进行双向数据通信需要遵循设定的数据通信协议, 该协议包括整合信息协议与阈值设定协议。前者是由监测节点遵循, 根据该协议整合采集的参数信息, 经 NB-IoT 通信模块发送至远程服务器, 远程服务器根据对应的协议解析参数信息进行显示与存储。后者是由远程服务器遵循, 根据该协议将用户设定的预警阈值经 NB-IoT 通信模块反馈至监测节点, 监测节点根据对应的协议解析预警阈值进行存储和判断。需要说明的是, 两种协议均采用“起始帧+帧间隔+数据帧”的设定形式, 如表 1 所示。

表 1 协议设定形式

	起始帧	帧间隔	数据帧
整合信息协议	* JUST	,	下述
阈值设定协议	* HLJU	\$	下述

整合信息协议的数据帧由各参数值与参数间隔组成, 在本研究中, 参数间隔与帧间隔选择同样的符号。数据帧的组成形式如表 2 所示, 包括: 土壤湿度、水面高度、空气温度、空气湿度、空气压强、定位经度、定位纬度、报警编号。一条整合信息数据如下:

* JSUT,54,66.60,23,44,1007,126.61393,45.70546,1

上述数据帧表示: 土壤湿度为 54% RH, 水面高度为 66.60 cm, 空气温度为 23℃, 空气湿度为 44% RH, 空气压强为 1 007 hPa, 定位经度为 126.613 93, 定位纬度为 45.705 46, 报警编号为 1。其中, 不同报警编号对应的具体报警信息如表 2 所示。

表 2 报警编号与报警信息

报警编号	报警信息	报警编号	报警信息
1	电源欠压	4	空气温度异常
2	网络异常	5	空气湿度异常
3	水位异常	6	土壤湿度异常

阈值设定协议的数据帧由阈值编号、阈值数值与一个参数间隔组成, 每个阈值编号对应单个的参数, 阈值数值则是需要设定该参数的预警阈值的具体数值。一条阈值设定数据如下:

* HLJU1, 35

上述数据帧表示: 阈值编号为 1 的参数设定的预警阈值的具体数值为 35。表 3 列出了阈值编号对应的具体参数。

表 3 阈值编号与对应参数

报警编号	报警信息	报警编号	报警信息
1	空气温度	4	水面高度
2	空气湿度	5	土壤湿度

3.4.2 北斗短报文解析

NMEA-0183 协议是美国国家海洋电子协会指定的标准格式, 目前已成为 GPS/北斗导航设备统一的 RTCM (Radio Technical Commission for Maritime services) 标准协议。NMEA-0183 协议采用 ASCII 码来传递 GPS/北斗定位信息, 也称为帧响应信息。其中, NMEA-0183 常用命令如表 4 所示。

表 4 NMEA-0183 常用命令

序号	命令	说明	最大帧长
1	\$ BDGGA	北斗定位信息	72
2	\$ BDGSA	当前卫星信息	65
3	\$ BDGSV	可见北斗卫星信息	210
4	\$ BDRMC	推荐定位信息	70
5	\$ BDVTG	地面速度信息	34

表 5 BDGGA 报文响应信息解析

字段	结构	描述	格式	示例
1	\$BDGGA	报文头		\$BDGGA
2	utc	定位的 UTC 时间(时/分/秒/小数秒)	hhmmss.ss	024941.00
3	lat	纬度(DDmm, mmmmmmm)	III, IIIIII	3148.2499597
4	latdir	纬度方向(N:北纬,S:南纬)	a	N
5	lon	经度(DDmm, mmmmmmm)	yyyy.yyyyyyy	12033.0166797
6	londir	经度方向(E:东经,W:西经)	a	W
7	BDS qual	解状态	x	1
		0:初始化 1:BDS 定位		
		2:码差分 4:RTK 固定解(RT2)		
		5:RTK 浮点解(RTK20),OmniSTAR HP 或 OmniSTAR XP		
		6:正在估算 7:人工输入固定值		
		8:超宽巷解 9:SBAS 解		
8	# sats	参与计算的卫星数,可能与可见卫星数不同	xx	10
9	hdop	水平精度因子	x, x	1.0

如表 4 所示,北斗定位信息即本文所提到短报文,本研究主要使用该命令获取所需的经纬度、海拔高度和 UTC 时间信息。在发送上述指令后得到的一条 ASCII 格式的响应信息如下:

BDGGA, 024941.00, 3148.2499597, N, 12033.0166797, E, 1, 16, 0.6, 57.0924, M, 0.000, M, 99, AAAA * 55

对该短报文响应信息的具体解析如表 5 所示。

4 系统测试与分析

本研究的农业灌溉水渠远程监测系统已经进行了多次实际场景下的测试,测试均表明该系统运行稳定可靠,达到了的预期目的。图 9 示出了监测节点完成一次当前所在位置的水位信息、空气检测信息、土壤检测信息和位置信息的采集。具体的,当前的土壤湿度为 58% RH,水面距离超声波测距传感器 23 cm,空气温度为 22 ℃,空气湿度为 31% RH,空气压强为 87 KPa,经度为 126.613 55 E,纬度为 45.705 43 N(位于黑龙江大学校园内)。

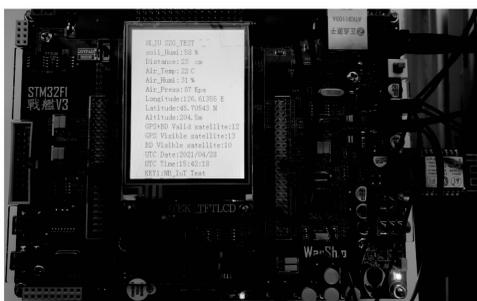


图 9 监测节点进行一次参数采集

监测节点在完成一次参数采集后,会将参数信息经 NB-IoT 通信模块远程发送至远程服务器。一方面,远程服务器解析接收到的参数信息,并在对应的监测数据显示模块内进行数据展示。此时若设定某些参数的预警阈值,当监测节点实时采集并判断这些参数信息达到设定的预警阈

值,会在发送给远程服务器的采集信息中添加报警信息。图 10 示出了上述过程,即当采集的水位信息超过预警阈值时,提示“水位线过高,请注意查看!”。



图 10 远程服务器解析显示参数信息并进行预警

点击“地图定位”按钮,可以查看当前监测节点所在位置,如图 11 所示,该位置与作者进行测试的地点一致,位于黑龙江大学电子工程学院内。



图 11 监测节点的当前位置

另一方面,远程服务器将接收到的参数信息存储到本地路径下的 TXT 文件中。图 12 示出了几次测试保存的 TXT 文件,图 13 示出了某个 TXT 文件的存储内容。

至此,本研究设计的农业灌溉水渠远程监测系统的整体测试结束。从上述过程可以看出,系统设计的软硬件部

名称	修改日期	类型	大小
2021-04-23_0.txt	2021/4/23 15:46	文本文档	51KB
2021-04-23_1.txt	2021/4/23 16:24	文本文档	3KB
2021-04-23_2.txt	2021/4/23 17:14	文本文档	6KB
2021-04-28_0.txt	2021/4/28 15:40	文本文档	4KB
2021-04-28_0.txt	2021/4/23 15:44	文本文档	3KB

图 12 本地路径下存储的 TXT 文件

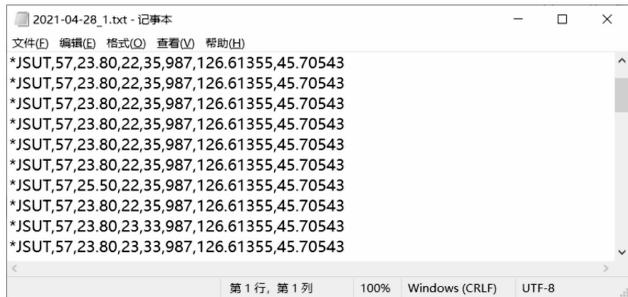


图 13 TXT 文件中存储的参数信息

分均运行稳定, NB-IoT 双向数据通信正常, 远程服务器能够顺利的完成参数信息的解析、显示与存储。并且当设定预警阈值的参数采集信息过高时, 远程服务器会及时进行预警提示, 所设计的功能均能正常使用。

5 结束语

本文设计并开发了一套基于 NB-IoT 的农业灌溉水渠远程监测系统, 解决了现有农田信息采集与节水灌溉系统分开设计的弊端, 将两者有机的集合到了一起。具体的, 本研究的农业灌溉水渠监测系统包括监测节点、NB-IoT 通信模块和远程服务器三部分。其中, 监测节点采用基于 SMT32F103RCT6 型号的微控制器, 控制传感器模块采集所在位置的农田信息, 包括空气温度、空气湿度、空气压强、土壤湿度等, 采集所在位置的灌溉水渠的水面高度, 以及采集自身的定位信息。监测节点在固定时间节点采集的上述参数信息, 经 NB-IoT 模块发送至远程服务器。远程服务器接收单次采集的参数信息, 一方面直接解析显示到监测数据显示模块, 并通过调用地图显示节点的位置; 另一方面将参数信息存储至本地路径下的 TXT 文件中, 便于后续数据分析与历史查询等操作。用户可以在远程服务器设置具体参数的预警阈值, 监测节点会在参数采集时及时进行预警。为了提升系统的野外适应能力, 监测节点配备了电源模块、太阳能板和防雷装置。同时, 监测节点与 NB-IoT 通信模块只在固定的时间节点启动, 其余时间均处于休眠或 PSM 模式, 确保电源的功耗最小, 延长监测节点与 NB-IoT 通信模块的单个使用寿命。监测节点在欠压或网

络异常情况下具备“自救”能力, 用户接收其报警信息及获取其地图位置, 即可及时进行修理。本研究补充了农业水渠等场景下水位自动监测的研究, 进一步提升了我国水渠灌溉监测的自动化程度和信息化水平, 长时间的农田信息与灌溉水渠数据的存储也为智慧农业、农业大数据奠定了良好的基础, 为后续建立一系列的智能决策系统提供了有利条件。

参考文献:

- [1] 吴超超, 黄自勤, 严红. 我国水质性缺水状况及对策 [J]. 广西土木建筑, 2002 (1): 55 - 59.
- [2] 程晓贤. 农田水利信息管理技术有效发挥水利工程的作用 [J]. 农业工程技术, 2021, 41 (18): 36 - 39.
- [3] 方慧. 基于掌上电脑的农田信息采集系统的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [4] 刘伟, 何东健. 基于嵌入式 LINUX 的远程土壤信息采集系统设计 [J]. 农机化研究, 2009, 31 (5): 148 - 151.
- [5] 姜晓康, 张立新, 张雪媛, 等. 基于 Arduino 和 NB-IoT 的棉田环境监测系统设计 [J]. 农机化研究, 2022, 44 (6): 71 - 76.
- [6] 沈艺敏. 基于物联网的温室农业种植环境监控系统研究 [J]. 农机化研究, 2022, 44 (6): 209 - 213.
- [7] 杨宇辉, 刘成. 基于 ZigBee 的农田土壤湿度监测系统 [J]. 工业控制计算机, 2021, 34 (8): 40 - 41.
- [8] 李林. 基于物联网技术的农业灌溉系统精准控制研究 [J]. 农机化研究, 2022, 44 (1): 227 - 232.
- [9] 高萌萌, 孙志刚, 李硕, 等. 基于 NB-IoT 的区域空气质量监测系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (10): 55 - 59.
- [10] 田旭飞, 姚凯学, 王凯鹏, 等. 基于 LoRa 和 STM32 的路灯自动监控系统的研究 [J]. 计算机工程与科学, 2021, 43 (8): 1470 - 1478.
- [11] 陈本, 李士军, 欧阳航, 等. 基于 STM32 的无菌恒湿实验装置的设计与实现 [J]. 现代电子技术, 2021, 44 (16): 60 - 64.
- [12] 李露, 胡乃瑞, 王君祎. 基于北斗定位与 LoRa 无线技术的野外搜救监测系统设计与实现 [J]. 电子器件, 2021, 44 (2): 428 - 433.
- [13] 宋学强. 基于计算机视觉的水面目标检测及无人船平台研发 [D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2020.
- [14] 李琴, 潘三博. 基于 NB-IoT 的光伏电站监测系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2021 (8): 59 - 62.
- [15] 张思祥, 刘志博, 田广军, 等. 基于窄带物联网的辐射监测系统设计与实现 [J]. 仪表技术与传感器, 2021 (7): 76 - 80.
- [16] 王伏林, 赵林强, 龙荣, 等. 基于 NB-IoT 的地上消防栓在线监测系统 [J]. 中国给水排水, 2021, 37 (12): 55 - 59.
- [17] 孙志刚, 蒋爱平, 高萌萌, 等. 基于 WinForm 的航天电磁继电器动态特性测试系统软件设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (9): 153 - 157, 162.