

杭州电子科技大学

硕士学位论文

题 目： 基于 NB-IOT 的净水器系统设计与实现

研 究 生 王 彪

专 业 电子与通信工程

指导教师 陈科明 副教授

完成日期 2021 年 3 月

杭州电子科技大学硕士学位论文

基于NB-IOT的净水器系统设计与实现

研 究 生： 王彪

指导教师： 陈科明 副教授

2021 年 3 月

**Dissertation Submitted to Hangzhou Dianzi University
for the Degree of Master**

Design and implementation of water purifier system based on NB-IOT

Candidate: Wang Biao

Supervisor: Associate Prof. Chen Keming

March, 2021

杭州电子科技大学

学位论文原创性声明和使用授权说明

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品或成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

论文作者签名：

日期：2021 年 3 月 12 日

学位论文使用授权说明

本人完全了解杭州电子科技大学关于保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属杭州电子科技大学。本人保证毕业离校后，发表论文或使用论文工作成果时署名单位仍然为杭州电子科技大学。学校有权保留送交论文的复印件，允许查阅和借阅论文；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以允许采用影印、缩印或其它复制手段保存论文。（保密论文在解密后遵守此规定）

论文作者签名：

日期：2021 年 3 月 12 日

指导教师签名：

日期：2021 年 3 月 12 日

摘 要

近年来, 饮水健康受到日益关注, 净水行业繁荣发展, 净水产品参差不齐, 绝大多数是将水通过多个滤芯之后来达到净化效果, 这类产品主要存在以下三方面问题: 1、用户无法便捷获知水过滤后的效果; 2、厂家无法实时获知设备的使用情况, 不能及时提供更换滤芯、设备故障维修等服务; 3、未考虑不同地区水质对滤芯影响的差异化, 对滤芯可使用期限的计算不准确。

本文从改进净水效果检测方式和系统远程运维的角度出发, 提出一套基于 NB-IOT (Narrow Band Internet of Things, 窄带物联网) 的净水器系统改进方案, 由带温度补偿的 TDS (Total Dissolved Solids, 溶解性固体总量) 值检测节点、水流量传感器、NB 无线通信控制器、基于 uC/OS-III 系统的 MCU 主控板、获取信息的 APP 组成。系统运行期间, 实时更新净水总量, 结合双 TDS 值进行差异化调整滤芯寿命, 本地计算和存储用水量信息及滤芯消耗剩余寿命, 减少上传云端数据量和云端计算量, APP 获取净水器信息, 带给用户数据透明化、控制智能化和操作简易化。

净水系统中, TDS 探头在水中长期通电下会产生极化效应和等效电容, 影响 TDS 值检测的准确性, 本文提出了一种基于多频双极性的方式, 通过检测结果来动态调整施加于 TDS 探头两端的 PWM 频率和占空比, 以温度补偿来校正不同温度对应的电导率系数, 得出结果再通过滤波算法进行处理。由实验验证了该检测方式的可行性, 标准纯净水 TDS 值在 10ppm (parts per million, 百万分率, 水溶液中 ppm 指质量浓度) 以内, 以小米 TDS 检测笔为参考, 检测出净化后水的 TDS 值稳定在 4ppm-6ppm 范围内; 在极化效应和等效电容的影响因素前提下, 本系统检测 TDS 值都在 20ppm 以上, 相比误差较大; 采用多频双极性的方式, 中和了 TDS 探头单端只存在正电荷或负电荷的情况, 减弱了由极化效应和等效电容带来的 TDS 值采集误差较大的影响, 温度补偿和滤波处理使得 TDS 值更加稳定, 净化后水的 TDS 值基本在 3ppm-5ppm 之间, 并且没有突变现象。

针对设备售出的分布地区比较广泛, 且同地区设备分布规模大小不一, 导致在设备高聚集的情况下, 由区域性通信数据量高度集中导致的远程固件升级成功率大大降低。设计了一种集中型大规模 NB-IOT 终端升级的方法, 对设备接入的小区基站进行编号, 基于滑动窗口思想, 充分利用有限带宽动态预测终端升级的并发数量。根据实际模拟情况来看, 与固定并发值做对比, 平均单批次升级的成功率提高了 30%, 较大降低了设备一次升级失败, 尝试二次升级的概率。

关键词: 饮水健康、NB-IOT、TDS、净水器、分布式、固件升级

ABSTRACT

In recent years, the health of drinking water has been paid more and more attention, and the water purification industry is booming and developing. Most of the water purification products are achieved by passing the water through multiple filter elements. The main problems of this kind of products are as follows: 1. Users can't easily know the effect of water filtration; 2. Manufacturers can't get real-time information about the use of equipment and can't provide timely replacement of filters 3. The service life of filter element can not be calculated accurately without considering the difference of water quality in different areas.

From the perspective of improving the detection method of water purification effect and remote operation and maintenance of the system, this paper proposes a set of system based on NB-IOT (narrow band Internet of things), The water purifier system improvement scheme is composed of TDS (total dissolved solids) value detection node with temperature compensation, water flow sensor node, NB wireless communication controller, MCU main control board based on uC//OS-III system, and app to obtain information. During the operation of the system, the total amount of water purification is updated in real time, and the service life of filter element is adjusted by combining the dual TDS value. The local calculation and storage of water consumption information and the remaining life of filter element consumption reduce the amount of data uploaded to the cloud and the amount of calculation in the cloud. App obtains the water purifier information, which brings users data transparency, intelligent control and easy operation.

In the water purification system, the TDS probe will produce polarization effect and equivalent capacitance under long-term power on in water, which will affect the accuracy of TDS value detection. This paper proposes a method based on multi frequency bipolar, which dynamically adjusts the PWM frequency and duty cycle applied to both ends of TDS probe through the detection results, corrects the conductivity coefficient corresponding to different temperatures by temperature compensation, and obtains the results through filtering Wave algorithm. The feasibility of this method is verified by experiments. The TDS value of standard purified water is 10 ppm (parts per) The results show that the TDS value of purified water is stable in the range of 4ppm-6ppm with millet TDS detection pen as reference; under the premise of polarization effect and equivalent capacitance, the TDS value detected by this system is more than 20ppm, and the comparison error is large; multi frequency bipolar method is used to neutralize the single end of TDS probe, only positive In the case of charge or negative charge, the influence of polarization effect and equivalent capacitance on TDS acquisition error is weakened. Temperature

compensation and filtering processing make TDS value more stable. The TDS value of purified water is basically between 3ppm and 5ppm, and there is no sudden change.

Due to the wide distribution of equipment sold in different regions, and the size of equipment distribution in the same region is different, the success rate of remote firmware upgrade due to the high concentration of regional communication data is greatly reduced in the case of high concentration of equipment. A centralized large-scale NB-IOT terminal upgrade method is designed. The cell base stations accessed by the equipment are numbered. Based on the idea of sliding window, the number of concurrent terminal upgrades is dynamically predicted by making full use of limited bandwidth. According to the actual simulation, compared with the fixed concurrency value, the average success rate of single batch upgrade is increased by 30%, which greatly reduces the probability of the first upgrade failure and the second upgrade attempt.

Keywords: drinking water health, NB-IOT, TDS, water purifier, distributed, firmware upgrade

目 录

摘 要	I
ABSTRACT	II
第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 净水器功能性应用技术的研究现状	2
1.2.1 净水器智能控制系统研究	2
1.2.2 滤芯寿命动态调整策略研究	3
1.2.3 无线通信的选择	5
1.3 各章节内容概要	5
第 2 章 智能净水器系统设计	7
2.1 系统总体设计	7
2.1.1 需求分析	7
2.1.2 系统总体框架	7
2.2 净水器网络通信设计	9
2.2.1 网络基本架构	9
2.2.2 协议帧格式	10
2.2.3 联网流程和关键机制	12
2.2.3.1 联网流程	12
2.2.3.2 低功耗休眠机制	13
2.2.3.3 失败重发机制	15
2.2.3.4 离线检测机制	15
2.2.4 触摸板硬件设计	16
2.2.5 触摸板软件设计	17
2.3 温度检测模块	18
2.3.1 温度检测模块硬件设计	18
2.3.2 温度检测模块软件设计	19
2.4 净水器智能控制系统功能概述	22
2.4.1 智能控制功能总体框架	22
2.4.2 漏水、故障、报警判断	23
2.4.3 滤芯状态和寿命到期处理	25
2.4.4 数据上报和智能休眠模式	25
2.5 应用层设计	26
2.5.1 云平台设计	26
2.5.1.1 平台侧设计	26
2.5.1.2 应用侧设计	27
2.5.2 APP 设计	28

2.6 总体效果展示.....	28
2.6.1 设备部分效果展示	28
2.6.2 云平台部分效果展示	31
2.6.3 APP 部分效果展示.....	33
2.7 本章小结.....	34
第 3 章 基于动态调整温度自补偿的 TDS 检测机制	35
3.1 TDS 与电导率概述	35
3.1.1 TDS 概述.....	35
3.1.2 电导和电导率概述	36
3.2 影响 TDS 值计算精度的因素.....	37
3.3 需求分析与设计方案.....	38
3.3.1 需求分析	38
3.3.2 设计方案	38
3.4 动态调整温度自补偿的 TDS 检测机制设计	41
3.4.1 温度变化对 TDS 的动态补偿	41
3.4.2 TDS 值多频双极性采集机制.....	43
3.5 基于滑动平均滤波法实现 TDS 的平滑滤波.....	44
3.5.1 滑动平均滤波法基本原理	45
3.5.2 滑动平均滤波控制机制	46
3.6 软件设计及测试结果.....	47
3.6.1 软件整体设计	47
3.6.2 对比测试	48
3.6.2.1 测试环境.....	48
3.6.2.2 无优化测试.....	50
3.6.2.3 多频双极性测试.....	52
3.6.2.4 综合测试结果分析.....	53
3.6.2.5 滤芯使用期限预测.....	55
3.7 本章小结.....	55
第 4 章 集中型大规模 NB-IOT 终端固件升级的优化设计	56
4.1 NB-IOT 设备远程升级技术分析	56
4.2 固件升级总体架构分析.....	56
4.2.1 固件升级框架	56
4.2.2 设备端分区	57
4.3 设备端固件升级设计.....	58
4.3.1 固件分包写入	58
4.3.2 固件替换	59
4.4 云端升级架构设计.....	60
4.4.1 总体流程	60
4.4.2 基站划分	61
4.4.3 并发容量动态分配	62
4.4.4 升级失败处理	64
4.5 性能测试.....	65

4.5.1 测试前准备	65
4.5.2 添加升级任务	66
4.5.3 测试结果分析	68
4.6 本章小结.....	71
第 5 章 总结与展望	72
5.1 总结.....	72
5.2 展望.....	73
致谢	74
参考文献	75
附 录	78

第1章 绪论

1.1 研究背景及意义

“三山六水一分田”，从古自今的延续，这句话足以体现出水资源在整个生态环境中的分量，其对人类赖以生存环境的贡献不言而喻。其次，万物生长都需要水的滋润，尤其在人体饮用水方面的重要性，健康的饮用水能促进人体正常的生理代谢，辅助运送人体的各个部分所需的养分^[1]。近十年我国经济增速的突飞猛进带来的不仅有个人人均收入的提高，更重要的是彻底改变了人们对高质量生活方式的理解，伴随着经济的快速增长，饮用水资源严重短缺和污染的问题似乎也在日益凸显；如图 1.1 中全国各淡水流域水质比例，2019 年中国环境公报发布报告：由于工业废水、生活污水以及其他水溶性有害物质肆意排放到主干水体，造成各大流域水质发生物理、化学、生物等变化，严重影响人类饮水健康以及生态平衡，尤其影响了人类赖以生存的饮用水资源^{[4][5]}。随之而生的水源净化过滤产业因此诞生，各大企业随即开始研发净水器产品，其净水的质量也已通过了相关检验部门的合格验证，目前净水器在智能化控制应用方面的技术也得到了较多的研究。

流域	测站比例 (%)		
	良好以上	较差	极差
松花江	12.9	72.0	15.1
辽河	10.6	60.6	28.8
海河	31.1	52.0	16.9
黄河	25.5	44.1	30.5
淮河	25.1	65.4	9.5
长江	20.0	65.7	14.3
内陆河	26.1	48.6	25.4
全国	24.0	56.2	19.8

图 1.1 2019 年中国环境公报发表水质检测情况

在控制领域、传感器领域以及微电子领域技术快速发展的背景下，针对净水器的单一机械控制的不足，目前也做了一些净水器智能控制的研究。滤芯寿命监管方面，采用水流量计，根据制水总量进行一个初步的判断；水质检测方面，采用 TDS 检测方式对滤芯过滤效果进行一个双重的认证；另外还有漏水检测等其他保护性功能，使得净水器的安全和控制更加的智能。

尽管目前的一些研究改进了净水器整体的安全性和高效性，使净水器系统更加完善和自我管理，但目前净水器在应用方面还是存有一定的缺陷：

1) 净水器的各部分功能独立工作，不能系统得进行分工调控、故障反馈、自动控制进行故障识别等。滤芯堵塞，水管漏水无法自动反馈，导致在漏水情况下继续制水；没有自主保

护机制，例如净水器水箱在没有存水的情况下无反馈的进行加热，导致无水加热损坏机器；另外，长时间闲置导致细菌微生物的滋生，使闲置常存的水变质；

2) 无系统化的存储，净水器系统工作时无日志记录，无法判断工作时常及用水量信息，无法生成用水报告让用户做到心中有数，人为估量用水情况非常繁琐，这一点在净水器中还有待改进；

3) 不具备联网功能，后期维护困难，系统可能存在隐藏漏洞，运行期间出现同批次设备故障或死机，对运营商造成直接损失，增加人工修复成本。

1998 年，美国麻省理工学院率先提出了“物联网”构想，当时被称为 EPC 系统^[6]。自 2018 年以来，各行各业都已在物联网技术领域有了一定收获，由华为主导的“构建万物互联，打造智慧生活”更是推出了基于 NB-IOT 无线通信技术的内核，为万物互联模式锦上添花。

《2018-2019 中国物联网年度发展报告》指出，全球的物联网使用场景已经发展到一定的高度，并且还在向各个领域扩张，追求更大的创新和融合，打造人机深度融合的新世纪^[11]。欧盟也在《Internet of Things in 2020》报告中分析，在 2020 年后，物联网将全面进入智能化^[12]。目前物联网技术已经相当成熟的运用在各行各业，且其应用的上层架构也在不断地铺建，物联网技术的应用使净水器产品的自动化反馈和智能化控制改造的可行性也大大提高。利用传感器检测，对净水器系统运行进行异常监控反馈，通过运行过程中的自主判断，反馈给用户和售后技术支持，减轻了后期维护时查找问题的负担并节省了大量不必要的维修时间；低功耗实现的无线网络使得净水器在长时间无人使用的情况下智能进入休眠模式，节省网络通信流量的消耗，一定程度上降低了使用成本。

1.2 净水器功能性应用技术的研究现状

1.2.1 净水器智能控制系统研究

目前净水器的智能化控制方案也在不断地更新迭代，以市场和用户为导向，在国内外都已经诞生了许多智能化的技术和应用。国内方面，刁一峰等人采用以 STM32 为控制核心的方式，以及使用水流量传感器对净水量进行记录，本地存储数据，并开发了一款运行在 Windows 环境下的上位机软件，通过 GPRS 通信的方式将数据上报到上位机进行设备运行状态和数据记录的显示^[13]；王敏洁采用 433MHz 的 RFM69 无线通信技术将净水器中控制器和主机之间建立起联系，在中控制器上实现各滤芯寿命和净化后水质 TDS 值得显示，自主设计数据库用于净水器数据的上传和存储，基于微信小程序实现了用户与设备之间的控制桥梁，通过扫码添加净水器设备之后可进行远程控制^[14]；刘小军采用以串口通信的阻态屏 GUI 界面，通过轻量级 Lwip 协议栈接入以太网，将净水设备的运行数据上传到平台^[15]。国外方面，Wenfang Lin 等人通过 WIFI 接入网络，在广域网和局域网都可以通过 APP 对净水器设备发出控制指令，并且通过语音控制系统对设备发出加热、停机、开机等操作^[17]；Elsa S. du Toit 等人在厨房范围内将控制板与净水器设备分离开来，通过蓝牙通信方式，进行区域内通信^[18]。

文献^[13]基于 Windows 环境的软件，限制了应用的多样性，用户在使用时没有选择的多样性，并且在查看设备运行状态时还需要上位机软件的配合，若用户长时间外出或旅游并不一定会随身携带电脑，基于这种情况，则对于实现远程关机节省净水器运行的消耗而言就显得比较繁琐。另外，目前国内三大运营商已经联合发布公告，2G 网络的服务已经随着 5G 网络的到来逐渐失去了其应用场景，更低速的网络已经无法满足目前物联网技术的应用。

文献^[14]使用 RFM69 无线射频通信技术与 WIFI 通信技术的结合，构造整个净水器网络，中间网络转换繁琐，其在中控器、净水器主机和第三方平台之间做到信息的同步，大大增加了硬件成本，并且在中控器的布局中采用有线的电源连接方式，又增加了电源布线的成本，而且在采用射频通信和 WIFI 通信之前，需要增加中控器和净水器主机，净水器主机和 WIFI 之间的配网过程，在一些家庭 WIFI 网络不好的情况下，会导致配网失败而多次重复配网过程，浪费了大量的时间。

文献^[15]加入 GUI 串口阻态屏作为净水器显示面板，极大增加了用户成本；文献^[17]同样使用了 WIFI 接入网络，避免不了净水器和路由器的配网过程，通常路由器位置比较固定，还要在家庭中考考虑信号穿墙的因素，并且净水器位置可以不固定，在更换路由器后还需要重新配网，体验感不强。

1.2.2 滤芯寿命动态调整策略研究

传统净水器对于滤芯使用期限的判断还停留在主观感知的阶段，无法实现反馈式的自主判断。传感器技术的出现解放了用户一部分繁琐的工作，滤芯寿命监控方面用到的传感器技术可谓是层出不穷。目前许多净水器厂商都提出了各自监控滤芯寿命的方式，并发表了专利：根据单位时间内制水率和制水总时长来计算制水总量，与滤芯可制水总量的阈值做对比来判断滤芯可使用寿命。此方案在更换滤芯后需要重置制水总量，比较繁琐；根据红外水流传感器来检测制水量，红外线有杀菌的作用。此方案与计算制水总量相似，另外红外线杀菌的效果有待考证；根据颜色传感器，判断过滤后水中杂质的含量，以不同颜色区分来判断滤芯寿命的使用期限，对颜色传感器的要求比较高，需要考虑成本，此方案可行性不高；根据检测水质 TDS 值，对比过滤后水质的 TDS 值来判断滤芯使用效果。此方案可明显看出过滤后的水质效果，但单一的检测方式存在判断异常的情况，还需要考虑多种因素来共同判断滤芯寿命。

综上所述，目前一些净水器厂商申请的专利中提到的滤芯寿命监管的方法还有待改进。本文结合现有技术，提出一种反馈式自主动态调整滤芯寿命的方案。以带有霍尔器件的水流量传感器为主的检测方式：一，记录制水总量，本地存储，二，监测由滤芯长时间使用而堵塞导致的输水管压力的变化(图 1.2 使用后白色材质被泥沙覆盖变黄，图 1.3 水路输送图)；以带有自主温度补偿的 TDS 传感器为主的检测方式：根据原水 TDS 值与纯水 TDS 值的对比，来判断净水效果。将以上各种因素考虑到滤芯寿命判断中，由净水器智能控制系统来统一处理和管理滤芯寿命，并上报云平台来分析和预测滤芯剩余使用期限。



图 1.2 滤芯长期使用被泥沙覆盖变色

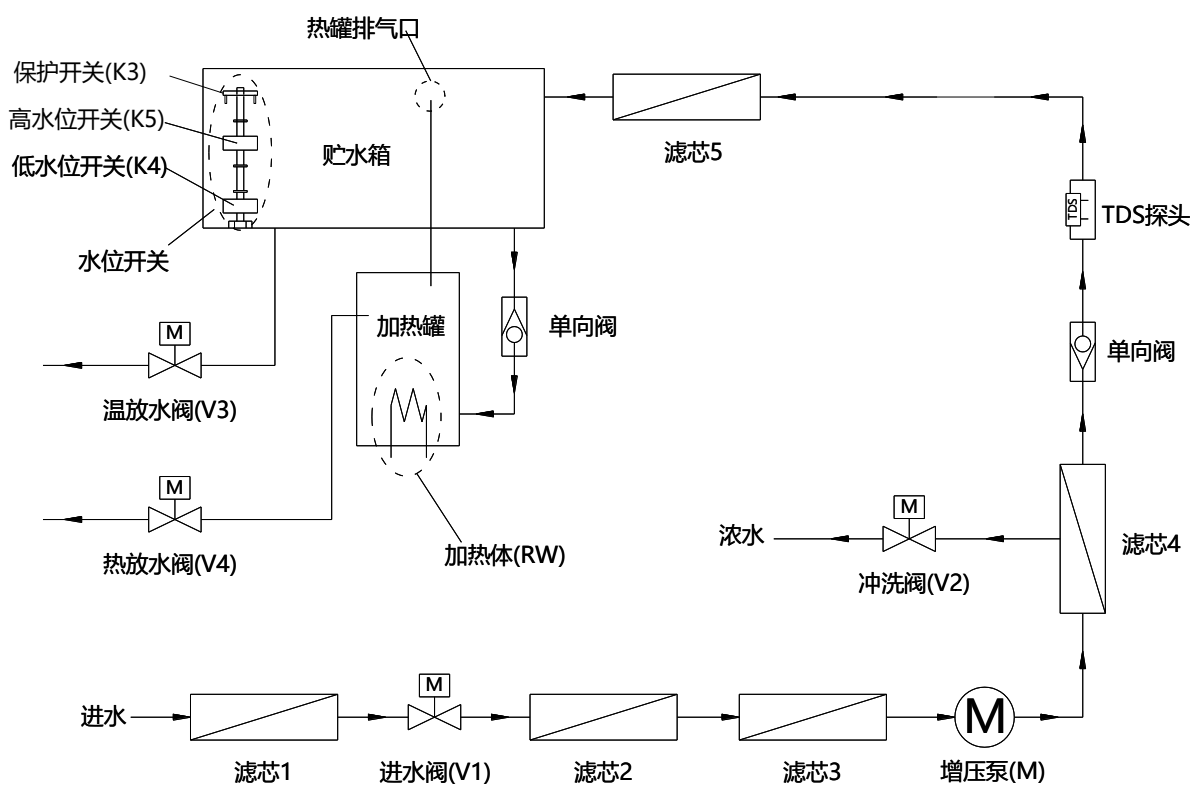


图 1.3 水路输送图

1.2.3 无线通信的选择

净水器整个系统能否稳定运行，与云平台和 APP 稳定通信，其关键在于无线通信技术的选择，无线网络通信在整个系统中承担着桥梁的作用，承上启下。所以本文在设计网络通信之前需要考虑以下几个方面：稳定性、功耗性、传输距离、成本等。常用的网络通信如表格 1.1 所示。

表格 1.1 现阶段常用无线网络通信

	GPRS	WIFI	NB-IoT
频段 (MHZ)	900、1800、1900	2.4G/5G	850, 900
传输速率	最高 171.2 Kbps	短距离较快	160Kbps-250Kbps
组网方式	基于蜂窝网络	无线通信	基于蜂窝网络
网络节点容量	30 万个	私有网段分配 IP	10 万个
传输距离	<100Km	<100m	>10Km
设备成本	现有模块，开发周期短	完整网络协议栈，成本较高	现有模块，开发周期短
通信成本	较低	较低	较低
功耗	高，传输层基于 TCP/IP 协议，需要保持连接状态	持续通信，功耗较高	自带低功耗模式，深度休眠模式消耗电流 0.27uA 左右
发展现状	国内三大运营商发布公告：逐渐退网	传输速率越来越快，传输距离越来越高	标准在 2016 年公布，有待完善

现阶段，网络通信的发展也为我们提供了各种用途的通信方式。常用的有 GPRS、WIFI、NB-IOT，另外，4G、5G 在物联网应用方面也有所增加。GPRS 是 2G 到 3G 的过渡通信方式，其在物联网方面的应用也非常广泛，但目前 GPRS 已然面临退网的趋势^[19]，WIFI 适用于大量数据的网络通信领域，2.4G 频段的信号穿墙能力较弱，功耗较高，部署在净水器上需要考虑通信距离问题，并且设备配网方式繁琐，在网络状态良好的情况下才能一次配网成功，增加了用户的工作量^[20]，另外，4G、5G 网络不适用于净水器系统通信中，数据量达不到标准，该制式的网络更适用于音视频流数据的传输^[21]，NB-IOT 窄带物联网在现有网络的基础上增益了 20dB，室内范围覆盖加强，基于 LwM2M 通信协议，在低功耗下也能保持稳定的连接，唤醒后无需重新连接网络，深度休眠状态下平均功耗在 0.27uA，适用于净水器的智能休眠模式，单一 NB-IOT 扇区内支持超高的节点连接量，对后续集中型大规模远程固件升级提供了友好的支持^[22]。

1.3 各章节内容概要

本文通过对目前净水器智能化控制技术研究的一些实际存在的不足，在目前相应技术应用的基础上做了一部分的优化工作，提出了基于 NB-IOT 的智能净水器系统，实现反馈式的控制系统，实时监测异常情况的发生，搭建了异常报警和自动尝试恢复异常的功能实施方案系统，设计了滤芯到期提醒及长时间无人反馈的强制锁机机制，考虑后期系统升级的成本和困难程度，提出了基于窗口滑动思想的自适应终端设备批量升级方案。结合净水器整个控

制环节，涉及异常处理（安全性）、数据上行和下行（网络稳定性）、TDS 值反馈（精确性）等特点，分不同章节对以上内容的设计和实现过程进行详细描述，最后对智能净水器系统做出总结和对后续研究提出展望：

第一章 绪论。本章对传统净水器中智能控制和自主反馈问题的不足，提出优化设想及实现方案，并自主设计了第三方平台用户数据展示效果，设定管理员权限，设计了 APP 软件，为用户提供更加便捷化的控制，并对净水器系统实际运行中有可能出现的异常提供预处理程序流程，由条件触发进入自主化判断和处理并记录异常发生时间和处理过程，以日志的形式存储在净水器系统本地，由用户执行查看权限。

第二章 智能家用净水器系统设计。本章从系统实际组成部分出发，详细描述了各部分的硬件和软件设计，以及在组件选型中从成本，控制的稳定性和高效性等方面进行合理性的比较。最后对净水器智能控制的整体效果进行实物展示。

第三章 基于动态调整温度自补偿的 TDS 检测机制。本章介绍了传感环路中，TDS 值检测的准确性是整个滤芯寿命精确预测的基础，基于多频双极性的方式，降低 TDS 探头通电检测时产生的极化效应和等效电容。通过温度自适应算法的调整对不同温度下采用基于温度调整的 TDS 值检测方案，在稳定输出的基础上调整滤波方案。最后通过示波器和专业测试仪器的对比，得出测试结果。

第四章 集中型大规模 NB-IOT 终端固件升级的优化设计。本章提出了一种净水器终端远程运维，固件升级的方案，配合小区基站由后台系统查询净水器设备联网的基站编号，基于网络协议栈中滑动窗口的思想根据编号进行动态调控同一基站并发升级的设备数量，预测并发容量上限，有效提高 30%左右的并发数量。

第五章 总结展望。本章对净水器终端控制系统总体设计做出总结，总结本设计系统中存在的不足之处，并提出展望。

第2章 智能净水器系统设计

从传统净水器存在功能缺陷以及用户体验感的角度考虑, 本文设计并实现了一种基于 NB-IOT 物联网技术的家用净水器系统设计, 改进了水质 TDS 值的检测精确度以及通过用水量数据和双 TDS 值的变化曲线差异来动态预测滤芯寿命的实际使用期限, 完全抛弃了传统净水器对滤芯剩余寿命的人为主观预测; 完善了净水器系统正常运行时的漏水保护机制、故障自处理及上报故障代码机制、网络离线自恢复机制等; 自主设计云平台的数据上报接口以及用户数据信息显示界面, 协助对接 APP, 使用 APP 扫二维码绑定设备, 实现用户对家用净水器的远程控制及实时查看家庭净水器的各项数据等功能, 可自定义进入节能模式的时间, 节省无线网络通信流量, 极大提升了用户的体验感。

2.1 系统总体设计

2.1.1 需求分析

针对目前净水器功能的不完善性和后期设备远程升级功能的缺失, 本文在改善功能性稳定的同时, 提出了以下几点合理需求的实现概要:

1) 改变滤芯寿命人为主观预测, 实现用水量数据和实时双 TDS 值上报云平台, 在平台端进行大数据的分析和处理, 预测滤芯寿命的剩余量, 自主动态预测并调控滤芯剩余寿命值, 平台主动触发寿命到期预警, 在长时间无人处理情况下进行强制锁机;

2) 节能模式, 设备接入网络之后进行一次时间的校准, 设备本地维护时间的运行, 定时获取网络时间进行差异化调整。时间段判断, 净水器系统可在夜间无人使用时自动进入智能休眠模式, 以减少网络流量的使用, 并可自定义唤醒时间或在设备端由用户主动触发唤醒;

3) 保护机制, 系统自主监测异常情况的发生, 包括加热异常、漏水保护、滤芯寿命到期预警, 强制锁机。如: 设备长时间持续加热异常, 系统自动尝试关闭加热开关, 如失败则在上报异常代码后执行重启, 重启后再次尝试关闭, 若再次失败则切断电源, 否则上报异常解除代码完成一次自恢复过程;

4) 云平台服务和 APP 远程控制, 云平台生成数据变化曲线, 包括原水 TDS 值曲线、纯水 TDS 值曲线、滤芯寿命消耗曲线以及净水器运行状态异常信息处理过程等, 平台由管理员登陆。APP 同步展示以上数据内容, 并且可远程控制设备的运行以及查询设备运行状态, APP 由用户自身管理;

5) 系统维护, 分布式设备升级, 降低云端数据集中并发性, 提高所有净水器设备并发升级情况下单次成功升级率。

2.1.2 系统总体框架

智能净水器总体结构如图 2.1 系统总体框架图所示, 由以下部分结构组成: 以电磁阀门和断路器为主构成的原水输送和过滤等物理控制; 以 TDS 值检测探头和温度采集模块组成的

滤芯寿命到期预警监控结构；以赛元芯片为主控制器的电容式触摸按键矩阵结构；以 NB-IOT 通信和云平台组成的本地数据上传云端的网络通信结构；以 APP 客户端为主的远程控制结构；表格 2.1 示出了系统详细部件组成。

表格 2.1 系统整体组成部件

集合	具体组成部分
传感器检测	TDS 检测模块、温度采集模块
外围器件	触摸按键控制板、指示灯控制
主控	板级 IO、外设、FLASH、NB 模块
云端	电信物联网通用平台 AEP、移动物联网通用平台 OneNET
移动终端	iOS 应用、（安卓）Android 应用

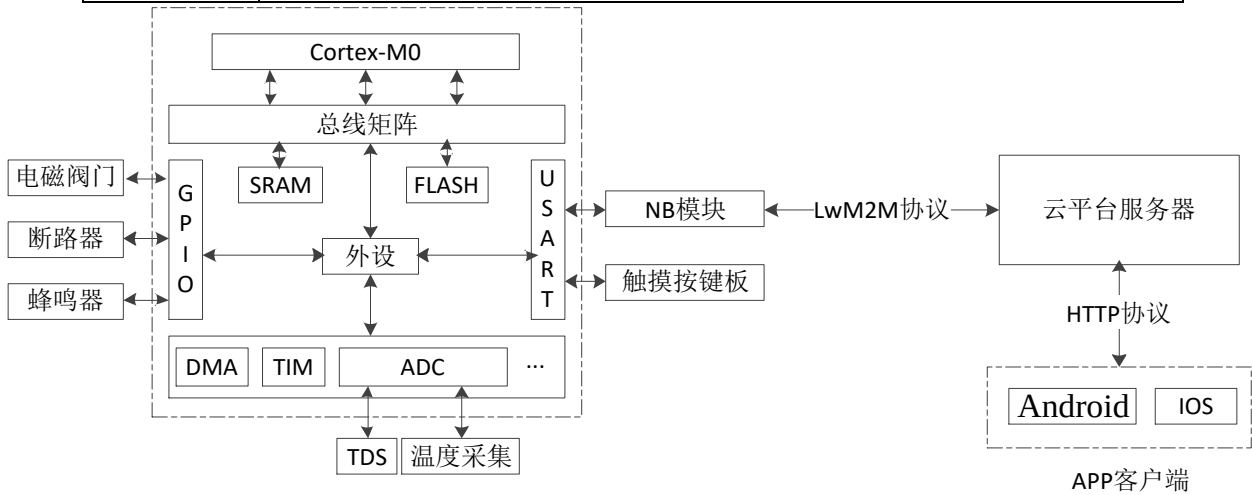


图 2.1 系统总体框架图

主控 MCU 选用 STM32F103CBT6，16K 的 RAM 和 128K 的 FLASH。通过 ADC（模数转换）与 TDS 探头和温度采集模块进行交互，MCU 是所有外接传感器采集数据的信息集中处理中心、数据存储中心、以及数据转发中心；通过 USART（串口）与触摸控制板进行交互，建立用户与设备之间的联系；通过发出控制电磁阀门和断路器进行水温的加热以及紧急异常情况下的净水器市电切断，只保留主控板 MCU 和通信模块的正常运行；本地 FLASH 定时存储净水量数值，设备运行时间，滤芯预设值寿命阈值，剩余可用寿命值等，防止净水器设备突然断电导致的数据丢失；设置热出水阀门的保护机制，只有触发解锁键之后再触发热出水的阀门控制键，防止儿童误触导致烫伤事故的发生；

NB 无线通信模块选用的是移柯的 NB-IOT BCL620 模组来接入网络，在保证网络通信稳定的情况下，优化通信帧的格式，若短时间内有多条数据的监控点需要上报，则将多条待上报的数据进行重组拼接之后再上报。数据内容由‘键值对’进行区分，键标识监控点名称，

值标识监控点内容，统一编码，简化数据量的冗余程度，提高有效数据占比，在网络波动比较大的情况下也能提高数据上行的成功率。

由传感器组成的数据采集系统实现数据的整合处理，并且实时反馈给净水器主控，达到系统整体的自我调控以及异常信息的及时处理；与云平台 and APP 交互，能随时随地查看净水器的系统运行状态以及用水信息，云平台可自定义以日周月为单位的用水总量信息，绘制成折线图；通过 APP 可在特殊情况下执行远程关闭设备；

2.2 净水器网络通信设计

保障净水器网络通信的稳定性和高效性是整个系统设计的关键，是实现系统联网的核心要素。本文在减轻网络负载的基础上优化了数据协议的格式，以 ISO 标准参考模型为蓝本，在应用层上重新规划了数据上行规则，以减少网络数据的频发和并发量，同时在本地控制系统中加入了一些关键机制保障网络波动时能快速恢复。

2.2.1 网络基本架构

以 M2M (Machine To Machine) 的应用场景为例，NB-IOT 在现有 4G 网络上进行改造，降低了数据上下行带宽，区域内支持超过 10 万个终端连接，降低了设备接入的功耗；网络增益 20dB，扩大到室内覆盖，广覆盖的能力增加了使用场景^[22]。如图 2.2 所示，端到端的模式需要各个数据承载部分的协议兼容，完整的结构应包括终端、无线网侧、EPC、应用服务器以及平台^[23]。NB-IOT 整合现有网络架构，使用 License 频段，可支持独立载波、保护带、带内等三种部署方式，与现有网络不存在同频串扰的问题，只在调制解调端增加了网络负载的转换负担^[24]。

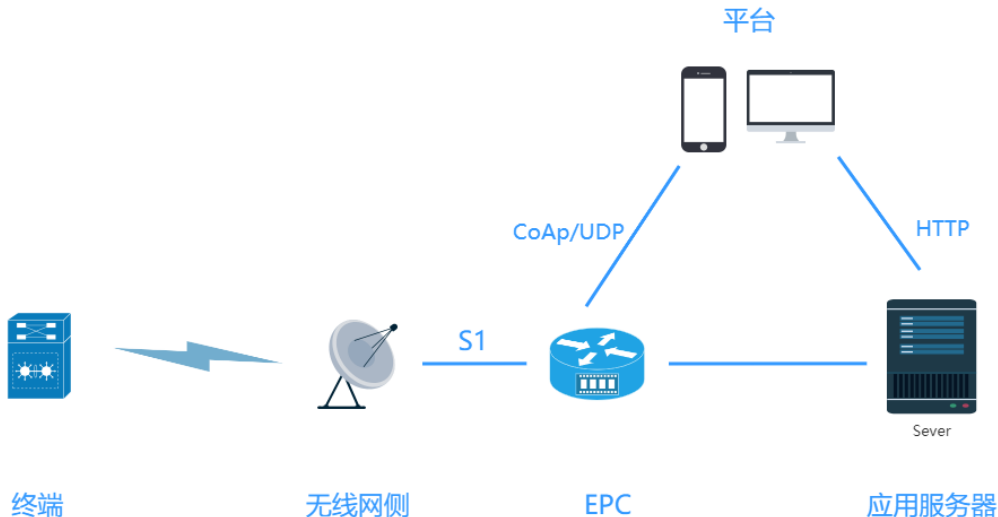


图 2.2 网络基本架构图

终端，UE (User Equipment)，无线自动搜索附近最适合连接的基站，记录连接时的信号质量，返回给终端用于判断终端到基站的网络通信质量。

无线网侧，两种入网方式。一是整体式无线接入网 (Single RAN)，其中主要包括 NB-IoT 无线网，另一种提供新建 NB-IoT 设备的兼容接口^[23]。这两种组网方式都可以进行小区基站

管理、提供空中接口转换到基站连接等相关应用。

EPC (Evolved Packet Core, 核心网), 负责与净水器终端连接的链接层通信, 并将终端应用层数据转发到第三方平台进行处理。EPC 内部还分多种传输方式, 具体如图 2.3 所示。

平台, 目前各大第三方平台也在积极融合 NB-IOT 业务, 现阶段兼容性比较好的有移动云平台和电信云平台。

应用服务器, 本文主要对接移动的第三方平台 Onenet, 以 Onenet 为例, 通过 HTTP/HTTPS 协议和平台通信, 调用平台的开放 API 来控制终端设备, 把终端上行数据通过触发器主动推送给应用服务器, 用于在平台上进行原始数据的协议解析, 转换成平台通用的数据格式, 并生成由前端设计的数据展示形式。

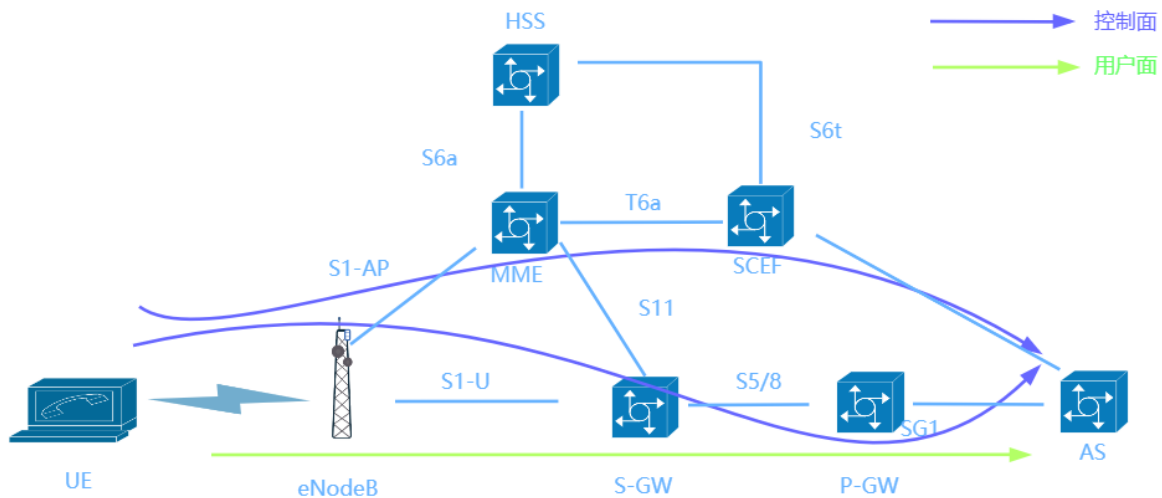


图 2.3 EPC 核心网数据传输形式

核心网数据传输方式包括控制面传输和用户面传输两种^[25]。控制面传输主要承载无线信令, 负责终端设备的接入, 以及为终端进行资源分配等; 用户面传输则主要承载用户数据, 保障用户数据的兼容^[25]。

2.2.2 协议帧格式

净水器通信协议以 OSI 标准模型为参考, 虽处在通信网络的应用层, 但应用层内部也规划了自定义的分层结构, 如图 2.4 所示。控制单元包括帧计数器、协议版本号、时间戳、源地址、目的地址、数据长度、命令字, 提供数据帧的传输链路信息以及数据帧的传输时间, 保证数据正确到达目的地以及校验数据到达时间的有效时长; 应用数据单元包括控制头、数据单元标识符、信息对象、状态字、MAC、校验, 标识符对数据内容进行鉴别和分类, MAC 提供数据加密的方式, 作为保留暂未使用; 应用层包括启动符、应用数据长度、应用数据单元、校验和、结束符, 启动符和结束符标识一帧的开始和结束, 在网络传输大量数据时用于区分正确的一帧数据。

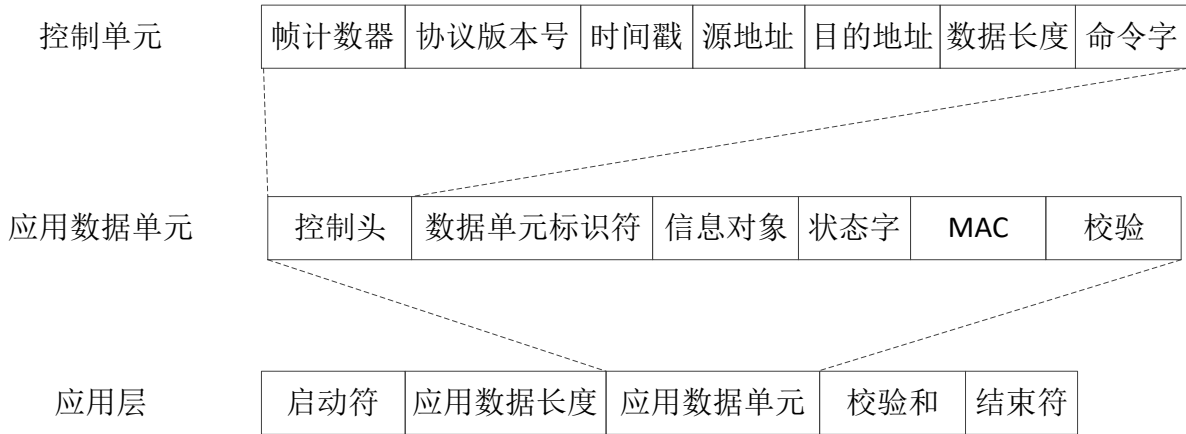


图 2.4 数据通信协议

校验和，保证数据内容传输接收后的一致性，防止从传输端到接收端数据突变后未能及时处理，从而对错误数据解析使系统出现错误。CRC 校验的流程如图 2.5 所示：

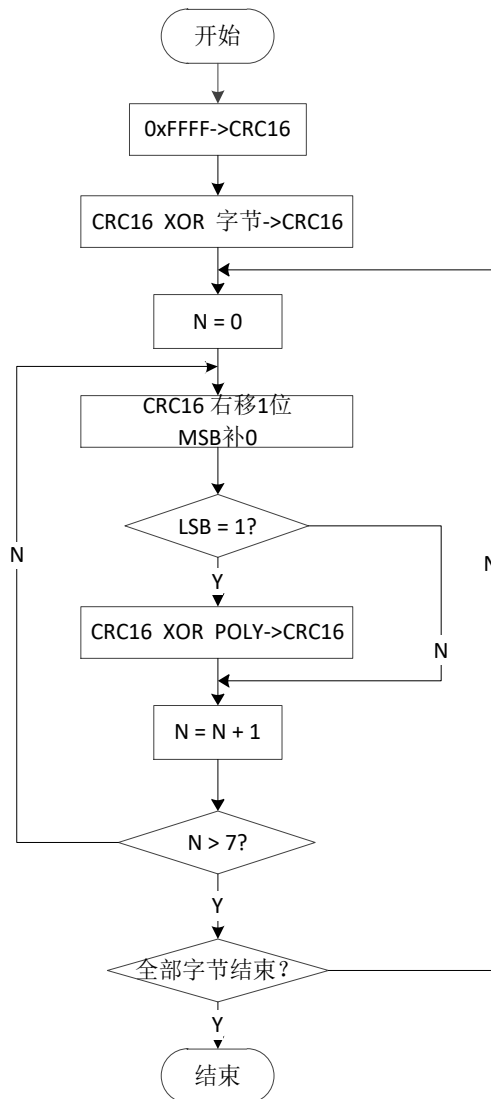


图 2.5 CRC 校验流程

2.2.3 联网流程和关键机制

净水器系统在运行前需进行网络的接入，同时，为了减少不必要的网络流量消耗和在无人使用期间达到节能的目的，根据 NB 模组自身的特点设计了低功耗休眠机制。为了防止网络波动和数据通信的偶然性失败，同样设计了一些机制保障通信的稳定。

2.2.3.1 联网流程

NB 模块连接网络的过程如图 2.6 所示。若已连接网络，则进行与平台或 APP 的数据通信；若是首次连接网络，则通过 AT 指令进行 NB 模块的初始化配置，检测是否有被授权连接的资格，然后按照预设值的流程，自动与附近小区基站进行授权连接，与基站连接成功之后进行本地时间的校正，本地保存基站编号，联网信号质量及其他信息，为后续固件升级任务提供判断条件。其次，通过基站去连接第三方云平台，将净水器的唯一标识 ID 作为鉴权信息传给平台，作为认证信息以通过云平台的鉴别，平台认证通过后会回复 success，NB 终端收到回复后即可进行初始化数据的上报，与平台进行数据的同步。

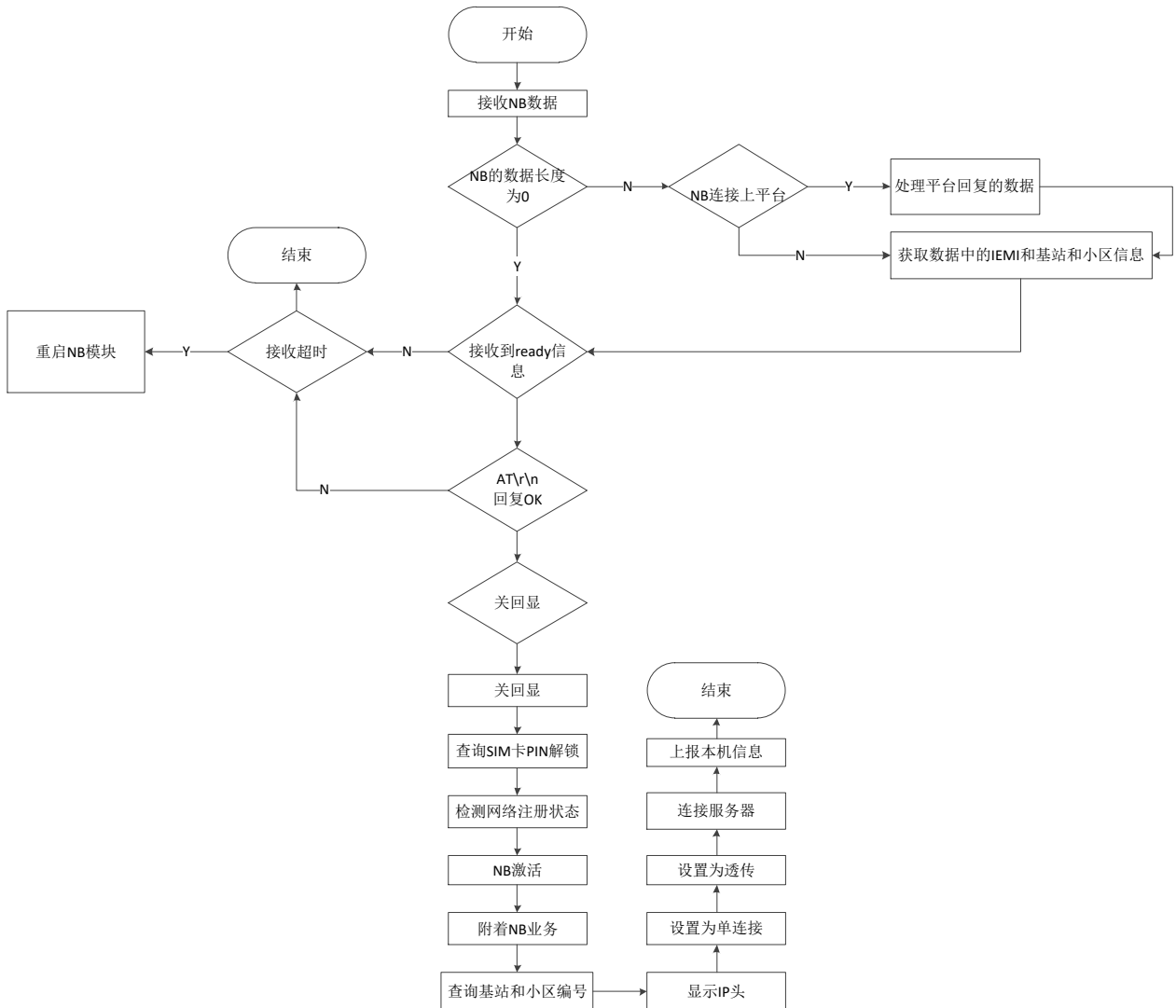


图 2.6 NB 联网流程

2.2.3.2 低功耗休眠机制

NB-IOT 除了通过进行网络增益，扩大信号覆盖范围外，还优化了与基站的连接方式，在网络通信的应用层设计了 LwM2M 协议，下层基于 UDP 的通信方式，区别于 MQTT 基于 TCP 的通信方式，无需进行长连接保活机制，目的是为了为了更好的配合物联网低功耗设备的应用。NB-IOT 共有两种低功耗休眠模式，PSM(Power Saving Mode)模式和 eDRX(extended Discontinuous Reception)模式^[27]。

(1) PSM 模式

PSM 是由 3GPP R12 标准中优化的一种独立模式。兼容 PSM 功能的终端设备在无数据上下行的状态持续一段时间后可自动进入 PSM 模式（该模式需要进行首次配置，将配置信息存入本地 Flash，后续自行从 Flash 中读取配置信息），即低功耗模式；此时，NB 模组的无线通信功能停止工作，以减少网络通信中发送接收以及数据处理时的功耗，以此实现低功耗的目的。无线通信部分停止工作，无法接收基站的任何搜索和连接访问，但对于基站来说，此时终端设备的连接状态依然显示为注册状态（Registered），因此设备从 PSM 模式切换到运行模式后，无需重新进行基站的连接，可直接在终端处进行数据的发送^[27]。

如图 2.7 所示，终端设备在有数据进行收发的情况下，网络处于活跃状态（Active），在无数据收发的情况下，通信状态处于空闲状态（IDLE），持续时间由特定的定时器来计时，时间配置参数可由 AT 指令进行修改，定时时间到达即进入 PSM 模式。完整的空闲时间和低功耗模式时间窗口可被定义为一个 TAU 的周期，该时长同样由指定的定时器来计算时长，并且可自定义修改。

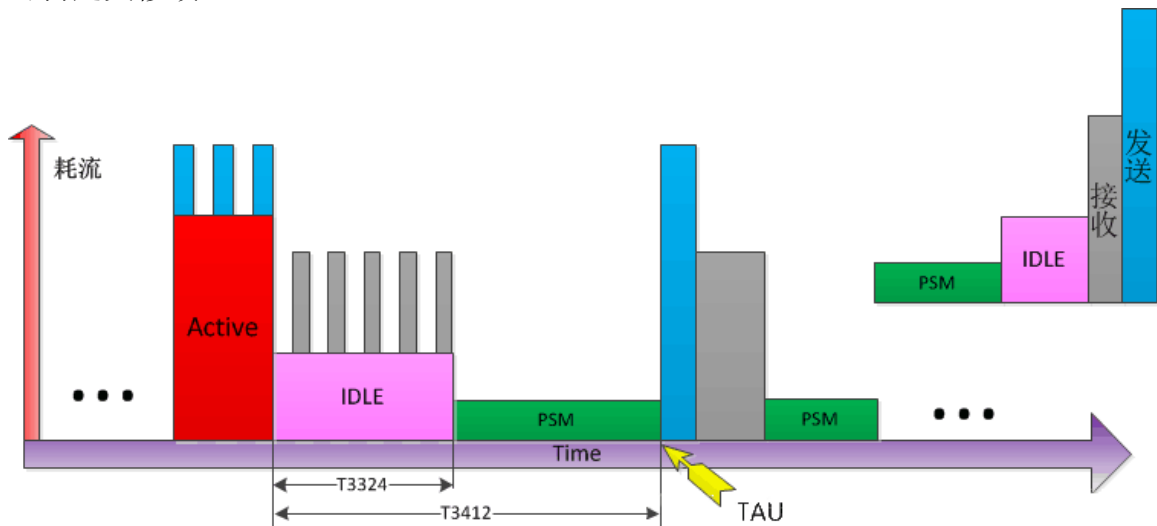


图 2.7 PSM 模式

如图 2.8 所示,PSM 模式下的设备从休眠状态到唤醒状态进行数据上报到云端接收到数据时，云端缓存的命令也同时进行下发。若使用异步命令进行下发，设备可到达并也可收到命令。

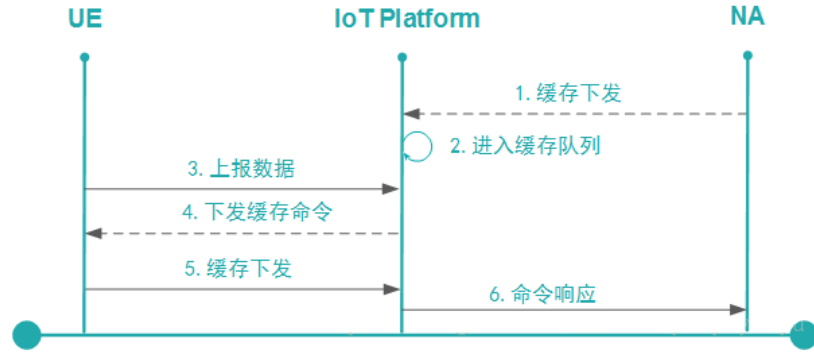


图 2.8 PSM 模式下的通信

(2) eDRX 模式

eDRX 同样的，也是对 DRX 技术的一种扩展，DRX 的兼容性不是很好，目前已经失去了使用场景。配置 eDRX 模式，终端在空闲状态下时，监听是否有云端指令下发，若在该状态发现有正确的数据包，则先数据包进行验证缓存，否则丢弃。之后尝试寻呼终端设备，终端若能正常处理，则将缓存的数据包再转发给净水器终端，以定时循环监听的方式来降低功耗。

如图 2.9 所示，空闲状态下，由上层网络先发送寻呼信号，检测净水器终端设备是否能正常响应，此时 eDRX 计时周期不会清零，而是持续计时，累计时间一到即会进入 PSM 模式。于 PSM 模式不同的是，eDRX 模式需要自行判断进入休眠模式的时间，在空闲等待时期不仅付出了功耗的代价而且影响了数据接收的实时性。

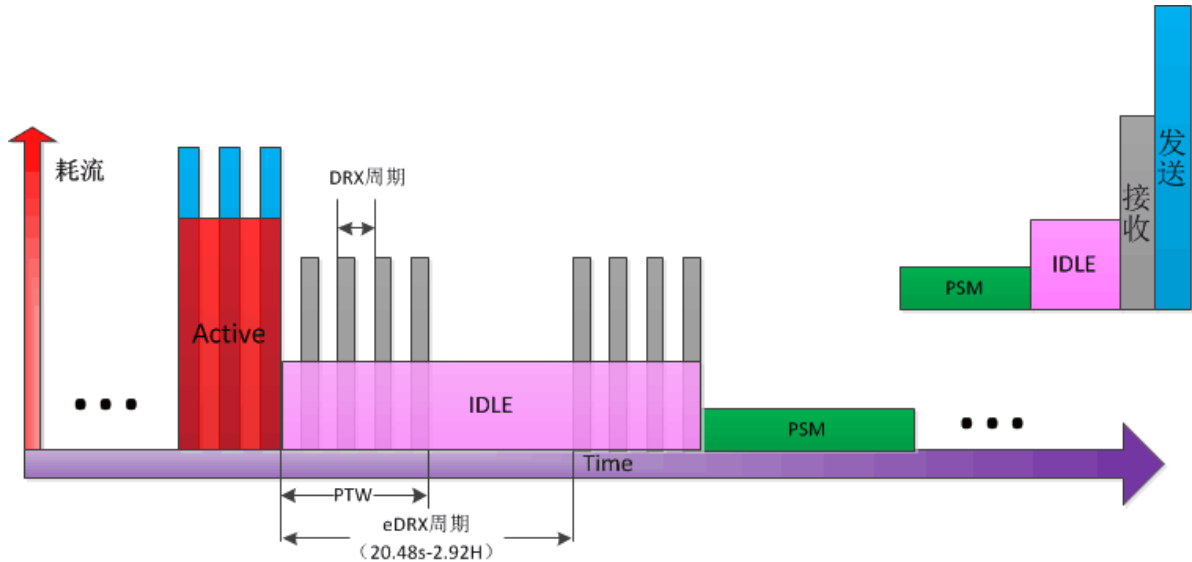


图 2.9 eDRX 模式

如图 2.10 所示，eDRX 模式下平台下发命令时，将命令帧放入缓存队列，排队进行下发。

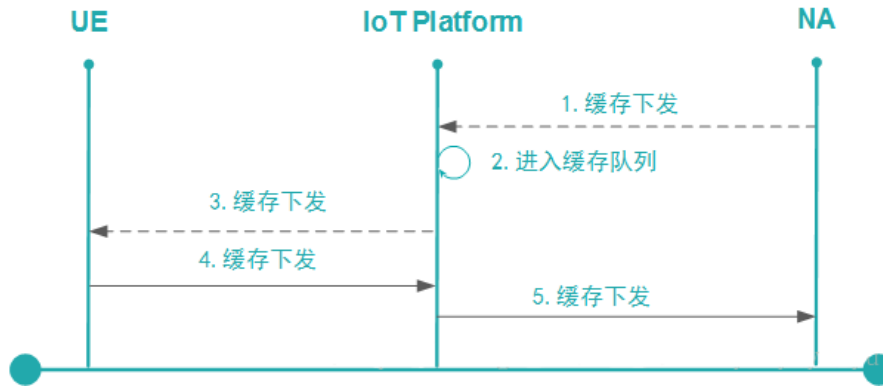


图 2.10 eDRX 模式下的通信

2.2.3.3 失败重发机制

基于生产者-消费者的模型考虑数据上报规则,将待上报的数据帧以链表的形式按先进先出的顺序放入上报队列中,由系统提供统一的上行接口。当数据上报后超时未收到平台回复,则将上报失败的数据放入缓存队列中,由缓存队列再次尝试进行上报,设定尝试次数,如果重发次数达到了上限,则认定设备离线,可尝试进行 NB 模组重启或者丢掉该帧数据,开始新的一帧发送,流程如图 2.11 所示。

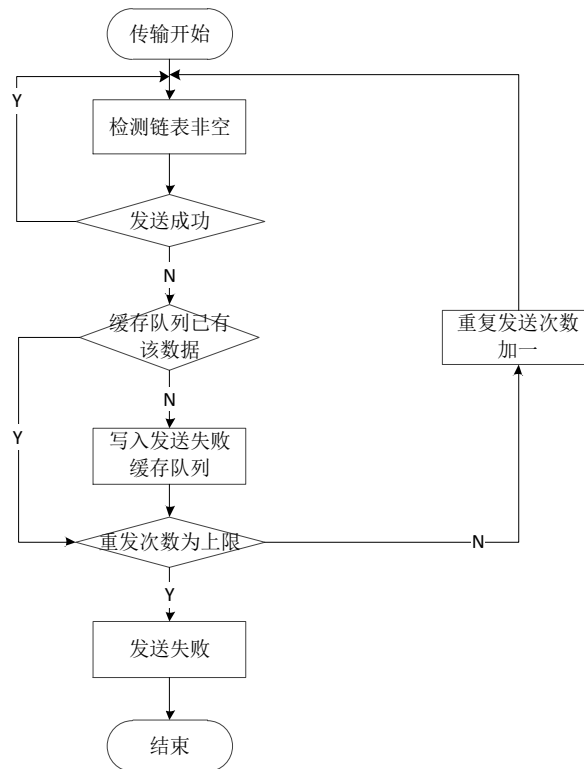


图 2.11 失败重发机制流程图

2.2.3.4 离线检测机制

首次联网失败需要进行自动调增重新入网的时机,如图 2.12 所示。离线检测流程如图 2.13 所示。系统联网成功后,以多线程的形式在系统中独立开启一个计数器,自定义计数周期且采用向下计数的形式,当计数为 0,重启 NB 模组,进行网络的重新连接。有两种方式

可以使计数器重新计数：一，定时上报心跳帧，请求平台回复，该定时周期要小于计数周期，否则会持续进行 NB 模组的重启，平台成功回复后将计数器重载；二，终端有数据上报时，平台也会回复，同样将计数器重载。

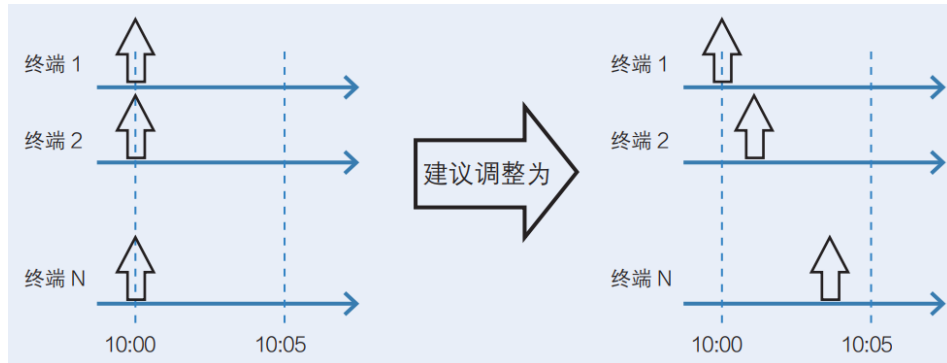


图 2.12 首次联网失败调整

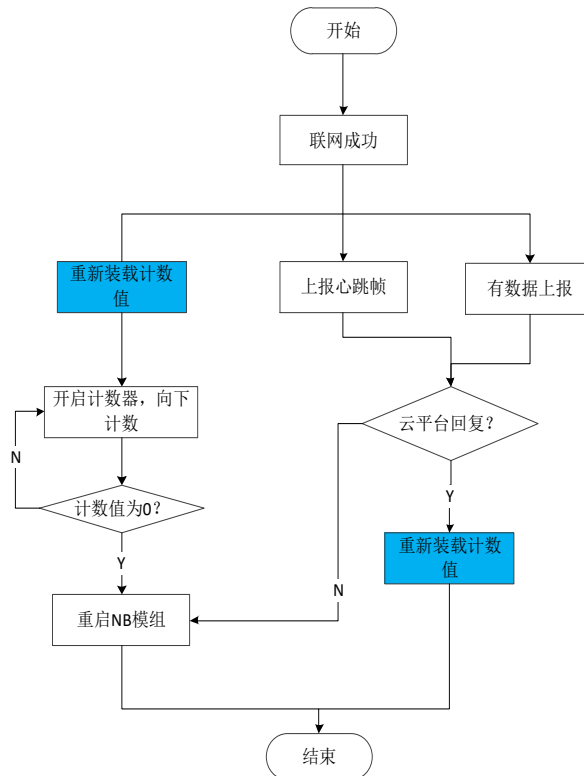


图 2.13 离线检测机制流程

2.2.4 触摸板硬件设计

如下图 2.14 所示，触摸板的整体硬件控制结构由左边的主控板和右边的触控板结构组成，通过串口完成通信。触摸板以赛元 SC93F8333 的 MCU 为主控，内置了 23 路高灵敏度的电容式触控结构，在末端接入 23 路通道，每个通道都可作为一路按键触发的信号接收端。ASC8223E 作为所有通道信息的处理中心，将不同通道的信号采集后，进行滤波处理，减少外部因素带来的干扰，提高信号采集的高可靠性。ASC8223E 将处理后的信号交给 SC93F8333MCU 进行编号，通过赛元官方提供的 API 接口，组帧后通过串口发送给主控 MCU，

主控 MCU 接收到串口数据后根据具体通信协议解析后，执行后续操作。本设计中触摸按键通道未完全使用，可留给后续进行扩展。

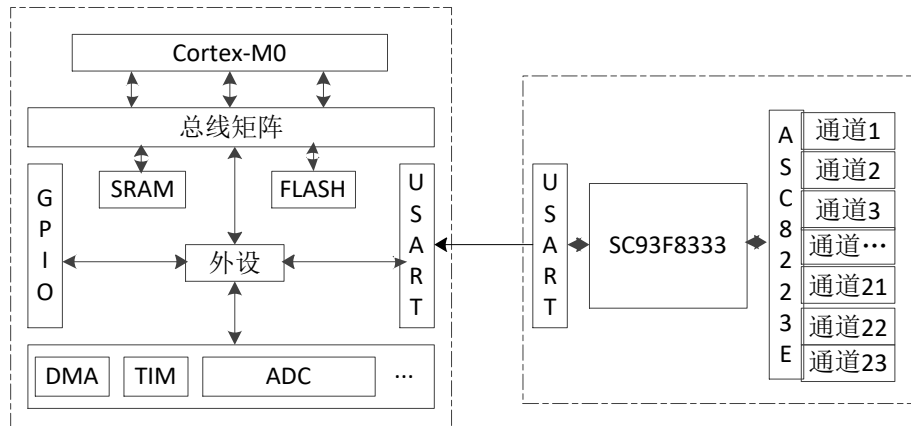


图 2.14 触摸板硬件框图

2.2.5 触摸板软件设计

触摸感应电容可与人体构成一个电流回路^[30]，通过上位机设置触摸的灵敏度，最高灵敏度可调为靠近触发，实际在净水器中应用到的为接触式触发。如图 2.15 所示，选择已有的通道进行灵敏度的调整，根据输出的电压值的高低来间接反映灵敏度，还可以调整扫描的频率，控制按键触发的响应时间。芯片型号的选择不影响灵敏度的调整。

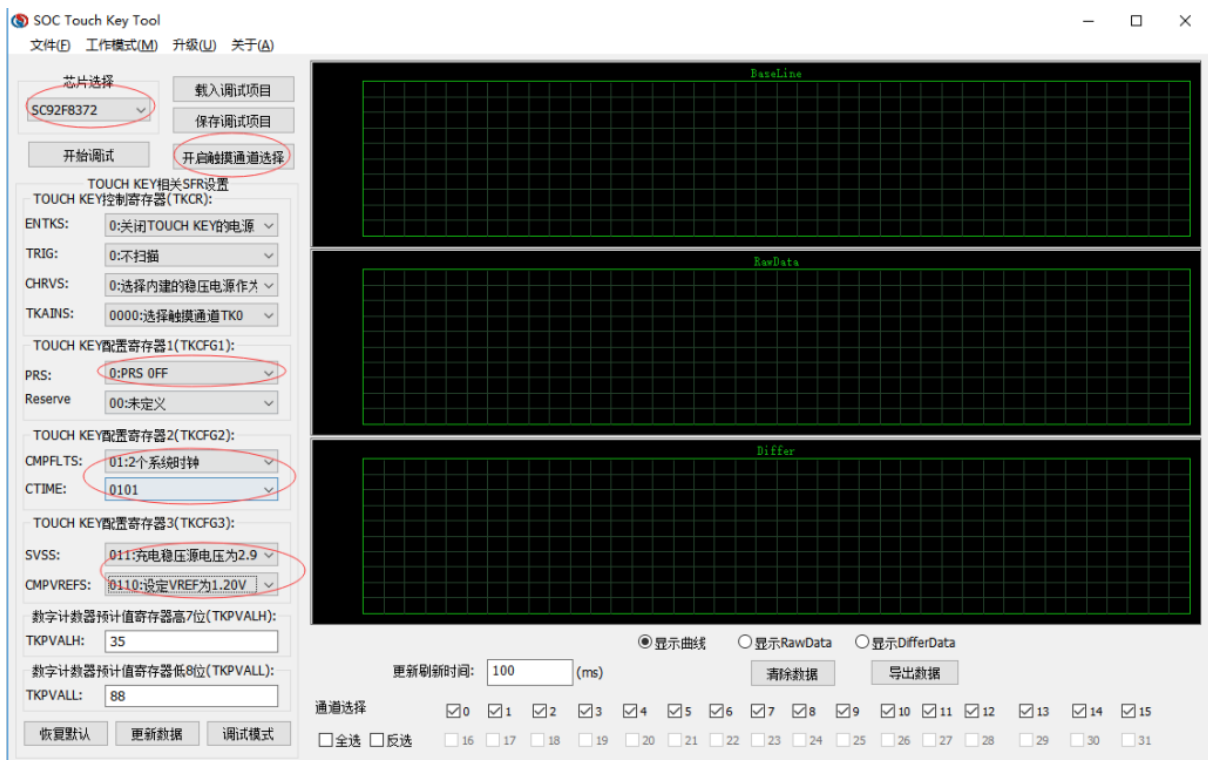


图 2.15 触摸按键上位机灵敏度调整

如下图 2.16 所示，根据触摸时力度和靠近距离在上位机上反映的电压幅度，将调整好的参数导出，在净水器系统软件设计中将配置好的参数进行修改，来适配净水器系统触摸按

键的触发反馈。该过程由 SC93F8333MCU 进行处理，将各通道的触发状态组成一条帧，通过串口与主控 MCU 进行通信。通道数量有限，所以在通信帧中定义了所有通道的位，由 1 和 0 来表示触发或未触发，主控在收到数据帧时循环遍历所有位的状态，根据帧格式中的位置作为标号来区分具体哪个通道被触发。具体的通道定义格式如表格 2.2 所示。

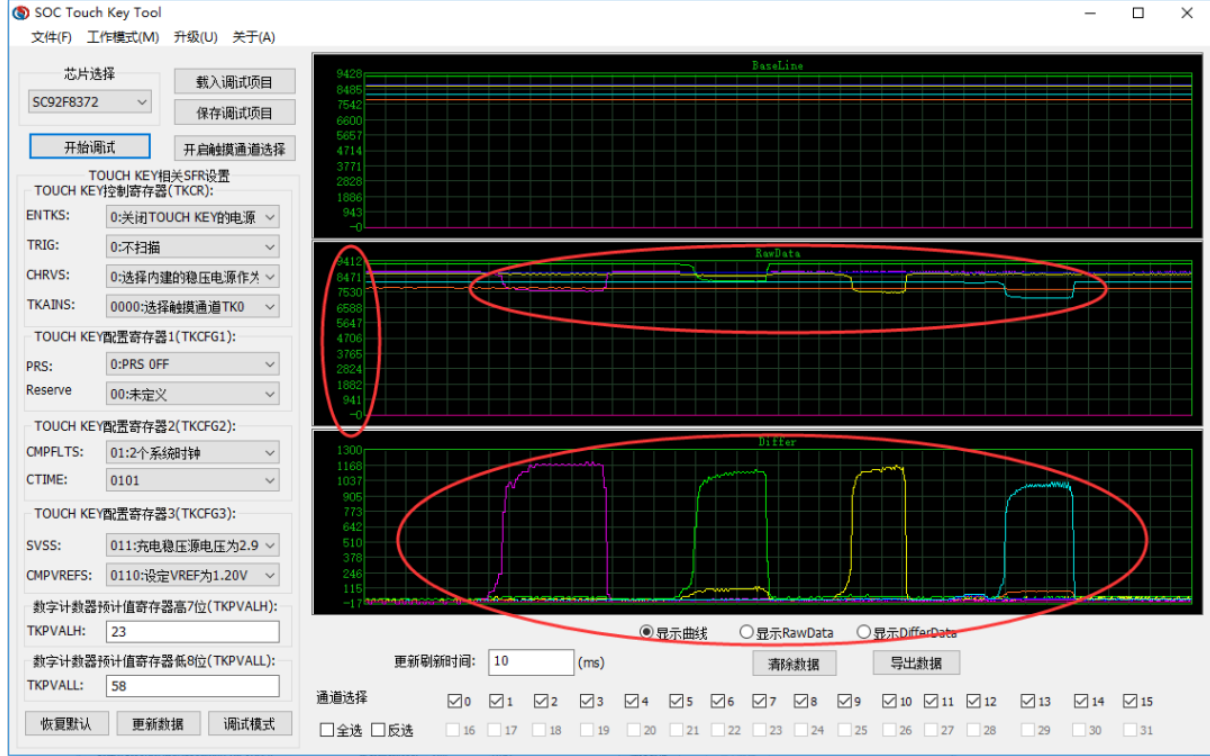


图 2.16 触摸按键上位机电压幅值

表格 2.2 触摸按键通道帧格式定义

数据位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	CH23	CH22	CH21	CH20	CH19	CH18	CH17	CH16
触摸按键状态（1：有效 0：无效）								
数据位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	CH15	CH14	CH13	CH12	CH11	CH10	CH9	CH8
触摸按键状态（1：有效 0：无效）								
数据位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	CH7	CH6	CH5	CH4	CH3	CH2	CH1	CH0
触摸按键状态（1：有效 0：无效）								

2.3 温度检测模块

2.3.1 温度检测模块硬件设计

温度检测模块分为两部分，一部分作用于加热罐的温度检测，检测水温达到开水的温度时反馈给净水器主控，用来控制加热罐关闭加热功能；另一部分作为 TDS 值检测的温度补偿。如图 2.17 所示，完整的温度采集以及处理过程由主控 MCU 和温度传感器组成，温度传感

器主要结构是一个 NTC 的热敏电阻，根据温度的变化改变自身的电阻值，NTC 热敏电阻嵌于整个温度传感器内部硬件电路中，电阻值的变化与闭环电路中电压值的变化成比例关系，通过电压的变化输入到主控 MCU 的 ADC 外设中，对电压值进行处理，得到电压和温度的线性关系，以此计算加热温度。

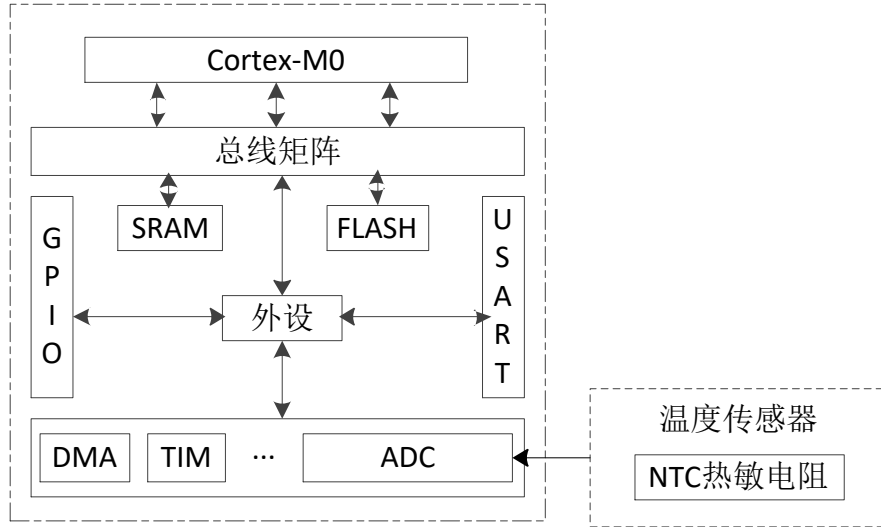


图 2.17 温度检测框架

如图 2.18 所示，为温度检测的电路原理图。ADC 温度采集、TEM_CON、CUT_CON 作为主控 MCU 外设 ADC 的输入，P10、P23、P24 是硬件电路板上预留的温度探头插座，以可拆卸的方式便于更换。

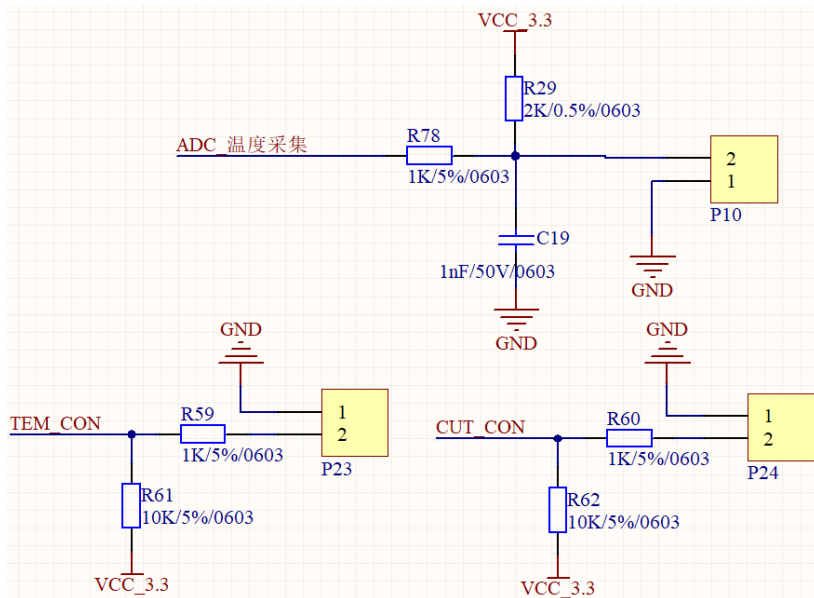


图 2.18 温度检测电路

2.3.2 温度检测模块软件设计

温度检测探头以可拆卸的方式安装在主控电路板上，所以在软件设计中需要考虑到温度探头是否良好的接入到主控板中，软件中可判断温度探头采集到的值是否有效，绝对最大值

和绝对最小值在电路中分别对应探头开路 and 短路的情况,在系统中也设计了对应的故障代码,便于查找故障原因。

在计算温度值之前需要验证温度和 NTC 阻值对应的线性关系,如表格 2.3 和图 2.19 所示,以常温(25℃)下 10K 的 NTC 电阻为例,根据线性关系来计算实际的温度值。

表格 2.3 10K NTC 电阻变化与温度的对照表

温度 (°C)	阻值 (Ω)	温度 (°C)	阻值 (Ω)	温度 (°C)	阻值 (Ω)	温度 (°C)	阻值 (Ω)	温度 (°C)	阻值 (Ω)	温度 (°C)	阻值 (Ω)
-6	44640	13	17260	32	7404	51	3468	70	1751	89	945
-5	42340	14	16460	33	7098	52	3340	71	1693	90	916
-4	40160	15	15710	34	6806	53	3216	72	1637	91	888
-3	38120	16	15000	35	6532	54	3098	73	1582	92	862
-2	36200	17	14320	36	6268	55	2986	74	1530	93	836
-1	34380	18	13680	37	6016	56	2878	75	1480	94	811
0	32660	19	13070	38	5776	57	2774	76	1432	95	787
1	31040	20	12490	39	5546	58	2674	77	1385	96	764
2	29500	21	11940	40	5326	59	2580	78	1341	97	741
3	28060	22	11420	41	5118	60	2488	79	1298	98	720
4	26680	23	10920	42	4918	61	2400	80	1256	99	699
5	25400	24	10450	43	4726	62	2316	81	1216	100	679
6	24180	25	10000	44	4544	63	2234	82	1178	101	659
7	23020	26	9574	45	4368	64	2158	83	1141	102	640
8	21920	27	9166	46	4202	65	2082	84	1105	103	622
9	20880	28	8778	47	4042	66	2012	85	1071	104	605
10	19900	29	8405	48	3888	67	1942	86	1038	105	588
11	18970	30	8058	49	3742	68	1876	87	1006	106	571
12	18090	31	7722	50	3602	69	1813	88	975	107	553

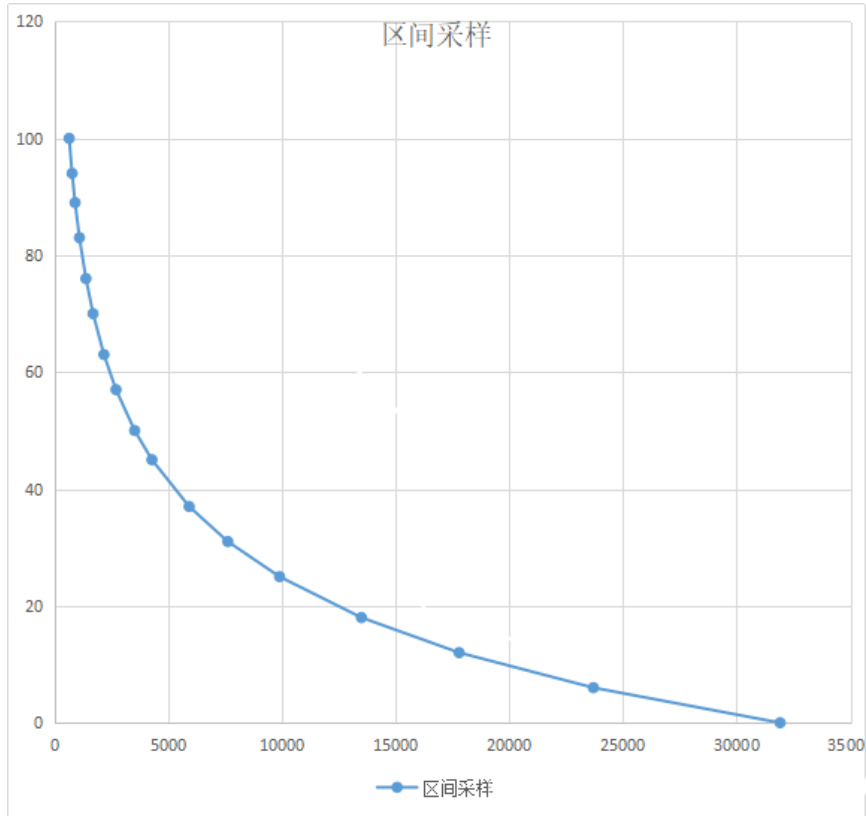


图 2.19 温度与阻值线性关系

将采集到的 NTC 温度探头的 ADC 值记为 V_{NTC} ：

$$R_t = \frac{2 \times V_{NTC}}{3.3 - V_{NTC}} \quad (2.1)$$

式(2.1)中， R_t 是热敏电阻在 T_1 温度下的阻值。

$$R_t = R \times e^{B \times \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} \quad (2.2)$$

式(2.2)中， T_1 和 T_2 是 K 度，即开尔文温度，其中 $T_1 = (273.15 + \text{当前温度})$ ，转换为摄氏温度进行计算；以常温下的温度作为参考对象， $T_2 = (273.15 + 25)$ 。 R 是 NTC 热敏电阻在 T_2 温度下的标准电阻值； B 是 NTC 热敏电阻的重要参量值，这里取 3950.0。将以上公式进行转换，得出：

$$\frac{1}{T_1} = \frac{\ln \frac{R_t}{R}}{B} + \frac{1}{T_2} \quad (2.3)$$

式(2.3)中函数 $\ln$ 计算为 $\log(R_t/R)$ ，计算出未知数 T_1 ，然后求出当前温度。

由以上公式计算出温度值，作为采集的数据结果，后续交由系统进行处理，加入 TDS 值的计算中或者上报云端。其软件处理流程如下图 2.20 所示。

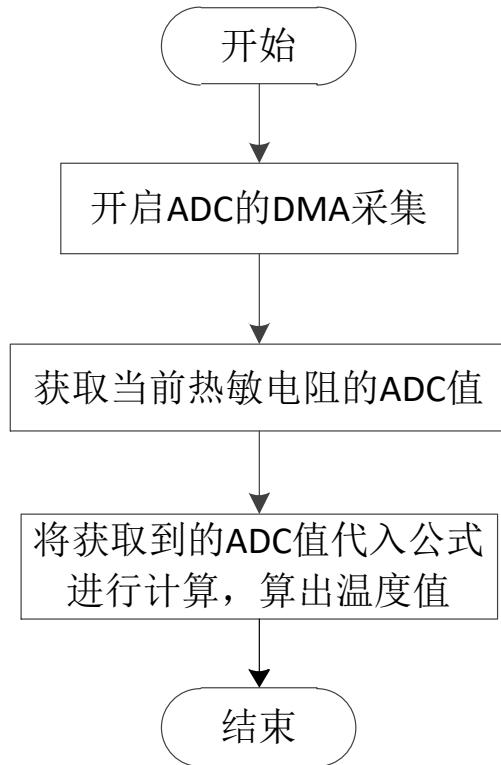


图 2.20 温度采集流程

2.4 净水器智能控制系统功能概述

2.4.1 智能控制功能总体框架

净水器终端控制系统的主要功能如图 2.21 所示。包括：系统初始化，系统上电后进行初始化工作，从本地系统 FLASH 中读取所需的工作参数；状态切换，多种运行模式的自动切换；漏水判断，检测水箱满水的情况下，系统状态还处于加水模式；故障判断，水箱内水位传感器长时间未变化，需配合漏水因素共同作用；报警判断，以不同的报警码区分不同的报警类型；滤芯状态更新，根据制水总量和 TDS 值的变化线性调整滤芯状态；滤芯寿命到期处理，上报滤芯到期信息，由云平台推送给 APP 滤芯到期信息，本地系统以滤芯灯颜色指示；定时上报处理，节省流量和减少数据上报频率，本地存储非报警类型的数据，定时上报时间到期则组装该类型的数据上报，对于报警类型的数据采用实时上报的形式；智能休眠判断，主要以时间段划分进入休眠模式。以上各种功能在净水器系统中既分别独立工作，同时在异常状态发生时也会相互配合，定位异常，并可自定义异常处理方式，简单的有重启系统，并在重启后再次监测异常现象是否存在；其次，对于无法处理的异常，会将异常信息通过组装异常代码的方式进行上报。

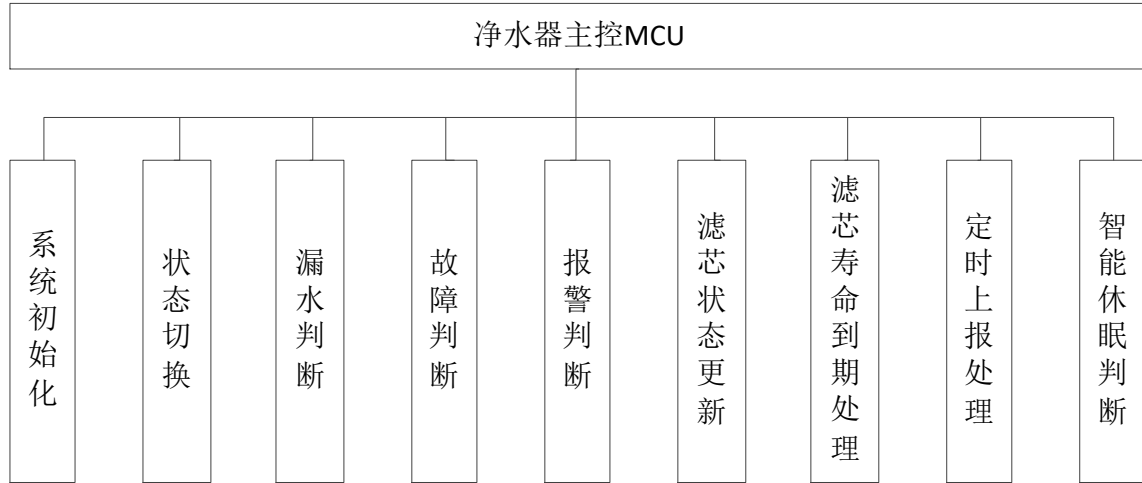


图 2.21 净水器控制系统主要功能

系统初始化任务循环监测各部分任务的运行状态，包括监测设备联网状态、数据帧上报和解析下行指令、初始化指示灯的正确状态的指示、系统周期任务的正确处理，以及监测异常状态的发生。整体流程如图 2.22 所示。

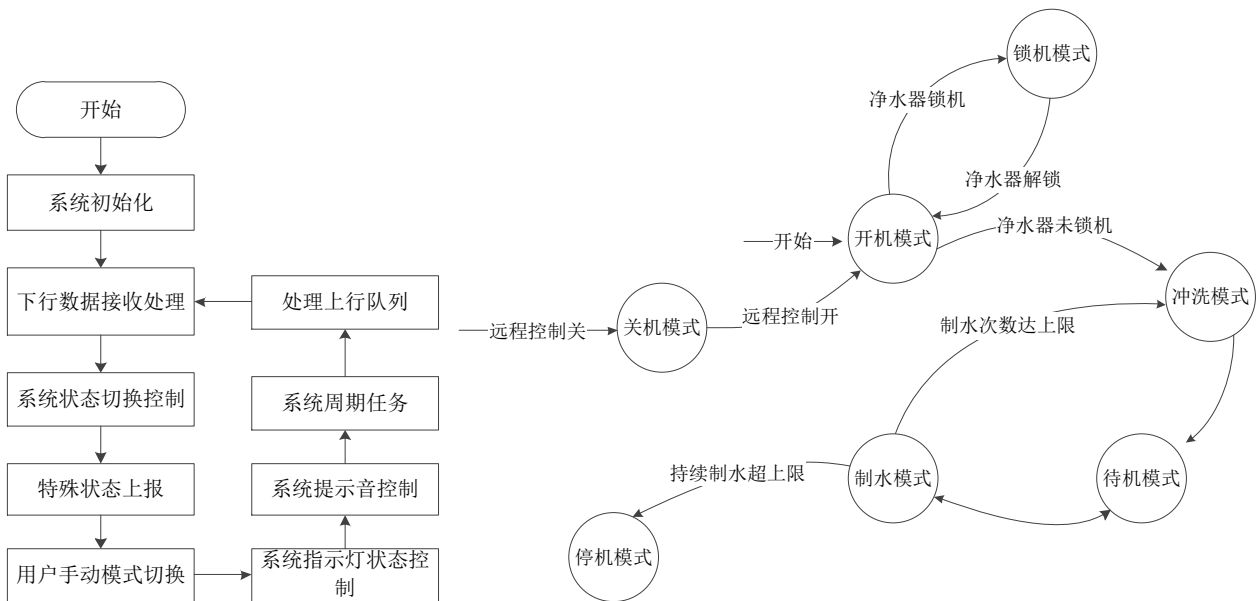


图 2.22 系统初始化

图 2.23 系统状态切换

图 2.23 所示系统运行中状态的切换，包括开关机模式、停机模式、制水模式、待机模式、冲洗模式、锁机模式。联网状态下通过 APP 控制设备的开关机以及锁机，停止系统的运行；系统制水次数达到限制之后会自动进行冲洗，定时冲洗预防水质发生变化；用水总量已达上限则会进入停机模式，上报报警信息提醒用户。

2.4.2 漏水、故障、报警判断

漏水情况结合系统当前状态来判断，在没有用户操作的情况下系统控制持续制水的时间超限，系统制水状态下水箱低水位和高水位检测浮球失效，同属于故障状态，综合来判断漏水异常的发生，如图 2.24 和图 2.25 所示。

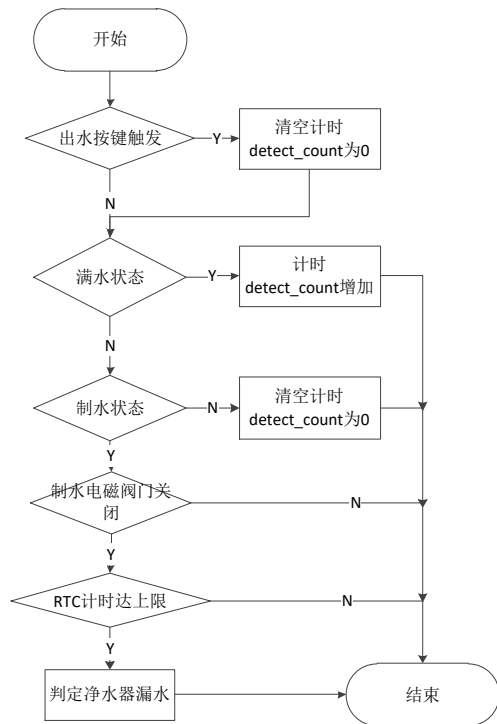


图 2.24 漏水判断

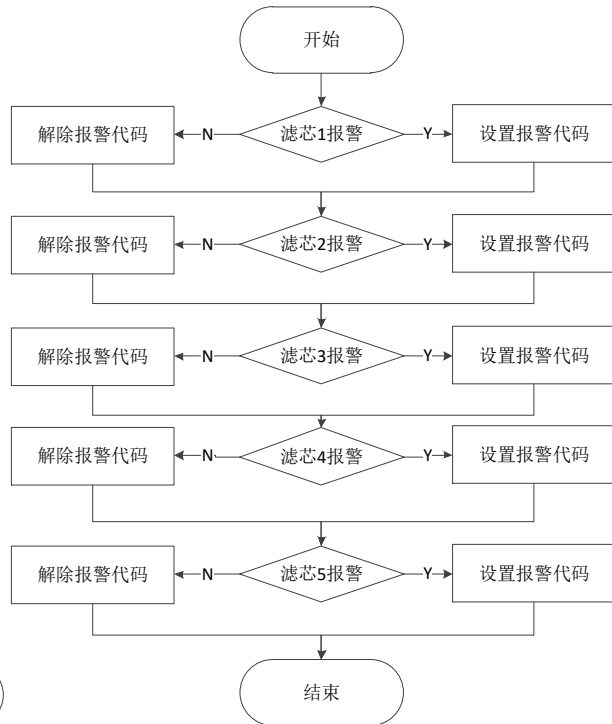


图 2.25 报警代码设置

根据不同滤芯编号处理报警时不同类型代码的区分，如图 2.26 流程图所示。

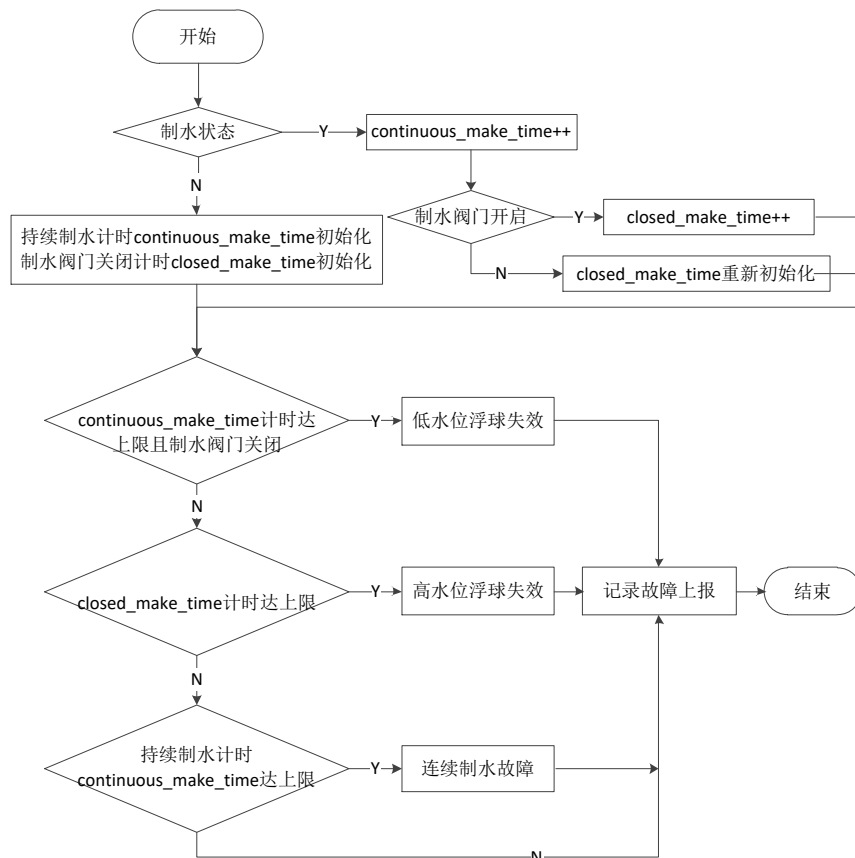


图 2.26 漏水判断

2.4.3 滤芯状态和寿命到期处理

系统运行时的各个状态的指示由不同颜色的指示灯来区分，实时检测系统的状态，并在本地设备进行正确的指示，及时提醒用户状态的变化，同样便于维护人员快速定位问题。图 2.27 所示为滤芯寿命预警或到期时的待上报的状态码，图 2.28 所示为滤芯寿命到期本地设备状态指示。

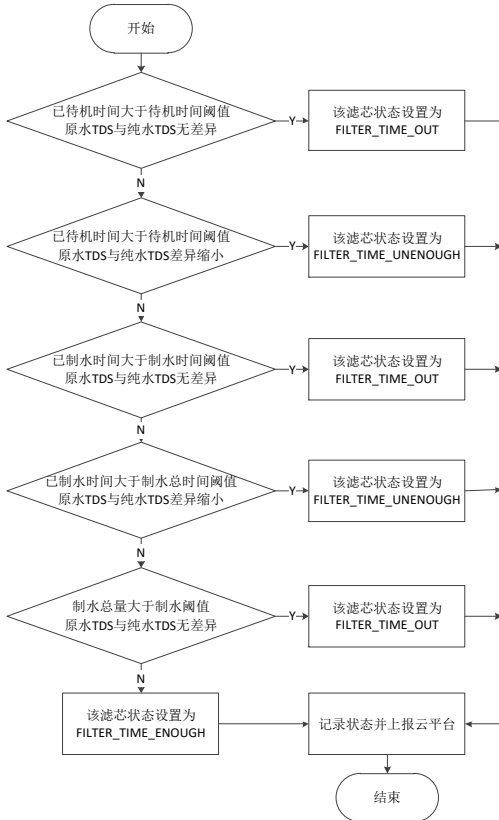


图 2.27 滤芯状态更新流程

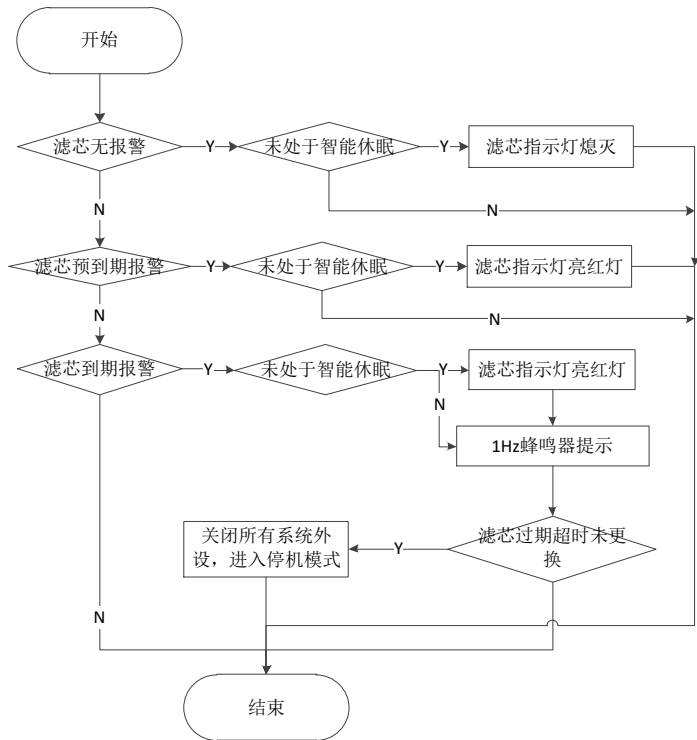


图 2.28 滤芯寿命到期本地处理流程

2.4.4 数据上报和智能休眠模式

针对网络数据频发的现象，净水器系统本地区分数据上报的类型，分为实时和非实时数据上报，实时数据一般为报警类型；非实时数据一般为系统状态的切换以及制水信息的更新等，这类数据可以进行融合定时上报，以减少数据上报的并发现象，具体是将优先采集到的数据信息先临时存储本地 FLASH，待满足一帧数据上报时将所有数据通过拼接的方式组成一条完整的帧，放入数据上报缓存队列中，等待上一条上报数据发送接收完毕之后发送，如图 2.29 所示；智能休眠模式基于 NB 模组网络连接特性，在模组不工作状态下，基站仍注册有设备的连接信息，设备在唤醒后无需重复进行联网的操作，即无需与基站重复连接认证，只需将待上报的数据发出。智能休眠模式的判断可根据自定义设置，基于时间段的形式在夜间开启判断，休眠模式开启后，关闭电磁阀门，加热装置，以及设备状态指示灯，同样基于时间段或者用户本地操作进行系统的唤醒，如图 2.30 所示。

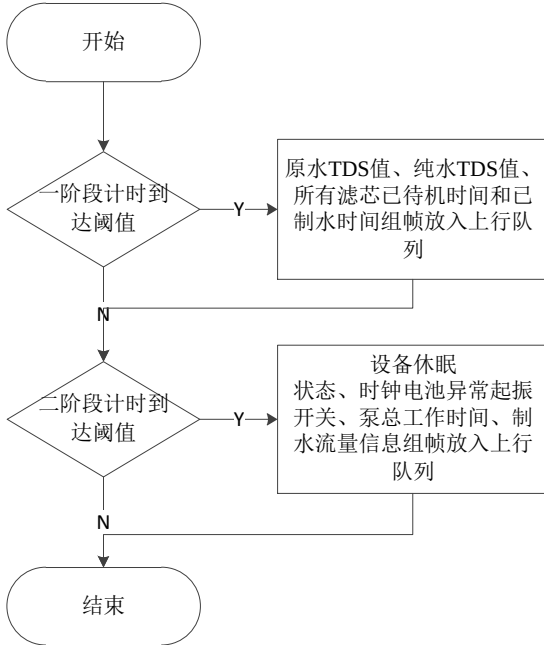


图 2.29 数据定时上报流程

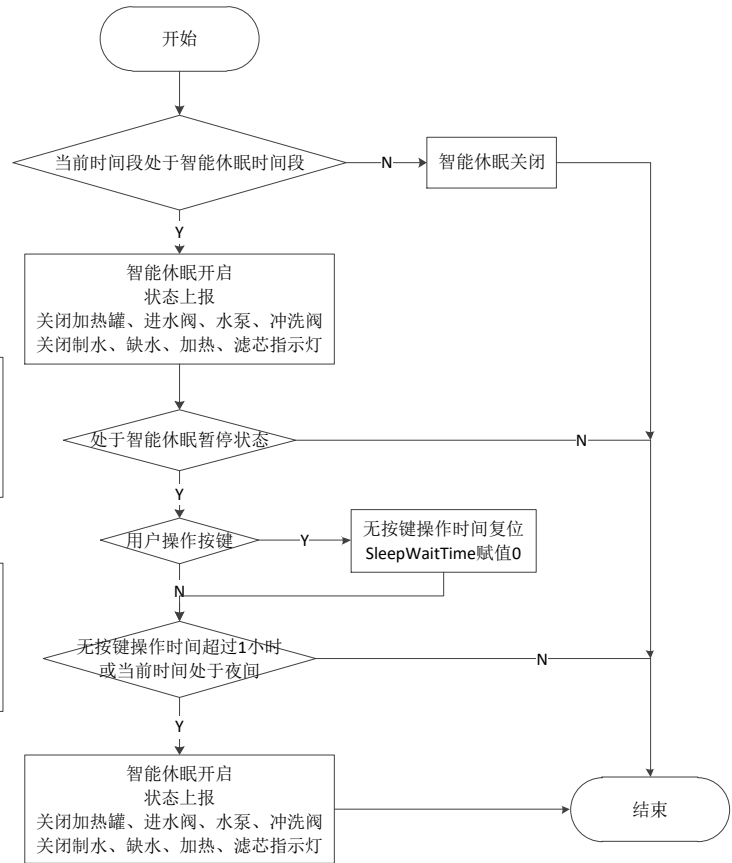


图 2.30 智能休眠模式的判断

2.5 应用层设计

2.5.1 云平台设计

2.5.1.1 平台侧设计

第三方平台选用中国移动 Onenet 的 NB-IOT 物联网套件平台，平台集成了丰富的 NB-IOT 设备接入选项，针对 NB-IOT 设备提供优化的 API 接口，以及数据监控点的触发器设置。净水器终端通过移柯的 NBL620 接入网络，传输层基于 UDP 协议，以非长连接的方式保障了净水器终端能自由进入智能休眠模式。平台提供接入的 API，以 Master apikey、device ID、Secret apikey 等简化后的内容作为接入平台的认证信息，实现净水器终端快速连接云端。另外，平台根据净水器终端上报的监控点 ID 进行数据分类解析，以折线图的形式将不同类型的数据展示在平台上，提供管理员的权限进行查看，监测设备的异常情况。图 2.31 所示，Onenet 平台的管理界面，所有经过认证的设备都可在平台上展示，可查询具体净水器终端设备的数据和信息，并提供与终端通信的简易指令下发选项，提供 API 接口用以前端或上位机的操作扩展优化过程。

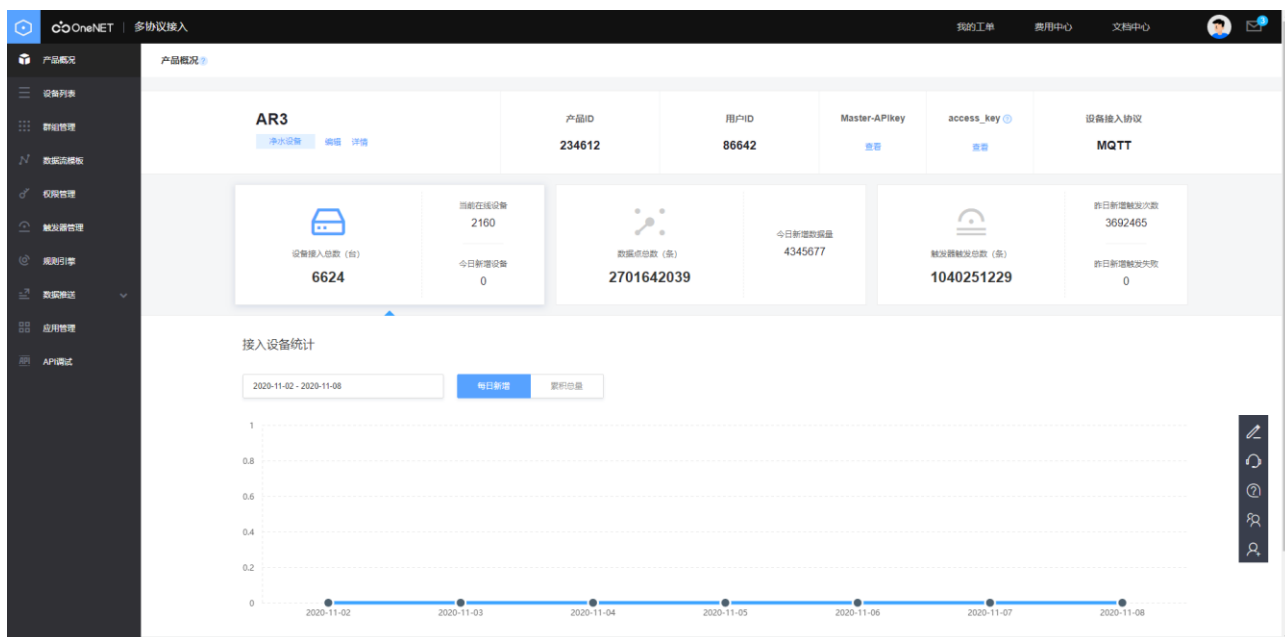


图 2.31 Onenet 云平台管理界面

2.5.1.2 应用侧设计

Onenet 应用侧展示了更具体的净水器终端可应用权限,提供终端接入、APP 触发器推送、数据流上报、终端空中升级、并发数据的消息缓存等,如图 2.32 所示。

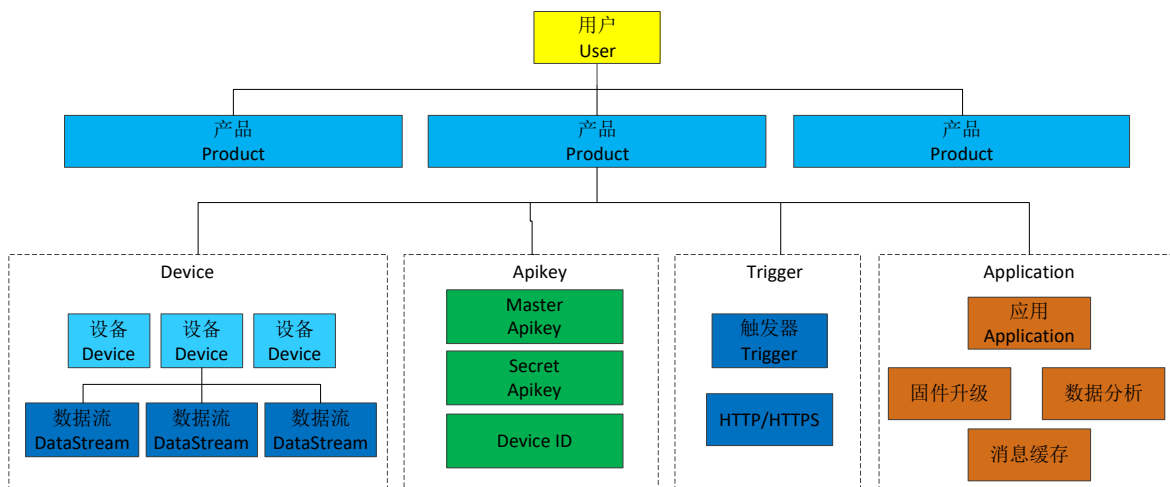


图 2.32 终端接入应用

用户 (user): 用户可以指管理员和普通用户,是作为平台登录的身份验证;

产品 (product): 对用户下管理的资源的最上层分类,用户可创建多个产品;

设备 (device): 净水器终端即为设备,在平台上是以表格的形式管理真实的物理设备,终端接入平台后需要通过唯一的 device ID 来找到对应的平台设备列表。此后,终端将自身所有数据流都上传到平台对应的设备进行解析和管理;

接口 (apikey): 提供净水器终端上报数据的格式,例如监控点 ID,终端数据上报之后由云平台根据监控点对数据流进行分类;

触发器 (trigger)：由云平台设置，APP 选择订阅某个触发器后，净水器终端若有数据上报之后平台会在第一时间推送给 APP。此类触发器可作为净水器终端异常报警、滤芯寿命到期报警类的推送；

应用 (application)：针对净水器终端本身提供数据流的消息缓存和数据分析展示，最重要的是提供固件升级的功能，可在平台添加待升级的设备，提供净水器终端的固件包，自动进行升级，不过此方法适用单个设备的空中升级方式，在大规模升级中还需要后台配合进行设备升级资源的分配。

2.5.2 APP 设计

APP 客户端可以作为净水器系统的末端应用，以云平台为桥梁进行 APP 到净水器终端的控制与反馈，如图 2.33 所示。



图 2.33 净水器系统网络通信结构

以上结构的优点在于净水器终端通过 APP 改变了自身的状态，其控制指令是通过云平台进行交互的，使用非透传的模式，云平台可以监控 APP 与终端的信息交互，根据交互结果来同步平台端的状态，虽增加了平台的计算量，但减少了净水器终端与平台间的通信量。APP 的设计模式及架构如图 2.34 所示，同样采用分层的形式，降低 APP 架构中 UI 界面、业务层数据库、持久层之间的耦合关系，以此达到解耦的目的，减少层级之间复杂关系带来的后期优化困难的问题。

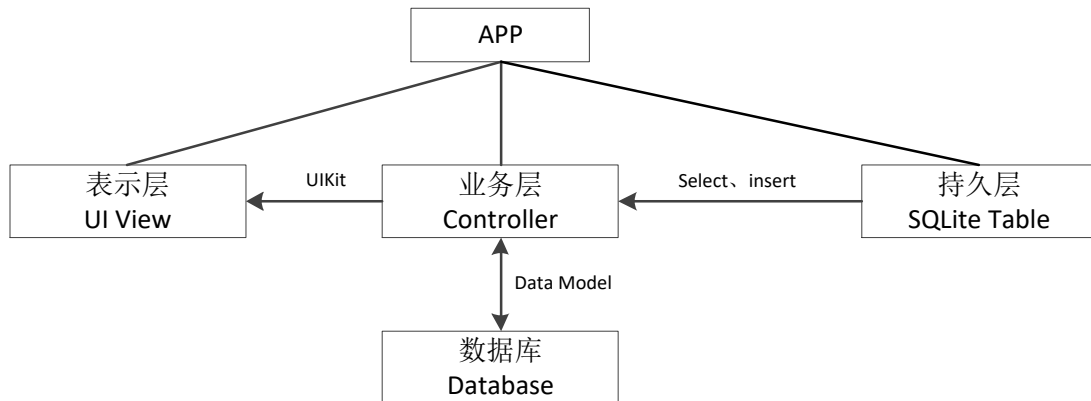


图 2.34 APP 设计分层结构

2.6 总体效果展示

2.6.1 设备部分效果展示

图 2.35 为净水器 TDS 值检测探头；图 2.36 为净水器触摸板按键；图 2.37 为 NTC 温度检测电阻探头，均为可拆卸式。



图 2.35 TDS 探头



图 2.36 触摸按键板



图 2.37 NTC 热敏电阻探头

图 2.38 和图 2.39 为净水器主控板，反面是背光灯设计，对应制水、缺水、加热、换芯、联网状态指示，正面设计了多个可拆卸的外接接口。

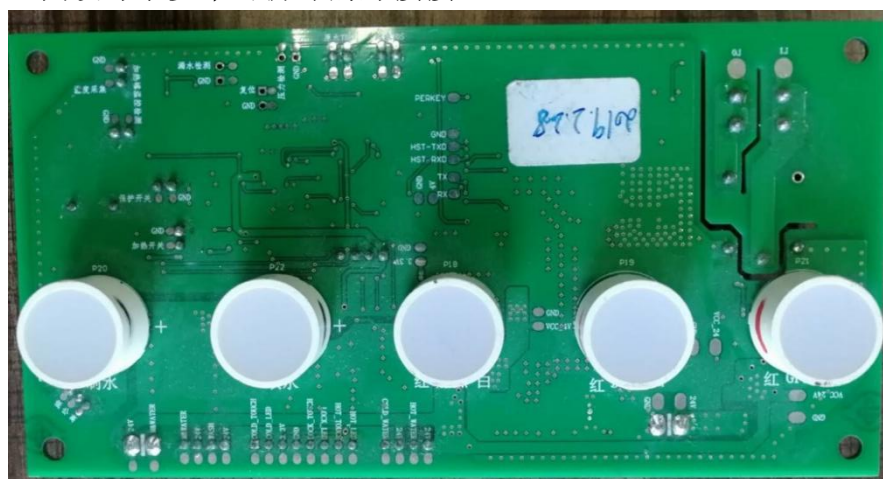


图 2.38 主控板背面



图 2.39 主控板正面

图 2.40 为净水器系统各部分接线示意图原稿，与后边实物图相对应。

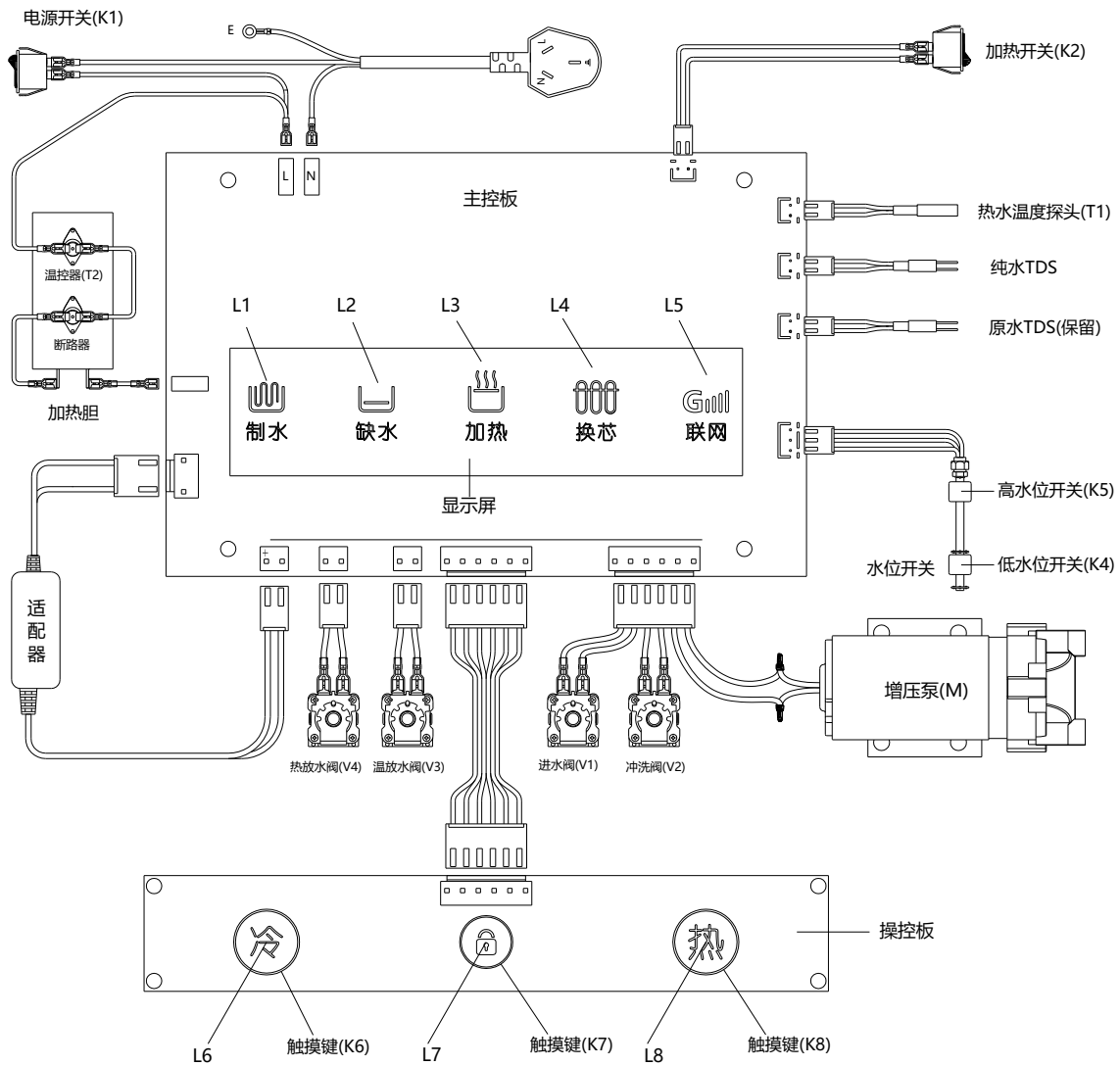


图 2.40 系统整体连接设计原稿

图 2.41 为完整净水器主面板，包括净水器各状态指示以及触摸按键：热水按键、冷水按键、童锁按键，图 2.42 为净水器整体实物图。



图 2.41 净水器主控面板



图 2.42 净水器整体实物

图 2.43 为净水器主控板批量生产流程，图 2.44 为净水器批量生产整体实物图。



图 2.43 净水器主板生产



图 2.44 净水器批量生产

2.6.2 云平台部分效果展示

下图 2.45 所示为净水器部分在线设备展示，该净水器目前已有 6624 台分布在部分主要城市。

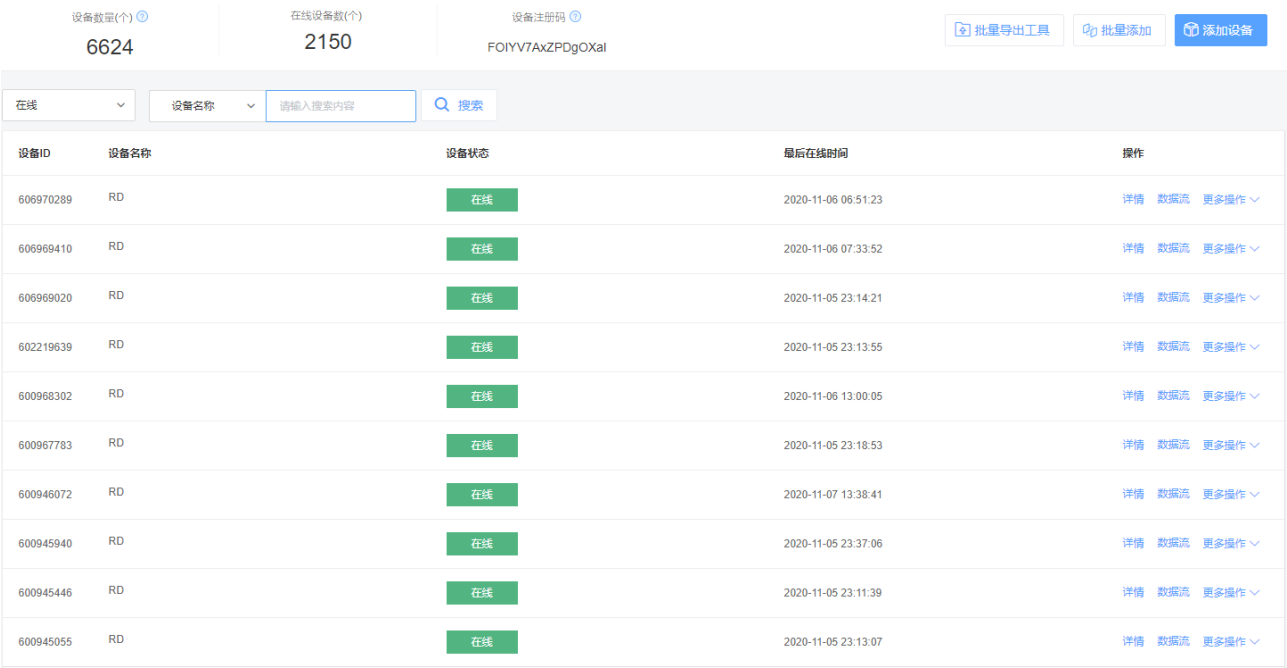


图 2.45 净水器在线设备

下图 2.46 所示为净水器各监控点数据展示,包括设备 ID 号,异常状态、设备模式状态、水量信息以及 TDS 值显示。

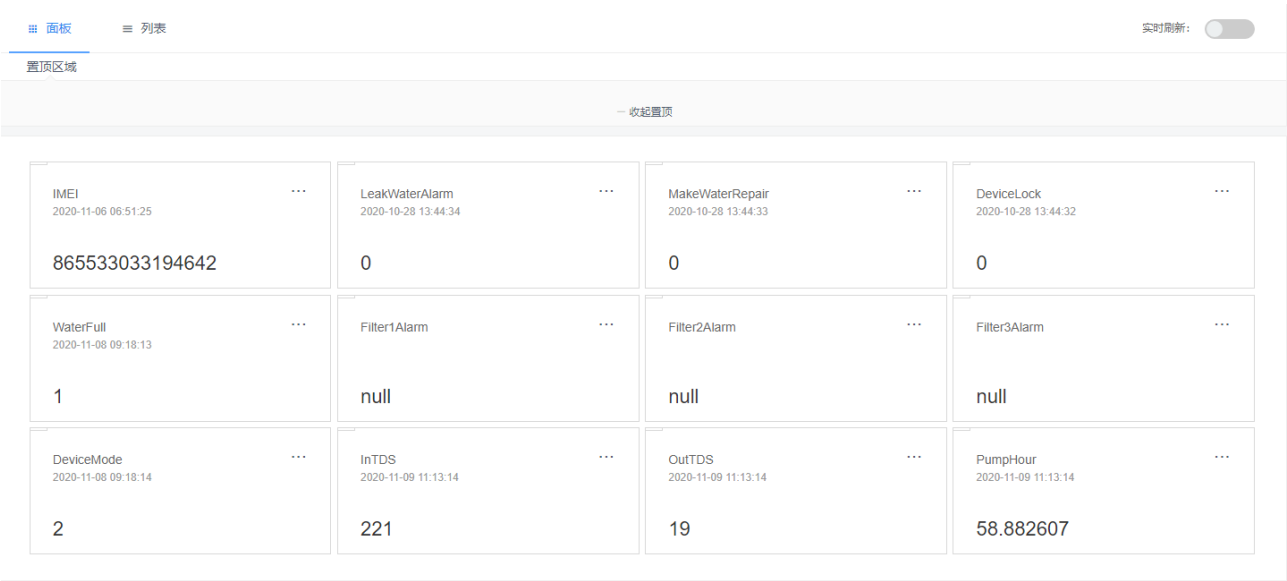


图 2.46 净水器数据流监控点

下图 2.47 所示为净水器滤芯使用寿命曲线图。



图 2.47 净水器滤芯寿命

下图 2.48 所示,可根据实际地址设置净水器设备分布地点,该功能目前正在测试阶段。

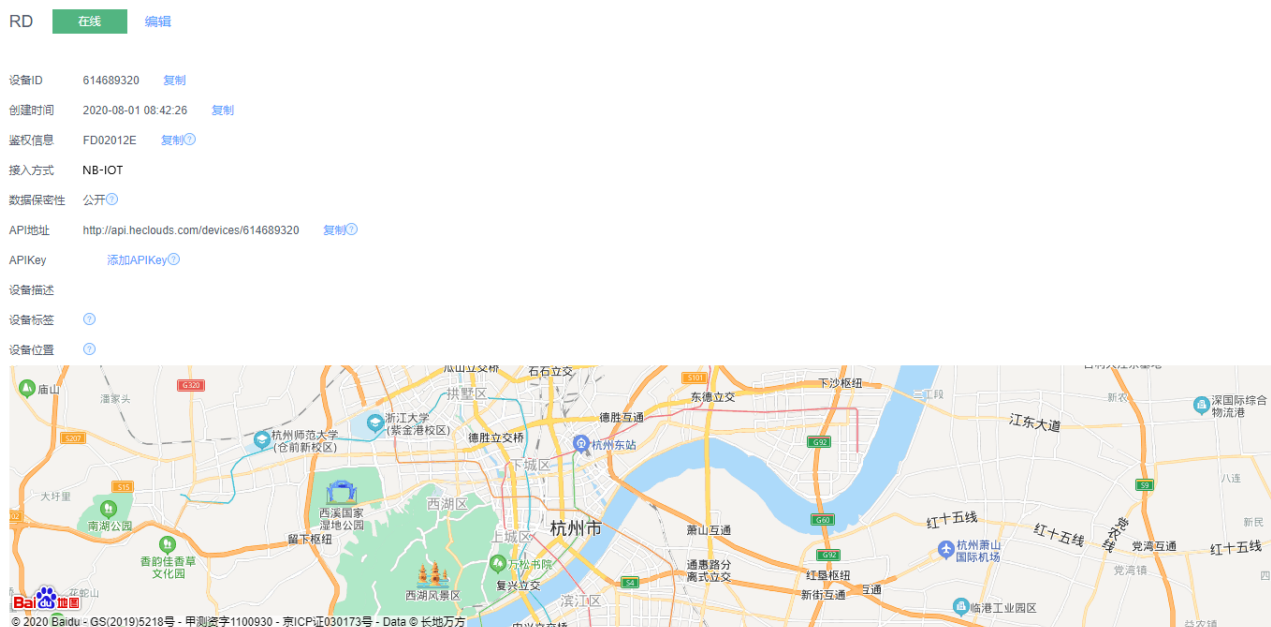


图 2.48 净水器设备分布

2.6.3 APP 部分效果展示

APP 数据信息界面展示如下图。依次为净水器主界面、滤芯寿命展示界面、用水量信息展示,可自定义查看月周日用水量信息、最后为添加设备的界面。



图 2.49 主界面

图 2.50 滤芯寿命

图 2.51 用水量

图 2.52 设备添加

2.7 本章小结

本章对智能家用净水器系统设计进行了整体的概述, 并对各部分进行细化描述, 包括无线网络的设计、净水器终端硬件和软件部分、具体功能的描述、应用层的设计等, 做出总结, 并对各小节中各部分提到的实际硬件和软件设备进行实物展示。

第3章 基于动态调整温度自补偿的 TDS 检测机制

净水器系统对水质 TDS 值的精确检测结果非常重要，传统净水器中单靠总制水量来估算滤芯的使用期限，但各地区水质不尽相同，不能一概而论，而且目前净水器中都包含多级滤芯，各滤芯的过滤原理也不相同，使用期限也不相同。盲目的更换滤芯，造成用户成本的增加，同样也造成了滤芯材料的浪费；过度使用滤芯，长期以来同样会对人体健康造成伤害。对于滤芯使用期限的判断需要通过多种条件的融合，共同判断才能准确预测滤芯的使用期限，并且无需考虑地区水质好坏不同对判断结果造成的影响。本文共引入三种判断条件的融合：制水总量、通过滤芯的水压变化、TDS 值。制水总量由水流量传感器检测，得出的水量经过计算保存本地作为记录；一级滤芯长期使用会造成水中堆积的泥沙的堵塞，直接影响了水压变化；TDS 值的对比作为主要判断条件。基于此，本文着重对 TDS 检测的方案设计进行详细描述，提出 TDS 值的检测方式，并在本章中对 TDS 的检测方式根据实际应用进行优化调整，实际验证消除了 TDS 检测不准确因素的影响，并对比不同水质和市场上同类型的 TDS 检测装置进行验证，得出对比结果。

3.1 TDS 与电导率概述

3.1.1 TDS 概述

TDS (Total Dissolved Solids, 溶解性固体总量)，指单位容积内饮用水中所有可溶解性杂质的总量，其单位为 (mg/L) [32]。家庭供应自来水中仍然含有多种有害物质，虽有物理沉淀过滤，但是还会存在少量的泥沙；其次，包括自来水厂消毒后的余氯、重金属离子、以及管道老化后滋生的细菌等二次污染物[36]。以上这些杂质在饮用水中可分为两类：一类是化学反应或自然生成的呈离子状态的‘盐’；另一类是暂时还未被分解的呈分子状态的物质，这两类都可以统称为无机物[32]。此外，一些对人体有益的矿物质也属于这一类，在自来水供应这一过程中不会区分矿物质和有害物质，都会被统一过滤，但实际上在城区自来水供应中一般不会有对含矿物质水进行过滤，大多都是从附近水库取水进行过滤。所以，饮用水中对于 TDS 值的判断基本都是一些以杂质著称的无机物。基于此，水中杂质含量越高，其单位容积内溶解性物质也就越高，导电性也就越好，TDS 也是以导电率为基础来计算的，通过 TDS 与电导率转换关系表（表格 3.1 所示），得出公式进行转换计算。

表格 3.1 电导率与 TDS 对照表

电导率 ($\mu\text{S/mL}$)	TDS (ppm)	电导率 ($\mu\text{S/mL}$)	TDS (ppm)	电导率 ($\mu\text{S/mL}$)	TDS (ppm)
0.1	0.0	75	35.3	650	305.5
0.2	0.1	100	47	700	329.0
0.5	0.2	125	58.8	750	352.5

1.0	0.5	150	70.5	800	376.0
1.5	0.7	175	82.3	850	399.5
2.0	0.9	275	129.3	900	423.0
2.5	1.2	300	141.0	950	446.5
5.0	2.4	350	164.5	1000	470.0
10	4.7	400	188.0	1250	587.5
15	7.0	450	211.5	1500	705.0
20	9.4	500	235.0	1750	822.5
25	11.8	550	258.5	2000	940.0
50	23.5	600	282.0	2500	1175.0

下图 3.1 所示，为了便于模拟线性关系，取值方式为典型性取值，值越小，其取值的密度就越大；值越大，密度就越小，根据典型值进行分析即可。根据上方表格绘制的散点图，得出电导率跟 TDS 呈线性关系，由线性关系计算得到斜率，根据一元函数可进行电导率与 TDS 之间的相互转换， $1\text{ppm} \approx 0.46 \mu\text{S}/\text{mL}$ [32]。

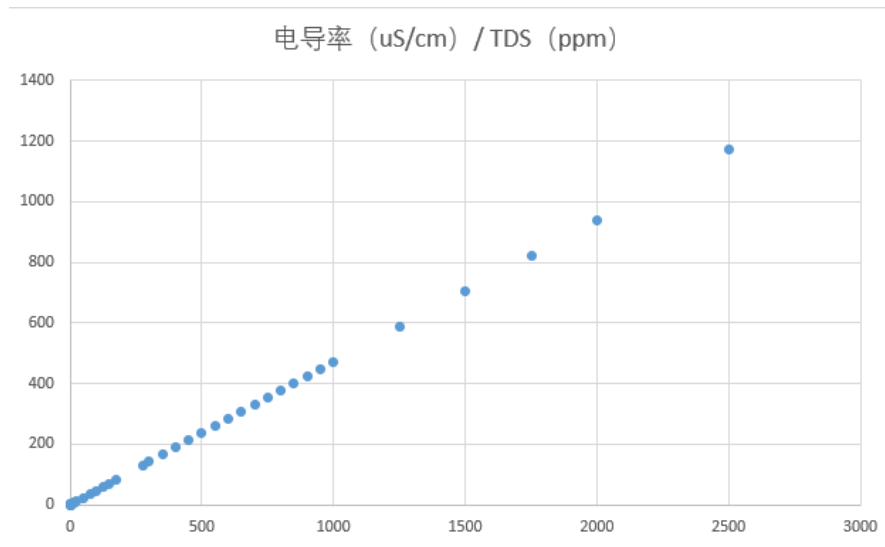


图 3.1 电导率与 TDS 线性关系

3.1.2 电导和电导率概述

在由某种介质构成的闭环电路中，向其电路中加入电压的作用，以闭环电路中是否有电流的流动来判断介质是否可以导电，以此区分绝缘体、导体和半导体[32]。不同的介质其导电的方式也不尽相同，一般会根据施加电压时介质内部电荷不同的移动方式来对导电介质进行划分，主要包括两大类：一类是固态导体，内部以电子的形式存在来传输电流；另一类存在于液体中，以电解电离的离子形式进行电流的输送。固态导体主要为金属类的物质，在以该类型介质构成的闭环电路中通电压，其内部会存在大量的自由电子根据电压施加的方向进行定向的传输，形成电流，起到导电的效果，目前我们常以电阻来表征金属导体外加电压情况

下的导电能力；液体导电介质主要由饮用水中的离子型介质定向流动，形成电流构成闭环电路，实现导电的效果。另外对于液体中的离子型导体，在长时间外加电压的情况下容易在液体中发生电解电离现象，导致溶液中产生更多的导电离子。因此在通电情况下，含有大量杂质的饮用水中，其导电能力会随时间线性增强。在表征溶液的导电能力强弱时，通常用电导率来表示。

电阻值的大小能直接反映出固体导电能力的强弱^[32]，用字母 R 表示。在指定电压下，通过金属导体，测得通过导体的电流，根据欧姆定律计算可得出单位体积金属导体的阻值大小，如式(3.1)所示：

$$R = \rho \times \frac{L}{A} \quad (3.1)$$

式(3.1)中， R 为单位体积固体的电阻值， ρ 是一个定值，用来表示电阻率， L 即为单位固体的长度， A 表示固体的横截面积，在对比不同固体导电能力的强弱时，保持以上参数相同，计算得出不同固体阻值。以上导电能力的强弱适用于固体导体，但要计算液体的电导率，则以上就不太适用了，其跟不同形态介质的温度系数有关。液体的电导率计算跟温度系数成反比，而固体的电阻计算与温度系数成正比，两种计算方式是完全相反的，不能通用。但使用电阻的倒数作为电导率计算条件时，可以通用，其转换方式如式(3.2)所示：

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho} \times \frac{A}{L} = \sigma \times \frac{A}{L} = \sigma \times \frac{1}{K} \quad (3.2)$$

上式(3.2)中， G 即表示电导，可由电导计算电导率， σ 为电导率， K 为变量，以净水器 TDS 探头为例，由两个探针之间的距离和探针并行的表面积计算得出，由于探针的表面积可忽略不计，因此可由单位 1 表示面积的大小带入公式进行计算。

3.2 影响 TDS 值计算精度的因素

由电导率的计算过程可知，加入温度系数进行计算的话，其饮用水温度的变化直接影响着电导率的计算结果，其原理是：水的温度升高，其水中含有的导电离子的运动速度也会随之加快，在水介质构成的闭环回路中导电离子定向移动速度增加，形成的电流也就会随着发生变化，此时采集数值进行电导率的计算，会使结果比正常值偏高。温度升高，电导率升高，温度降低，电导率降低，电导率跟温度成直接正比关系。因此也不能直接用常温下的温度系数统一计算，需要由温度变化对 0 应的系数参与计算；其次，净水器 TDS 探针在水中长期通电也会造成水的电解电离现象^[36]（表格 3.2 为水发生电离时的离子状态），直接导致靠近探针的饮用水中存在的导电离子迅速增加，造成局部离子分布不均的情况，图 3.2 所示。分布在探针附近的离子迅速增加，电导率增加，远离探针的地方才是离子含量正常的地方，所以同样也影响着电导率的计算结果；另外，在软件设计中，当进行 TDS 值的采集计算时需要

探针进行通电，同样会有附加电流的影响，硬件本身自带电流与电导率的结果叠加，很难区分出单纯电导率的原计算数据。

表格 3.2 水电离时离子的状态

条件	移动方向	电离程度	K_W	$[H^+]$	$[OH^-]$
加热	正向	增大	增大	增大	增大
HCL	逆向	减小	不变	减小	减小
NaOH	逆向	减小	不变	增大	增大

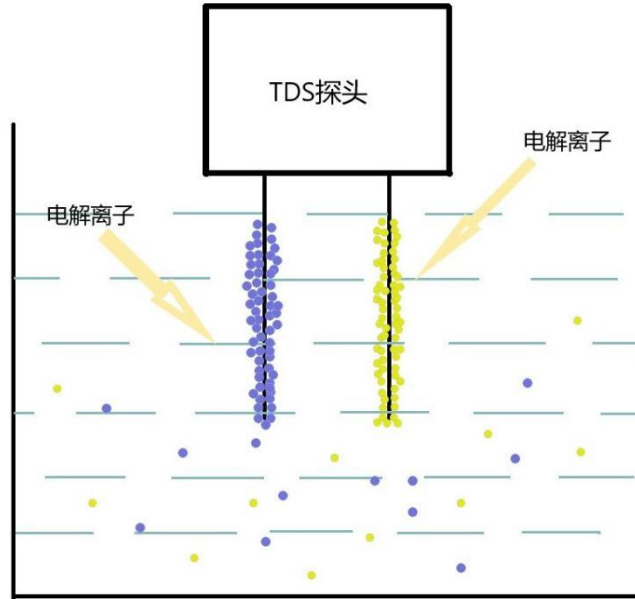


图 3.2 TDS 探头通电发生电解电离现象

3.3 需求分析与设计方案

3.3.1 需求分析

综上可知，影响 TDS 值计算精度的因素主要有三点：附加电流的影响，极化效应、导电离子分布不均，在探针附近形成的电容效应以及温度因素^[33]。在净水器系统硬件以及软件设计中，对于采集 TDS 值这一过程需要对影响结果的这三点因素进行处理。目前来看，无法使用单独的一种方法来消除这三点因素带来的影响，本章提出的动态调整温度自补偿的 TDS 检测机制以分别针对每一点影响因素进行优化，结合硬件和软件的优化。

3.3.2 设计方案

硬件电路方面，如图 3.3 所示。为防止探针极化，配合软件设计的双极性接口，由 R21 引出的接口可连接在 MCU 的 ADC 管脚，由 R13 引出的可连接另一 ADC 管脚，通过软件控制输出正反向脉冲信号，由 R17 引出的接口对 ADC_IN3 接口的探针进行充放电管理，保证每次采集探针的等效电压时，ADC_IN3 的管脚都是相对低电压，只采集 ADC_IN6 端的正向等效电压。

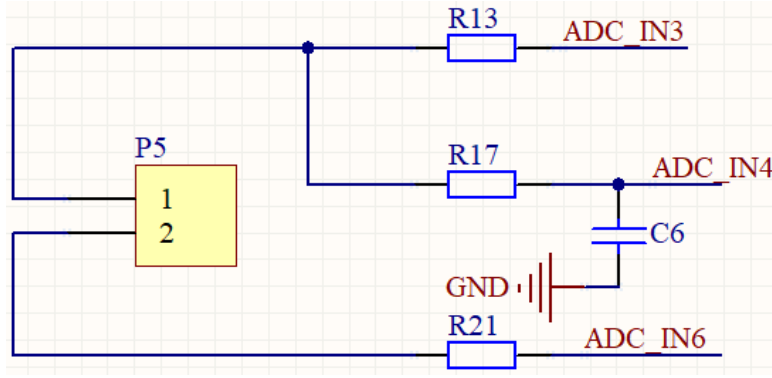


图 3.3 TDS 硬件检测电路

软件方面，首先需要消除附加电流带来的影响，计算出附加电流产生的等效阻抗。测试状态下，在 TDS 采集过程中分别对 ADC_IN3 和 ADC_IN6 通短暂的单向脉冲信号，ADC_IN3 和 ADC_IN6 再分别得到单向的脉冲信号之后，通过仪器测出在该作用下的饮用水对应的阻抗的模，将得到的结果输入到 MCU 进行计算，得出的结果即为消除附加电流之后的实际饮用水的阻值，由该种计算方法可等效出一种简单电路，如图 3.4 所示。

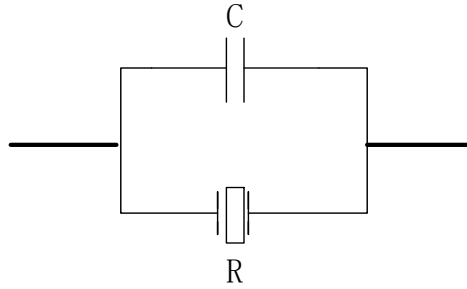


图 3.4 饮用水阻抗等效电路模型

推理过程：

假设 ADC_IN6 的单次单向脉冲信号的频率为 $\omega^{[32]}$ ，在等效电路 RC 中，可得出饮用水溶液的阻抗 Z：

$$Z = \frac{R \times (1 - j\omega RC)}{1 + \omega^2 R^2 C^2} \quad (3.3)$$

由式(3.3)取 Z 的模：

$$|Z| = \frac{R}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}} \quad (3.4)$$

另外还需要计算相位角 φ ：

$$\varphi = -\frac{\cos(\omega RC)}{\sin(\omega RC)} = -\arctan(\omega RC) \quad (3.5)$$

由式(3.4)中可以得出, 在等效电路 RC 中, 存在 $\omega RC \ll 1$ 时, $|Z|$ 的值可近似和饮用溶液的实际等效电阻 R 相等。但实际我们在计算电导率的时候直接默认了 ωRC 的大小远远小于 1, 忽略掉了真实电流和电压之间的相位角误差, 这种误差同样会对 TDS 值的计算结果造成间接影响。在给出脉冲信号到实际脉冲信号发生的时间偏差会造成正负极性变化时间与实际不一致, 下图 3.5 所示。

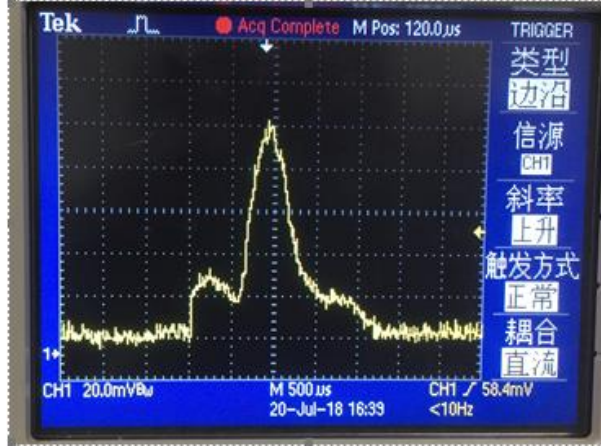


图 3.5 脉冲信号发生的时间偏差

由此, 计算相位角的误差。可以设相位偏移的时间为 $T = \omega^2 \cdot R^2 \cdot C^2$:

$$R = |Z| \times \sqrt{1 + T} \quad (3.6)$$

式(3.6)得到的结果就是实际由饮用水构成的闭环电路中等效的电阻 R 。通过后续代入公式计算, 可得到消除极化效应后的实际 TDS 值。

TDS 探针在饮用水中长时间通电发生的电解电离现象^[36], 造成的局部导电性增强, 相当于在一般电路中多并联了一个可以进行充放电的电解电容, 如图 3.6 所示。

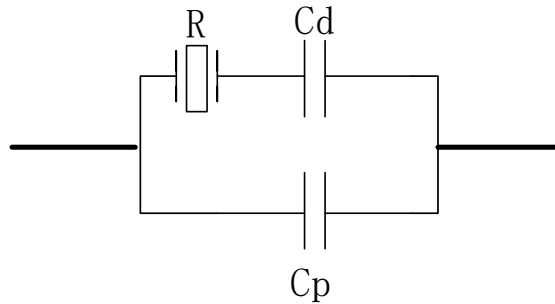


图 3.6 饮用水等效电容电路模型

实际在净水器系统设计中要实时采集 TDS 值数据, 避免不了长期进行通电检测, 因此提出了一种双极性检测的方法, 通过 ADC 输出占空比为 50% 的正反向脉冲波形^[33], 单一探针在通正向电压一定时长后会反向通负向电压, 中和单向电压带来的影响, 并且这种检测方式

对极性切换频率的要求也比较高，需要在短时间内进行切换，以防单向电存留的时间过长发生电解电离现象，其输出的电压脉冲波形如图 3.7 所示。由主控 MCU 来控制极性的变化，另外频率的设置需要根据实际来判断，频率控制在 10ms 内对结果的误差影响不大。TDS 值采集的过程应发生在正负一个周期结束后的时间点，因此，也限定了 TDS 的采样频率在 10ms 左右。

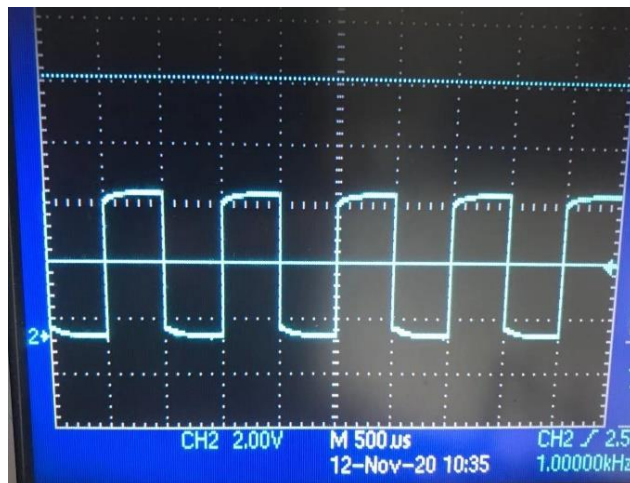


图 3.7 脉冲正负方波

温度因素会直接影响电导率的变化，电导率在某个温度段内的变化率不会太明显，可根据实际饮用水温度的变化计算得出不同温度段内对应的电导率。在净水器系统中进行处理时，采集当前水温，根据温度值选择与之对应的电导率进行计算，得出的结果不能直接作为最终结果输出显示，实际的采集系统中需要在一段时间内进行多次 TDS 值的采集，短时间内温度不会发生很大的变化，因此在首次采集 TDS 值后，只进行单次的温度补偿，后续采集的结果只用首次的温度加入计算。连续多次采集之后为了保证数据不会有突变性，还需要对所有数据进行平滑处理，之后作为一次采集的结果进行系统上报显示。

3.4 动态调整温度自补偿的 TDS 检测机制设计

动态调整温度自补偿的 TDS 检测机制提出了对 TDS 检测时，受温度、饮用水电解以及长时间对探针通电带来的电容效应等因素，在硬件电路和软件方面进行了各自的设计优化，针对温度因素的影响，提出温度变化对 TDS 采集的动态补偿；针对极化效应和电容效应，提出 TDS 值多频双极性的采集机制。

3.4.1 温度变化对 TDS 的动态补偿

在计算温度变化对电导率系数的影响时，需要得到不同温度值下与之对应的电导率系数的对照表，实际在根据方法公式计算出了部分温度下的对照表，和前人总结的误差不大；表格 3.3 所示，为实际计算的水溶液不同温度对应的电导率系数的值（表中 10℃、14℃、18℃、25℃、28℃、30℃，前者为实际测试计算得出的结果，后者借鉴总结）。

表格 3.3 电导率与 TDS 对照表

水温度 (°C)	电导率系数 (uS/mL)	水温度 (°C)	电导率系数 (uS/mL)	水温度 (°C)	电导率系数 (uS/mL)
0	2.4	11	3.67	22	4.62
1	2.52	12	3.74	23	4.78
2	2.64	13	3.81	24	4.94
3	2.76	14	3.91/3.88	25	5.14/5.10
4	2.88	15	3.95	26	5.16
5	3.0	16	4.02	27	5.22
6	3.12	17	4.09	28	5.28/5.28
7	3.24	18	4.14/4.16	29	5.34
8	3.36	19	4.23	30	5.34/5.40
9	3.48	20	4.30	31	5.51
10	3.55/3.60	21	4.46		

由表 3.3 的数据绘制出水温度与电导率系数关系的折线图, 如图 3.8 所示, X 轴表示水的温度, Y 轴表示电导率系数。由下图可知, 水温度在 0 到 31 摄氏度范围内的变化曲率接近一元线性方程的斜率。

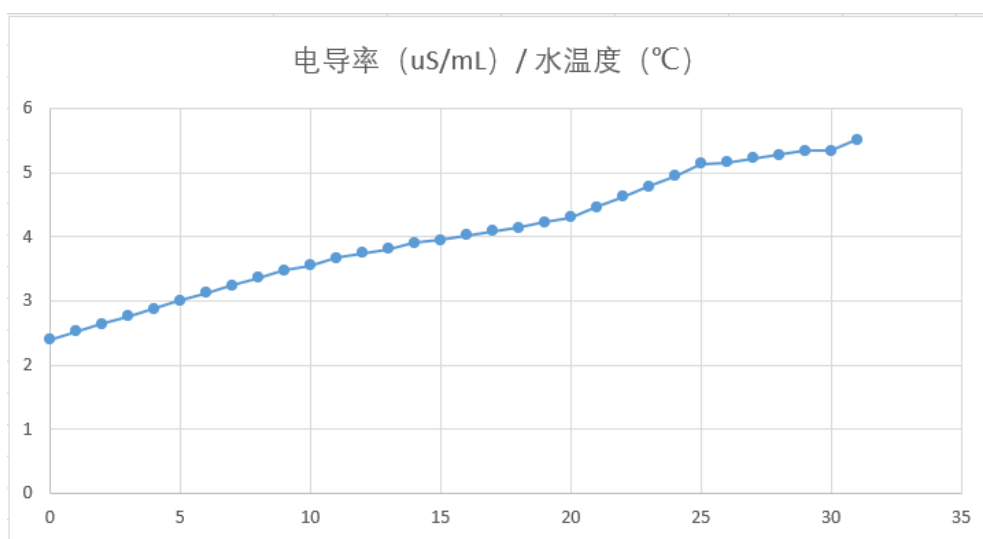


图 3.8 水温与电导率系数关系图

由以上所有的测试结果计算可得: 电导率校正系数与水温度成一元线性关系, 其温度补偿公式为:

$$Ks = \frac{Kt}{0.22t+0.45} \quad (3.7)$$

式(3.7)中, 是以常温下的电导率系数进行计算的, 其计算结果误差较大, 不同温度应对应不同的电导率系数, 以正确的电导率系数计算出的结果才能更好的反应真实性。根据表格

3.3 所示内容，将与之对应的校正系数代入补偿公式中计算，以下公式为不同温度范围的温度补偿公式：

$$K_S = \frac{Kt}{0.169t+0.5583} \quad (1^\circ\text{C} \leq t \leq 10^\circ\text{C}) \quad (3.8)$$

$$K_S = \frac{Kt}{0.18t+0.5473} \quad (10^\circ\text{C} \leq t \leq 20^\circ\text{C}) \quad (3.9)$$

$$K_S = \frac{Kt}{0.189t+0.5281} \quad (20^\circ\text{C} \leq t \leq 30^\circ\text{C}) \quad (3.10)$$

$$K_S = \frac{Kt}{0.22t+0.45} \quad (\text{其它温度范围}) \quad (3.11)$$

在净水器系统中，饮用水的常温状态一般不会超过 31°C ，TDS 值的检测也是对常温状态下的纯水进行数据采集。由温度补偿公式来校正不同温度下的电导率系数，将得到校正后的系数数据存储在净水器本地系统中，后续在 ADC 采集到原始 TDS 值后，将该温度下的电导率系数加入到公式计算中，得出相对准确的 TDS 值。

3.4.2 TDS 值多频双极性采集机制

多频双极性采集流程如图 3.9 所示。由 ADC 输出控制的脉冲波形周期应控制在 10ms 内，则选择 1-5ms 的周期进行增加，并且在进行第一次取值之前需要获取当前饮水的温度值。当采集第一个 TDS 值时，将输出脉冲的周期设置为 1ms，此后延续增加，直到周期为 5ms 采集完之后，重新由 1ms 的周期进行增加。防止固定周期频率对采集结果造成的固化误差。TDS 检测探头共有两根探针，分别表示为 P1 和 P2，在前一个 $T/2$ 的时间中，主控 MCU 控制 ADC 接入的 P1 端持续输出正向电压，控制 P2 端持续输出反向电压，持续时间为 $T/2$ ； $T/2$ 的时间到期之后进行反转，P1 端持续输出反向电压，P2 端持续输出正向电压，持续时间同样是 $T/2$ 。完成一个周期 T 之后，在此时间节点上进行 TDS 值得采集，将得到的计算结果放入数据缓存队列内，之后进行平滑处理。

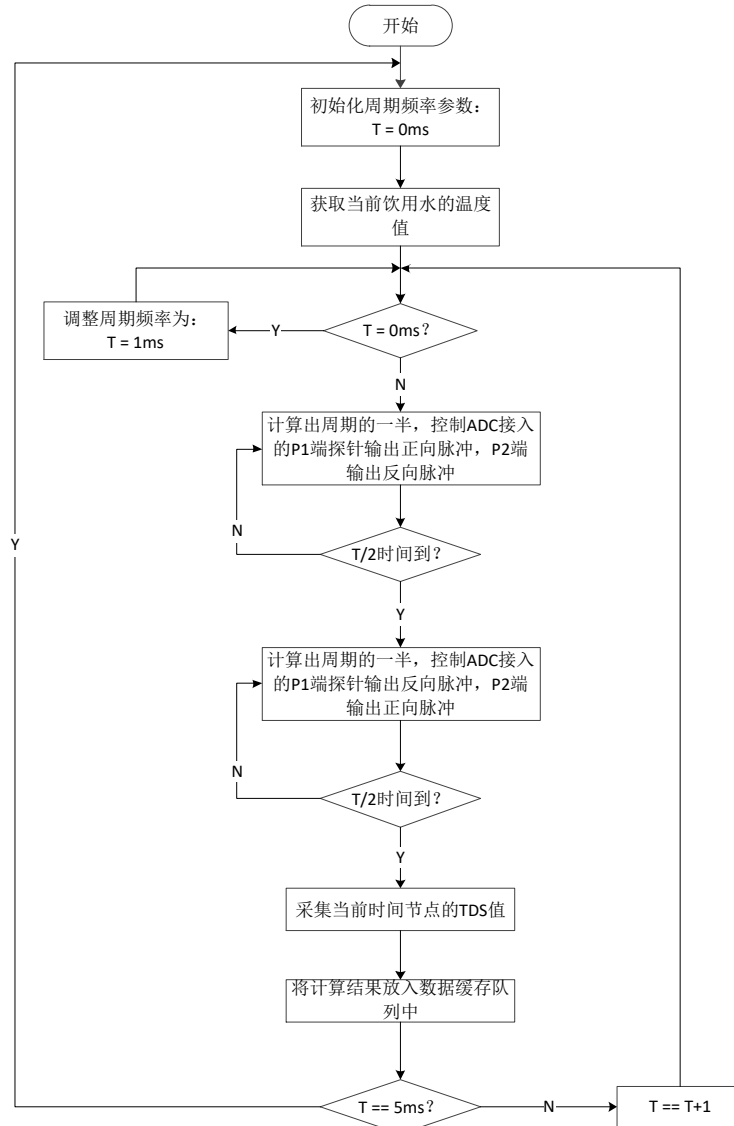


图 3.9 多频双极性采集流程

3.5 基于滑动平均滤波法实现 TDS 的平滑滤波

净水器系统实时采集原水和纯水的 TDS 值, 进行补偿计算后经过系统上报到云平台, 单次的 TDS 值采集会由于主控 MCU 的 ADC 外设偶然的不稳定性造成数据的突变性误差, 在云平台 and APP 数据展示中, 会出现数据的突兀变化。ADC 外设的不稳定性主要由 TDS 采集时的瞬间通电引起的, 在净水器系统 TDS 值采集方案设计中, 规定了只在系统工作的时候进行 TDS 值的采集, 在通电的瞬间 ADC 未完全完成初始化, 直接导致采集的数据误差较大; 但是调整 ADC 初始化的时间又会影响 TDS 采集的频率, 延长了从 ADC 初始化采集数据到计算出结果后系统上报的时长, 在网络通信方面影响了数据上报的实时性。如下图 3.10 所示, 实际发生的上报到云平台的纯水 TDS 值的突变现象, 该突变现象会直接影响后续根据 TDS 值对比对滤芯使用期限的调整, 同样影响整个净水器系统的正常运行。



图 3.10 上报云平台的 TDS 值

基于以上分析，提出了基于滑动平均滤波法实现 TDS 平滑滤波的方案，对突变的数据进行过滤，得到平滑的数据流之后再进行上报。

3.5.1 滑动平均滤波法基本原理

如图 3.11 所示滑动平均滤波模型，滑动平均滤波法是基于时间和窗口值的滤波过程。其作为常用的数字滤波方法之一，应用广泛，具有实用、简单、受控性好等特点，尤其适用于大量数据的快速处理过程^[37]。

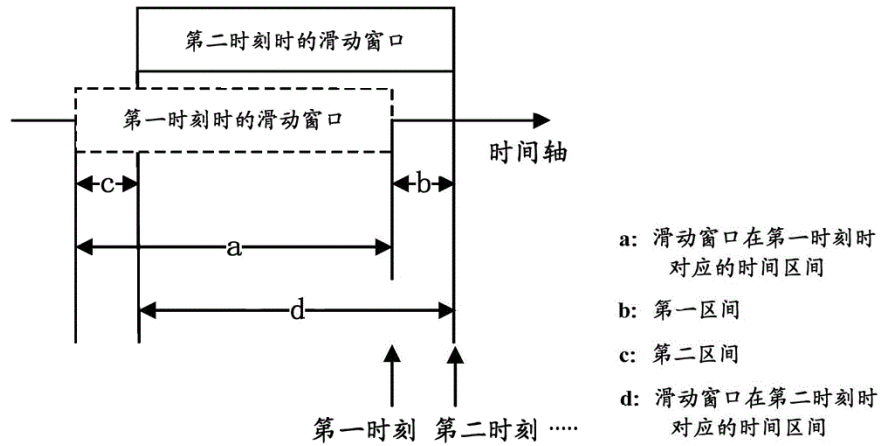


图 3.11 滑动平均滤波模型

滑动平均滤波算法基于时间的计算模型如下式：

$$y(t) = \frac{1}{T_0} \int_{t-T_0}^t f(x) dt \quad (3.12)$$

式(3.12)中， $y(t)$ 是基于时间的输出结果， T_0 是以周期为单位的滑动窗口值大小， $f(x)$ 函数对输入元素序列进行处理，其表达式：

$$f(t) = \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right) \quad (3.13)$$

设滤波周期为 T_0 , 则可令:

$$T_0 = kT + R; (k = 0, 1, 2 \dots; 0 \leq R \leq T) \quad (3.14)$$

由以上式(3.12)、式(3.13)、式(3.14)计算得出幅值表达式:

$$A = \frac{2}{T_0} \int_0^{\frac{R}{2}} \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right) dt \quad (3.15)$$

式(3.15)整理可得:

$$A = \frac{T}{\pi T_0} \sin\left(\frac{\pi T_0}{T} - k\pi\right) \quad (3.16)$$

令:

$$f_n = \frac{f}{f_0} = \frac{T_0}{T} \quad (3.17)$$

由式(3.16)、式(3.17)得:

$$A = \frac{1}{\pi f_n} \sin(\pi f_n - k\pi) \quad (3.18)$$

由式(3.18)在转换为:

$$A = (-1)^{f_{ioor}(f_n)} \frac{1}{\pi f_n} \sin(\pi f_n) \quad (3.19)$$

以上是部分基于时间的滑动平均滤波过程, 需要考虑滤波器输出的数字信号幅值, 以及相位的偏移因素。但针对净水器 TDS 值的采集系统而言, 其采集的过程是连续的, 在本文中的窗口滑动是基于元素序号进行处理的, 需要将式(3.12)转换为以元素序号为基础的公式计算:

$$y(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^N \binom{N}{k} f(x) k^{N-k} \quad (3.20)$$

式(3.13)中, N 为窗口值大小, $f(x)$ 的序列处理完之后需要加权求平均值, k 为滤波器中元素的序列号, 后续需要对元素序列进行排序, 找出中位值, 对突变性元素进行替换, 以上只列出了式(3.20)的变换公式, 后续基于元素序列的计算未列出。

3.5.2 滑动平均滤波控制机制

在净水器 TDS 值的采集系统中, 滤波的主要作用是去除非正常数据, 保持数据流的平稳性。在 TDS 值的数据产生过程中, 对采集到的数据进行计算后放入固定大小的缓存队列, 但基于数据流的形式在实时系统中存在着数据的动态变化, 数据队列缓存满则溢出, 在进行数

据的处理中，采用滑动平均滤波的方式跟随 TDS 值实时采集的过程动态进行，保持着 TDS 值实时采集的速率滑动处理。在元素列表中设置滑动窗口，每个时刻或周期过程计算一次由窗口圈中的元素集合，对集合中的所有元素进行处理。在净水器 TDS 采集系统中，从缓存数据中连续的取出原始数据放入处理队列中，队列长度始终保持在 N 的大小，N 即为滑动窗口值，在处理队列中首次满 N 值的元素，则对 N 个元素进行排序取中位值并加权求平均，分别分析平均值和各元素的差异化大小，将最大差异化的元素修改为中位值，重新计算平均值作为滤波的结果。首次滤波结束后更换窗口向前滑动，将处理队列的队尾的元素移除掉，在队首加入从缓存队列输入的新元素，进行新一轮的滤波处理。滑动平均滤波方法对采样值的突变性具有良好的抑制作用，将差异化较大的元素与其他元素求中位值进行替换，实现连续元素的平滑稳定；另外基于滑动的方式自由设定窗口值大小，即同时处理元素的数量，可在短时间内处理大量的数据。图 3.12 所示，基于元素窗口滑动的处理过程。

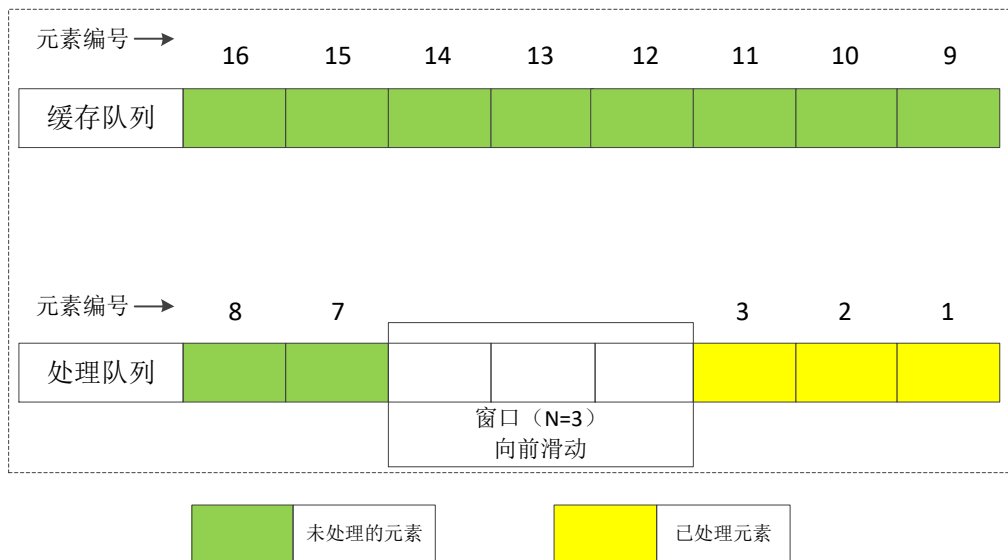


图 3.12 窗口滑动处理过程

3.6 软件设计及测试结果

3.6.1 软件整体设计

滤波过程的窗口值在净水器系统中设置为 5，以步长为 1 在缓存队列中进行滑动取值，TDS 值的采集频率实时在变化着，单次采集的周期在 1-5ms 内变化，完整从 1ms 重新开始需要经过 15ms，15ms 的时间在本采集系统中不会对实时上报性能有太大影响。同样的 15ms 内经过多频率的变化，作为滤波输入的 5 个元素值计算，对微小误差进行中和。滤波过程输出的一个结果需要 TDS 采集系统生成 5 个原始数据，但实际在处理过程中每次只更新一个数据元素，保留原来的 4 个参与计算过程；滤波过程需要重新开辟缓存，不能重复使用原始 TDS 值的缓存队列，软件设计方面要考虑到缓存区溢出的问题，否则会导致 MCU 死机，只能由用户手动执行断电重启；TDS 值过滤后需要进行上报，考虑到数据量集中的问题，采用本地存储和变化上报的形式：保留前一次上报的 TDS 值进行存储，当有新的 TDS 值需要上报时，

首先与本地存储的前一次的值进行比较，若结果的差值比较大，则将当前值进行上报，并更新本地存储；反之，舍弃本次的值，不进行上报。

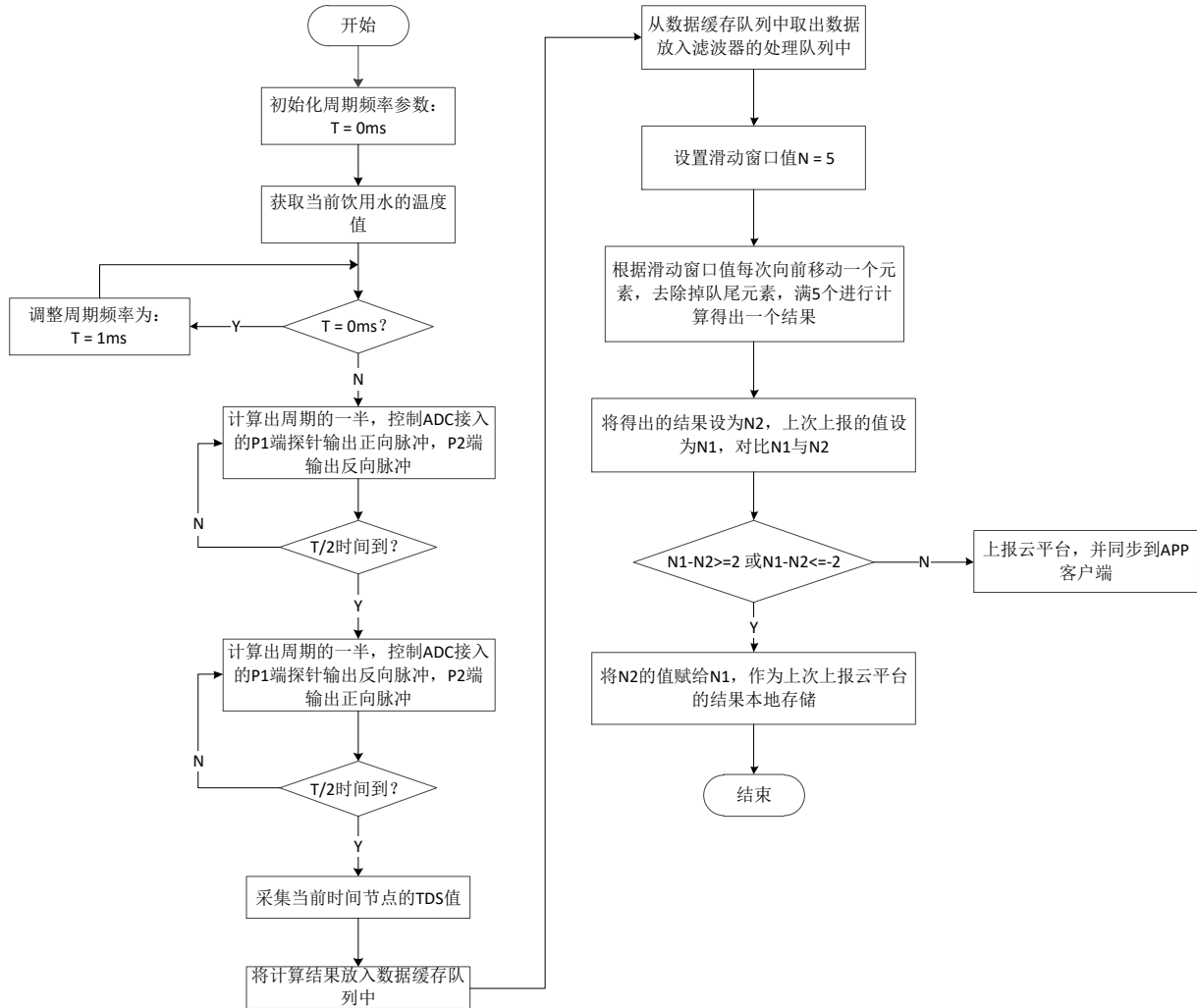


图 3.13 TDS 值处理及上报流程

3.6.2 对比测试

TDS 值的准确性测试需要经过对比，本文在测试中引入控制条件变化的方式进行测试。由软件控制条件的变化，分别为：未加入任何优化测试、加入多频双极性测试、加入温度补偿测试。对比市面上的 TDS 水质检测笔：小米 TDS 检测笔，型号 XMTDS01YM、TES1310 多功能测试仪，可以测试水质 TDS 和水温度。本测试方案只测试两种水溶液，自来水和净水器净化后的水，为了测试方便，将水烧开后以温度从高到底的方式进行测试，对温度变化的间距把控不是特别严格。

3.6.2.1 测试环境

选择一块新焊接的板子，接入 TDS 探头，使用测试程序临时修改 TDS 的上报规则，净水器本地没有 TDS 的显示设备，只能通过云平台上报的数据进行查看，如下图所示，搭建的

整体测试环境；图 3.14 内包括净水器主板和触摸按键板以及自制 TDS 检测探头、小米 TDS 检测笔、TES1310 多功能测试仪、一杯净化水和一杯自来水。



图 3.14 测试使用工具

图 3.15 开机测试，使用不同的变化条件，等待数据上报。

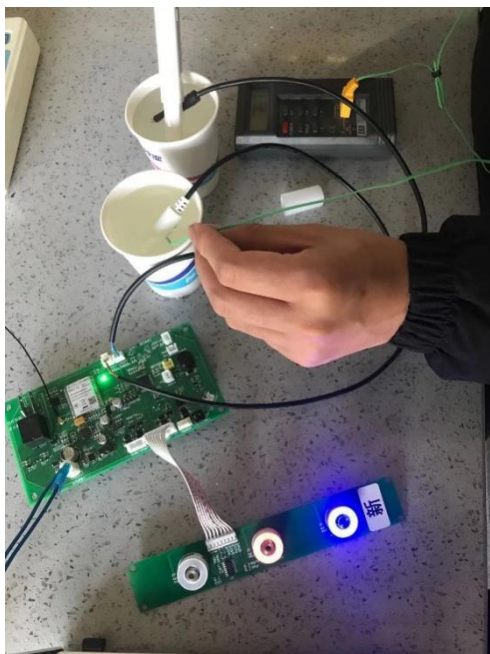


图 3.15 测试中数据上报

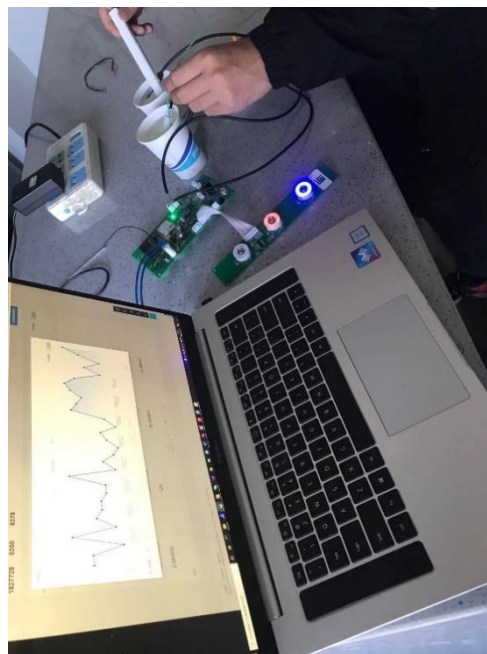


图 3.16 测试中数据上报

图 3.17 数据上报结果。

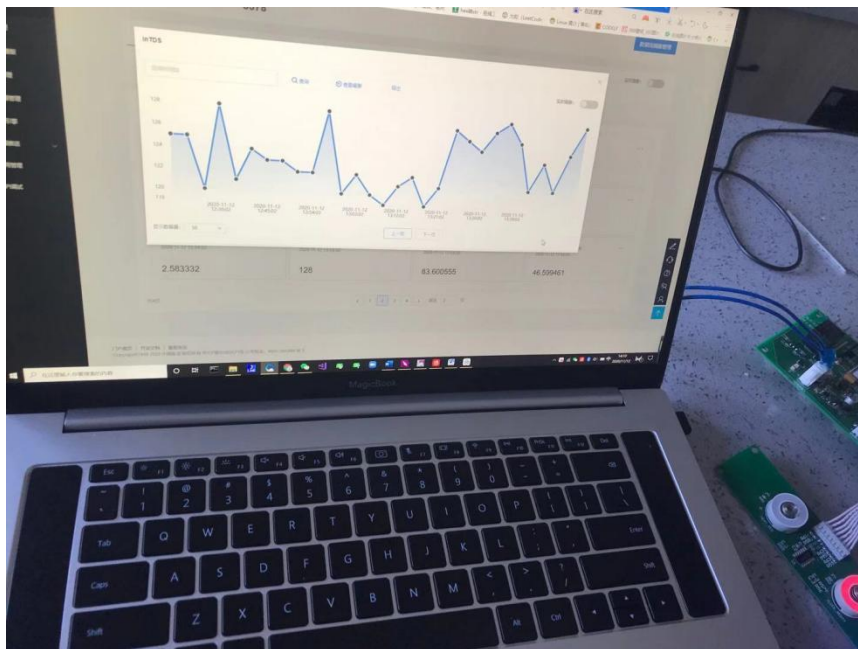


图 3.17 云平台数据展示

3.6.2.2 无优化测试

无优化测试采用最简化的测试方式，未对软件进行任何优化，对比不同温度下小米检测笔和多功能测试仪，根据实际环境，由温度从高到底的方式进行检测，得出测试结果。

图 3.18 所示为净水器采集的自来水 TDS 值，从云平台查看结果。

InTDS



图 3.18 无优化自来水 TDS 值

图 3.19 所示为净水器采集的净化水的 TDS 值。

OutTDS

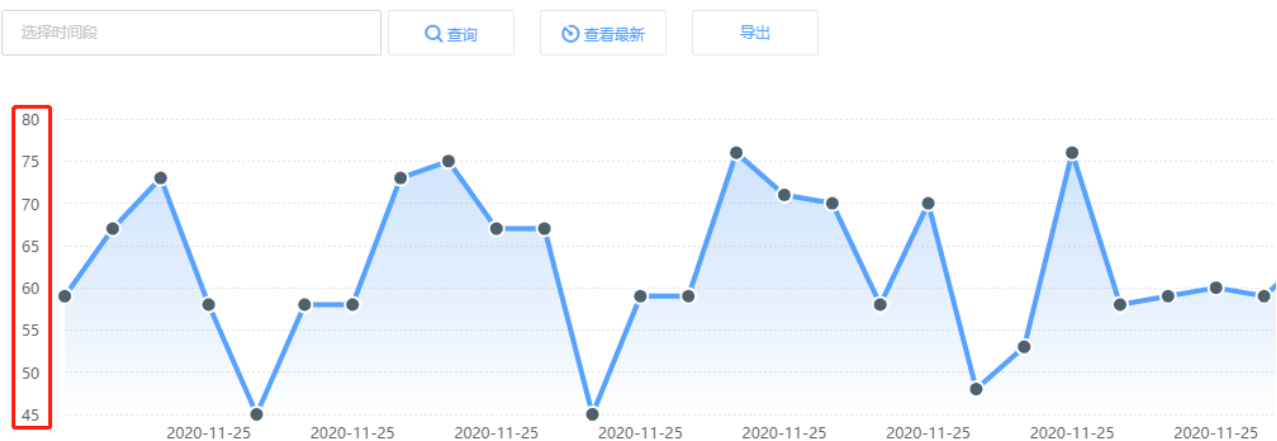


图 3.19 无优化净化水 TDS 值

类别 温度℃	小米TDS检测		TES1310多功能检测	
	自来水TDS	纯水TDS	自来水TDS	纯水TDS
32℃	128	4	116	4
31℃	120	4	117	3
29℃	130	5	123	4
26℃	129	5	121	5
24℃	129	5	129	3
21℃	123	4	127	3
18℃	134	5	129	4
17℃	131	6	129	4
13℃	127	5	119	4
10℃	134	5	116	4

图 3.20 小米 TDS 测试和 TES1310 测试记录，小米 TDS 检测笔

无优化测试的结果如表格 3.4 所示，对比市面上的检测仪器检测结果差距较大，自制 TDS 检测得出的纯水 TDS 值与专业仪器对比偏差尤为严重。TDS 探头长期通电在水中发生的极化效应和等效电容，引起电解电离现象使水中离子分布不均，探头端离子浓度过高，使得检测结果严重偏高。

表格 3.4 无优化测试结果对比

类别 温度℃	自制 TDS 检测		小米 TDS 检测		TES1310 多功能检测	
	自来水 TDS	纯水 TDS	自来水 TDS	纯水 TDS	自来水 TDS	纯水 TDS
32℃	234	59	128	4	116	4
31℃	225	74	128	4	117	3
29℃	240	45	120	5	123	4

26°C	229	57	130	5	121	5
24°C	233	57	129	5	129	3
21°C	210	45	129	4	127	3
18°C	241	58	123	5	129	4
17°C	225	76	134	6	129	4
13°C	221	53	131	5	119	4
10°C	186	60	127	5	116	4

3.6.2.3 多频双极性测试

InTDS

图 3.21 多频双极性自来水 TDS 值

图 3.22 所示为净水器采集的净化水的 TDS 值。



图 3.22 多频双极性净化水 TDS 值

频率和占空比，相比于固定频率采集，该方式更加能得到具有对比性的采集结果。多频双极性的优化测试结果如表格 3.5 所示，该方式极大程度上减弱了由极化效应和等效电容带来的 TDS 值采集误差较大的现象。

表格 3.5 多频双极性测试结果对比

类别 温度℃	自制 TDS 检测		小米 TDS 检测		TES1310 多功能检测	
	自来水 TDS	纯水 TDS	自来水 TDS	纯水 TDS	自来水 TDS	纯水 TDS
31℃	152	5	129	4	121	5
30℃	150	6	122	6	129	3
28℃	141	6	135	6	130	4
26℃	143	5	130	5	123	4
25℃	142	6	123	5	117	4
22℃	151	5	131	5	122	3
19℃	152	5	121	5	121	4
16℃	145	6	125	6	117	4
14℃	143	7	128	4	119	5
12℃	141	6	134	6	118	5

3.6.2.4 综合测试结果分析

加入温度补偿进行综合测试，图 3.23 所示为净水器采集的自来水 TDS 值。

InTDS

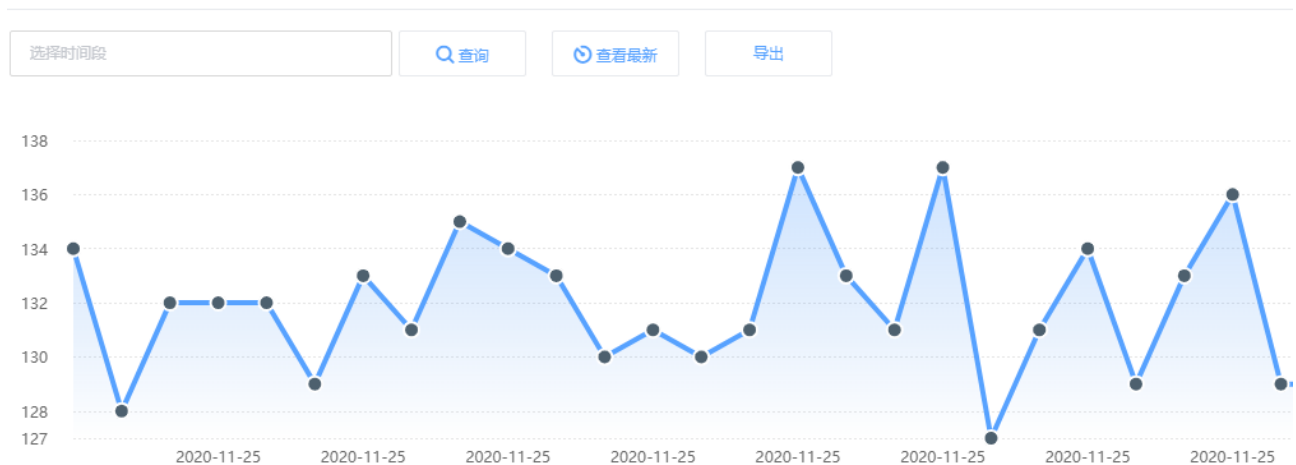


图 3.23 温度补偿后自来水 TDS 值

图 3.24 所示为净水器采集的净化水的 TDS 值。

OutTDS



图 3.24 温度补偿后净化水 TDS 值

综合测试加入了温度补偿的对比。虽然在温度相差较小的情况下其电导率差距也比较小（25℃下电导率系数为 5.14uS/mL，26℃下电导率系数为 5.16uS/mL），但各温度下的正确电导率能保证结果更加可靠和准确。表格 3.6 中，与专业测试仪器对比，差距较小。

表格 3.6 综合优化测试结果对比

类别 温度℃	自制 TDS 检测		小米 TDS 检测		TES1310 多功能检测	
	自来水 TDS	纯水 TDS	自来水 TDS	纯水 TDS	自来水 TDS	纯水 TDS
30℃	134	4	130	4	122	5
28℃	132	4	127	5	124	3
26℃	132	4	128	4	123	4
25℃	129	4	129	4	118	4
23℃	133	4	132	4	126	4
20℃	130	4	125	6	128	4
18℃	131	4	124	5	129	5
16℃	132	4	135	4	120	4
12℃	133	3	134	5	123	3
9℃	127	4	121	4	130	3

以表格 3.4、3.5、3.6 进行综合对比，无优化测试中自来水和净化水的值相比小米检测笔得出的数据偏差较大，自来水的 TDS 值基本都在 200ppm 以上，对比小米自来水 TDS 值测试结果，说明极化效应和电容效应影响了 TDS 的检测结果，三次测试中小米 TDS 检测和 TES1310 检测的结果都很稳定。表格 3.5、3.6 中自制 TDS 检测是优化过后的测试结果，与其他测试结果对比明显差距缩小，由以上三表可明确表示出 TDS 检测机制的优化效果。

以上的测试结果对比，优化后的 TDS 检测能得出较高准确率采集结果，其纯水 TDS 值基本稳定在 3ppm-5ppm 之间，对比小米 TDS 检测和 TES1310 多功能检测基本无差距，符合 TDS 值检测系统的设计要求和设计目标，可为用户提供准确的 TDS 检测结果，后续以 TDS 值为主融合多种条件来判断和预测滤芯的可使用期限。

3.6.2.5 滤芯使用期限预测

TDS 值的准确判断，对于系统预测滤芯寿命期限有重要意义，结合制水量和水压变化的曲线，本系统中水压的变化不够明显，且压力值的检测精度不够，只作为最后的判断条件，本文还是以 TDS 值和制水量为主要判断条件，将两种因素融合得出预测曲线。如图 3.25 所示，系统将预测结果上报到云平台，得出以日为单位的剩余可使用时间，作为用户更换滤芯的重要参考，改变了传统主观预测的不足之处，通过设置 APP 滤芯到期提醒给用户，或设置滤芯超限使用提醒运营商管理员，由售后人员主动登门为用户更换滤芯。



图 3.25 滤芯剩余使用时间预测曲线

3.7 本章小结

本章首先对 TDS、电导和电导率进行概述，由此引出对电导率计算时需要考虑到的影响因素，根据实际情况设计了消除以上因素的方案，其次对于 TDS 值多次采集的平滑处理，消除了由数据突变带来的 TDS 值前后误差较大的现象，TDS 值的准确计算对后续净水器系统综合预测滤芯实际使用期限具有关键性的作用；最后对提出的优化方案进行分析和测试验证。

第4章 集中型大规模 NB-IOT 终端固件升级的优化设计

净水器设备售后分布地区较为广泛，后续对于系统升级以及维护不便，尤其在设备比较集中分布的时候，自动接入同一个基站网络，并发升级抢占网络带宽，无法保障少量设备优先成功升级，导致所有待升级设备都无法进行下去，并且影响了设备正常数据流的上报，本章针对以上缺陷，提出了一种集中型大规模 NB-IOT 终端升级的优化设计。云端服务器配合后台获取所有净水器在线设备的状态信息，根据获取到的设备信息，分时对不同小区基站下接入的净水器终端划分集合，同一基站下的净水器数量不同，再对设备集中的基站进行分类，求得净水器终端的信号均值，以此为基础进行分类，最后以信号均值来动态分析升级任务中单个基站的并发接收容量，根据信号质量的优先级划分对所有净水器终端分批进行固件升级，以此来提高短时间升级任务的成功率，且减少整体固件升级所消耗的时间。

4.1 NB-IOT 设备远程升级技术分析

目前，NB-IOT 技术的远程升级方式有很多种，主流的有 SOTA (Software Over-the-Air) 技术，将待升级的终端固件添加到云端任务列表中，并对升级的目标固件进行拆包，通过差分算法配合云端的计算能力，使用 OMA 的标准传输协议^[46]。把目标文件拆分加入自定义应用层协议，分帧传输到设备端，设备端保证网络稳定，并将拆分的包进行本地缓存，待完整文件接收完成进行最终验证，使用反差分算法进行固件重组，替换旧固件以完成升级。该升级方式适合少量设备，并且通过拆分的形式，使得升级过程的时间线拉长，容易造成升级中断且无法完成断点续传；此外，有配合上位机进行远程升级，将待升级终端的 ID 添加到上位机中，上位机与云端和后台完成同步，启动升级任务在上位机端可查看升级进度。此种方法需要完成三者的配合并同步信息，实现起来比较繁琐，并没有对具体升级成功率进行优化。

综上所述，本文提出了固件升级的优化方案，在不改变终端设备硬件的条件下，通过采集净水器终端接入的具体基站编号、信号环境分析以及划类别集合，预估基站承载升级的并发容量，对净水器终端分批进行升级，并针对升级任务中单个设备的升级超时状态进行处理。

4.2 固件升级总体架构分析

4.2.1 固件升级框架

图 4.1 所示，升级过程的总体框架。固件升级的关键是保障网络的良好环境，以及对网络数据并发的动态调控，以最大使用率完成所有净水器终端的升级任务。图 4.1 的框架中，云端负责导入固件并创建升级任务，配合后台动态调控升级任务中的最大并发阈值，净水器终端接收升级分包并进行本地存储，待升级过程结束后执行组包认证，后续替换旧版程序之后执行重启以新的系统开始运行。

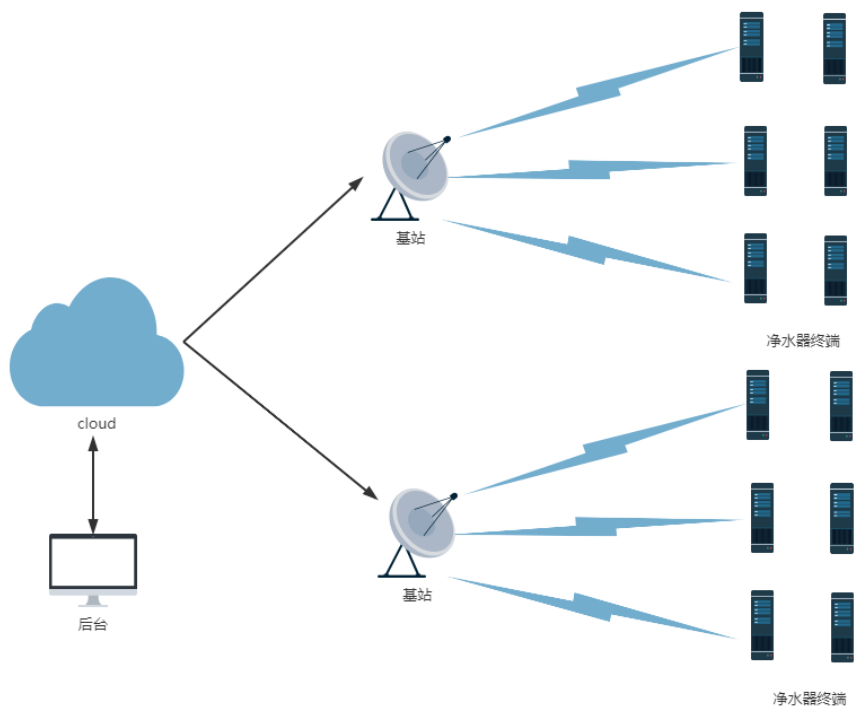


图 4.1 升级分包流通过程

4.2.2 设备端分区

净水器设备端主控 MCU 分区应包括更新区、User 区和 BOOTLOADER 区，都包含在 FLASH 存储区^[43]，图 4.2 所示；除此之外还有 RAM 区，系统运行过程中存储系统初始化参数信息以及存储临时的计算过程数据。程序升级过程中，需要给新版本程序保留足够的本地存储空间，待与云端的数据包传送结束后将本地存储的数据包进行重组，以新版本程序的整体形式执行对 User 代码区进行替换。

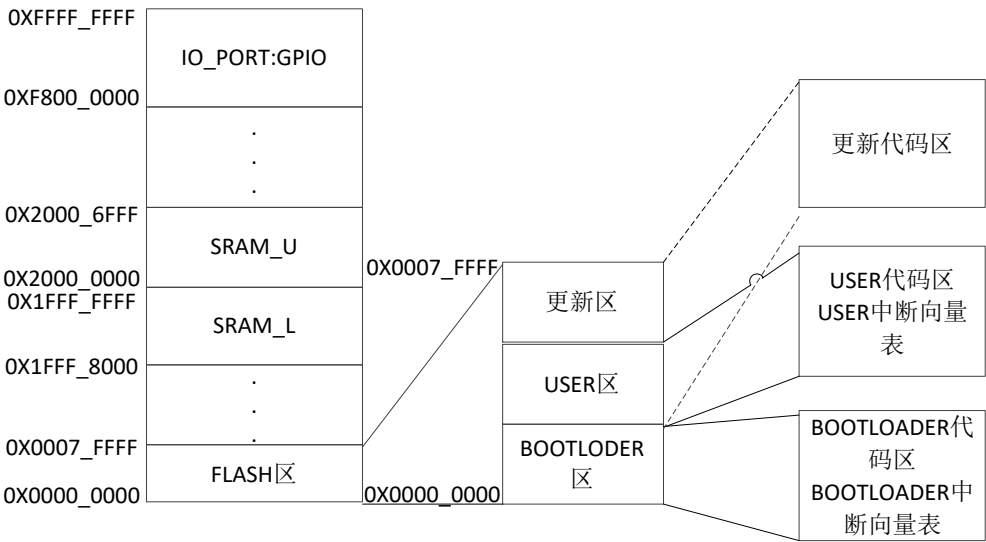


图 4.2 主控 MCU FLASH 分区

4.3 设备端固件升级设计

4.3.1 固件分包写入

净水器设备端通过 NB 网络接收到升级数据分包时，需要本地存储，将所有分包接收完毕后才进行统一组包认证，为了防止在组包过程中发生顺序错乱，需要对接收到的分包进行排序，对每一包数据加上帧头帧尾和计数器之后进行本地存储。如图 4.3 和图 4.4 所示，升级固件分包本地写入规则。

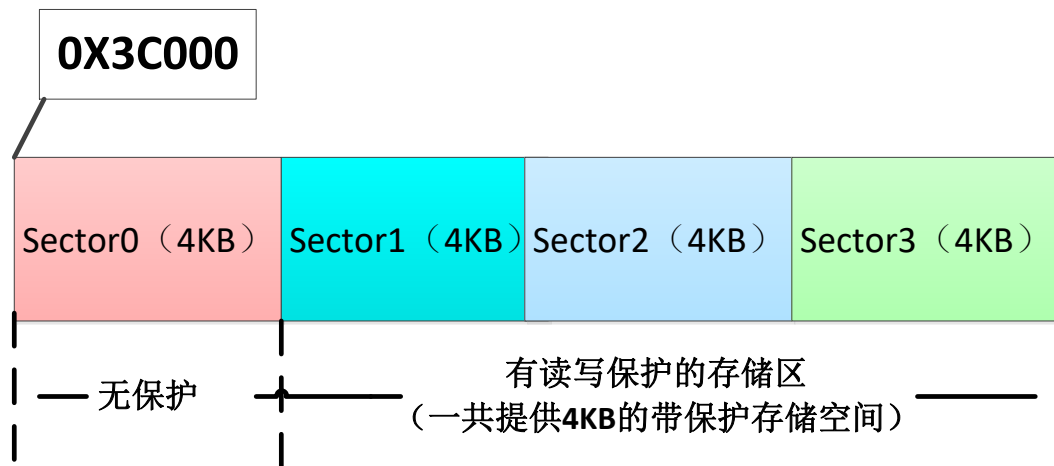


图 4.3 FLASH 内部分区

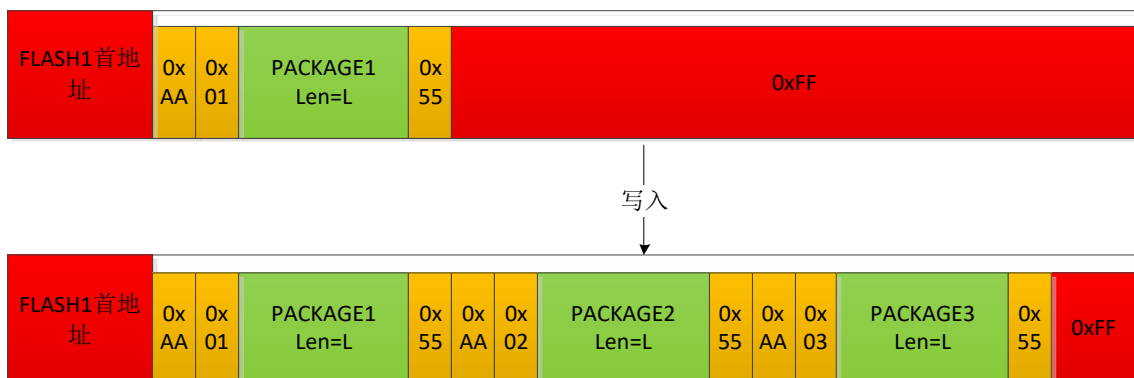


图 4.4 固件分包写入本地 FLASH

为了便于在 FLASH 存储区中进行分包写入位置的快速判断，在待存储分包的头尾加上了 0xAA 和 0x55，在存储区写入之前，判断写入位置是否有数据。先判断待写入地址的首字节是否为 0xFF。若每个 BLOCK 的地址的内容为 0xFF，则代表没有数据写入，则刚好从该地址将数据写入；若不为 0xFF，再判断是否为 0xAA，如果为 0xAA，则代表该位置已经存储有分包，然后快速跳转到下一个分拨包的位置继续判断；若当前位置没有分包占用则先查询上一个分包的计数器，与当前待写入的计数器进行比较，差值为 1 则将当前分包写入存储。这样，就保证了在本地写入的时候，分包存储顺序不会乱掉。如果分包计数器出现错误，则可直接终止升级任务，不会让后续的错误占用升级过程的网络带宽，及时止损，如图 4.5 所示，分包写入数据流程。

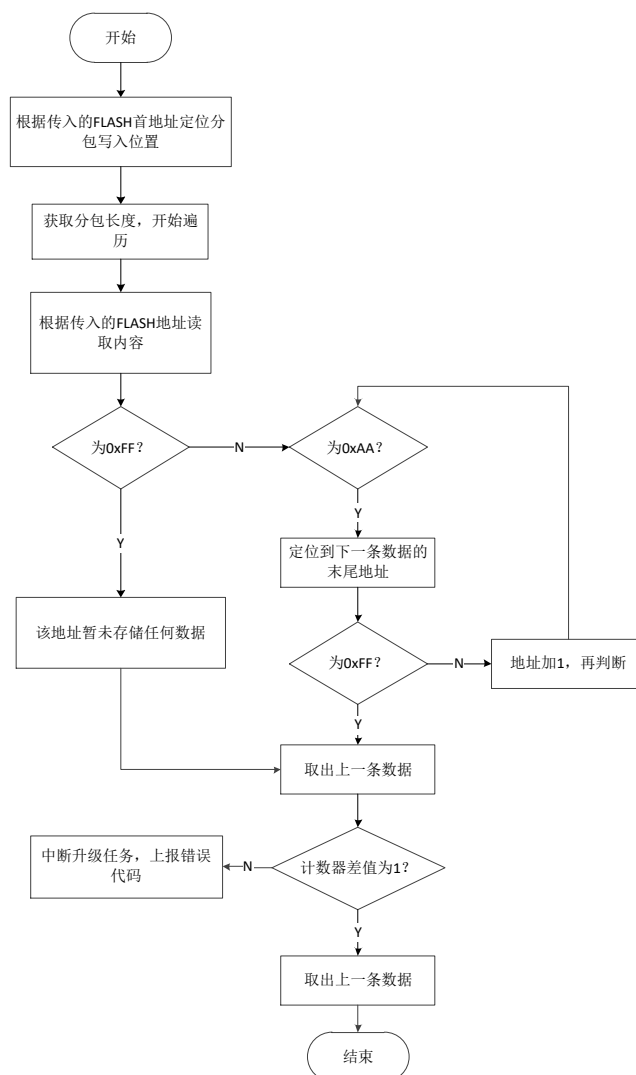


图 4.5 分包写入过程

4.3.2 固件替换

净水器终端升级分包本地接收存储完毕之后需要进行组包验证，认证通过后会执行新旧程序的替换，本地 FLASH 内部分区，新版本程序区和旧版本程序区，整体进行替换，替换完毕后可执行抹除新版程序区，如图 4.6 所示，新版本程序区与旧版本程序区的替换模型。

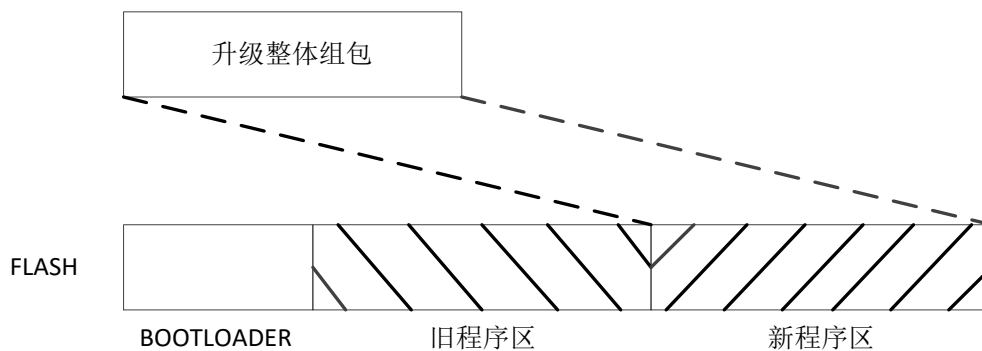


图 4.6 替换模型

从 FLASH 新版本程序区中读出分包替换旧版本程序区时，从新程序区 FLASH 首地址，只需验证分包的计数器，判断当前位置首字节内容。若判断首地址有数据，并且不为 0xFF，验证计数器，符合条件则将该分包读取出，写入旧程序首地址，在根据上一分包的长度快速定位到下一组分包验证计数器，直到找到最后一组分包，如图 4.7 所示，读取流程。

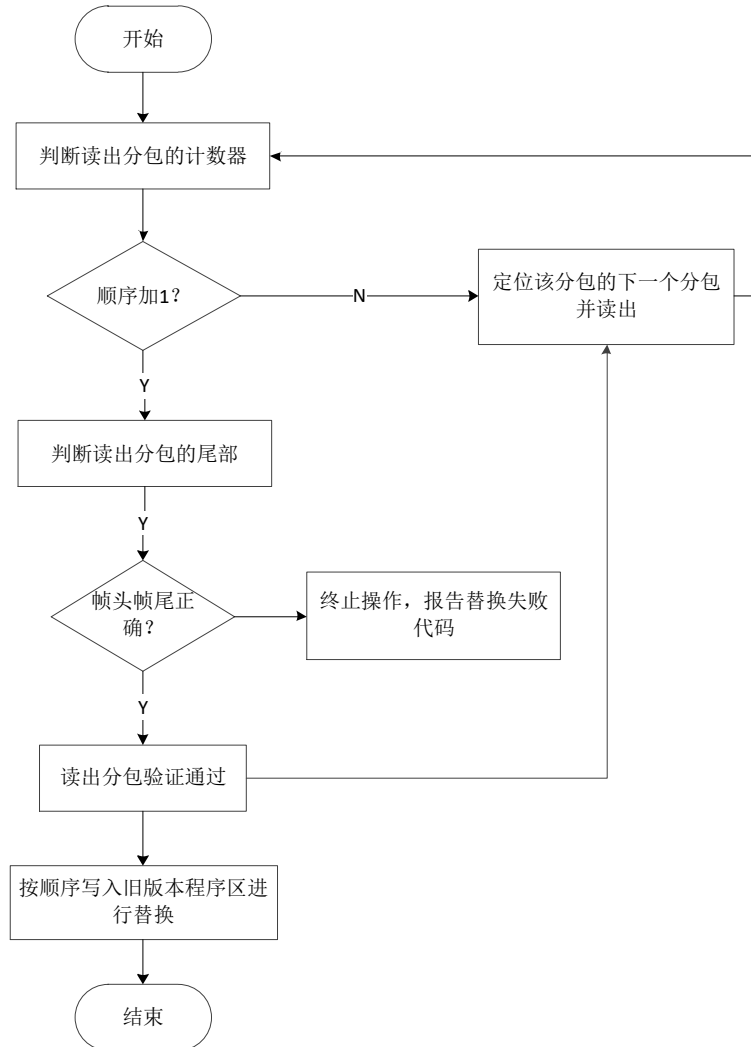


图 4.7 替换流程

4.4 云端升级架构设计

4.4.1 总体流程

图 4.8 所示，净水器终端升级的云端流程。分时获取待更新的净水器终端信息，如：SINR、RSRP、CellId 等，RSRP (Reference Signal Receiving Power, 信号接收参考功率); SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio, 信号干扰加噪声比)，将基站编号 (CellId) 与实际基站绑定关联，将两者的关联信息存入后台的数据库中，后续对其查询，并整和所有净水器设备接入的基站，划分基站集合 H1、H2、H3...，再以基站为单位对基站下接入的净水器设备划分设备序列 S1、S2、S3，由同一 Sx 集合中的设备预算单个基站所能承载的最大并发量 Tx，随后

云端配合后台启动升级任务，并在单个设备升级成功后根据并发量 T_x 再次查询网络负载的变化对 T_x 的值进行动态调整，保证升级过程中的并发量维持最大值。首批设备升级成功后对升级失败的设备进行具体分析，再次查询它们的 RSRP、SINR 信息，做出后续处理。对于基站层面，每个基站的并发升级相互之间并不会受到影响，集合 H_x 对应的净水器设备可以同样的方式升级处理，以动态调整并发容量的方式增加了大规模净水器设备同时升级的成功率。

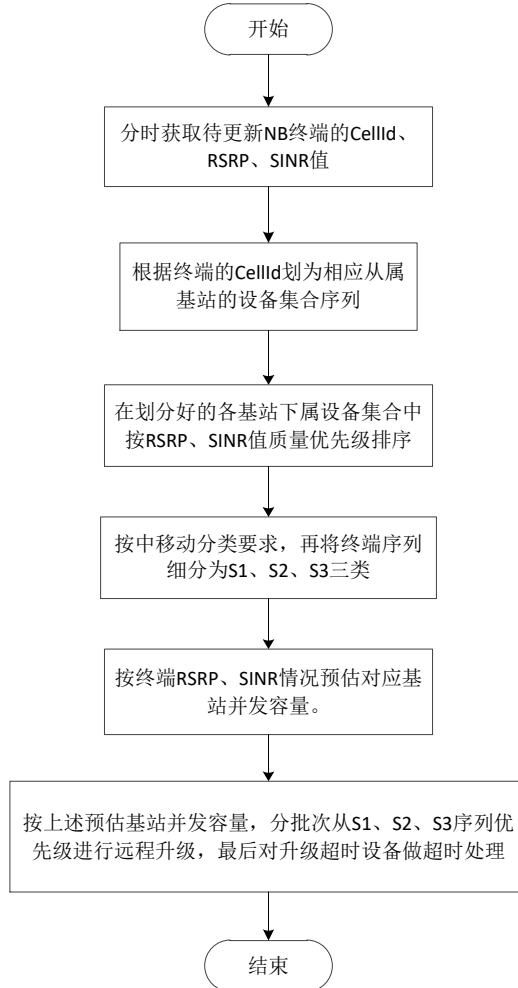


图 4.8 设备升级划分总体流程

4.4.2 基站划分

净水器系统通电之后 NB 模块使用自动搜网机制搜索附近基站进行网络的连接^[48]，联网成功后本地存储基站编号，等待固件升级时提供升级判断条件。针对集中型净水器设备，将再次根据同一基站进行划分。图 4.9 所示，净水器设备所属划分的基站小区和主基站之间的关联示意图，CellId (Cell Global Identifier, 全球小区识别码)，标识单个基站所辐射的区域，该区域由连接同一基站的所有设备的位置构成。对净水器设备获取本地存储的主基站编号 (CellId)，统计该基站下的所有净水器设备数量，对大规模集中型设备再次划分与实际位

置无关的小区基站 X1、X2、X3、Y1、Y2、Y3，主基站 X 与集合 X1、X2、X3 关联，主基站 Y 与集合 Y1、Y2、Y3 关联，以此完成划分。

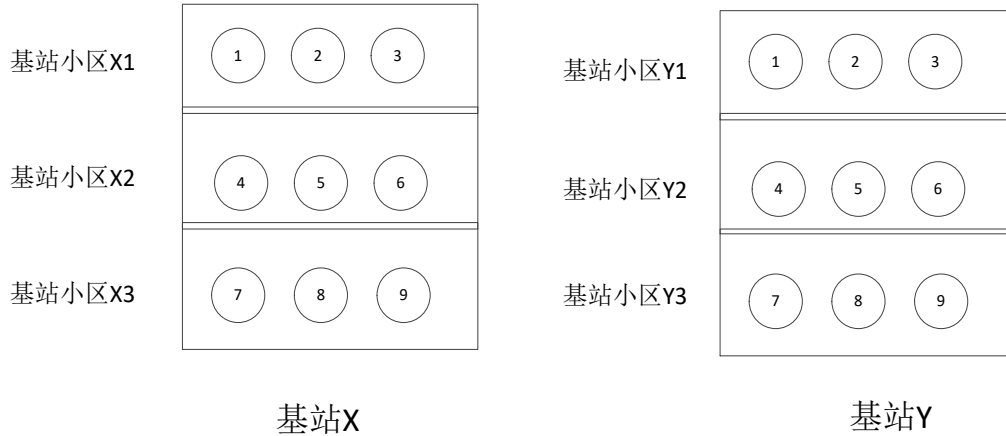


图 4.9 小区基站划分

表格 4.1 所示，信号质量的分类，由中移动提出的标准。将其分类标准进行简化操作以提高升级效率，根据辐射范围的强度将极好点和好点标记为 S1 升级序列，将中点和差点标记为 S2 升级序列，最后将极差点标记为 S3 升级序列。

表格 4.1 信号质量划分

RSRP、SINR 值	覆盖强度情况	远程升级对应分类
RSRP > -83dBm; SINR > 24	极好点	N1
RSRP = -83~-94dBm; SINR = 16-24	好点	
RSRP = -94~-100dBm; SINR = 11-15	中点	N2
RSRP = -100~-112dBm; SINR = 3-10	差点	
RSRP < -112dBm; SINR < 3	极差点	N3

4.4.3 并发容量动态分配

云端对净水器终端执行升级任务的通信流程，如图 4.10 所示。

步骤一，有升级任务时，将待升级固件加入到云端升级任务中，之后云端配合后台下发指令查询所有净水器终端的版本号；

步骤二，净水器终端收到查询指令后进行回复，云端接收后进行校验，通过后再下行发送固件升级指令信息；

步骤三，净水器终端认证远程升级指令，主动向云端请求升级更新分包，云端配合后台将完整固件拆分，通过差分算法对固件分包编号，之后分帧传输；

步骤四，净水器终端将所有分包接收完毕之后，以反差分的形式将分帧进行组装，并整体进行验证，通过后净水器终端通知云端即将执行重启操作，待重启发送初始化信息后，云端标记该设备完成升级任务。

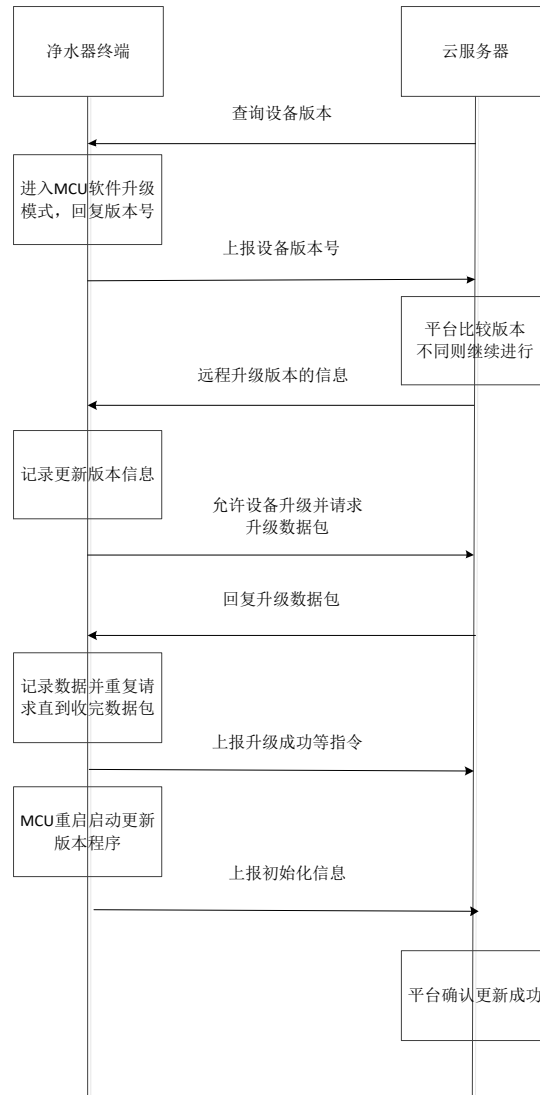


图 4.10 云端与 MCU 通信过程

图 4.11 所示，升级并发容量动态调整过程。根据信号质量等级划分标准将 H1 集合中的所有净水器设备划分成 S1、S2、S3 三个优先级序列，配合当前最大并发容量 T1 优先对 S1 序列中的 T1 个设备启动升级，基于 TCP/IP 的数据传输思想，保持单个基站中正在执行升级任务的设备数量为 T1 最大值，若 S1 序列中不足 T1 个数量，则动态调整 T1 的值，由 T1 变为 T2，此时升级任务中包括 S1 和 S2 序列中的设备，等待 S1 序列的设备完成升级后，再次调整 T2 的值，由于 Sx 序列是根据信号质量划分，故此时 T2 的值应比 T1 要小，以此重复执行升级任务，直到完成所有序列的设备升级。最后，对升级失败的净水器设备统一标记为超时，等待后续的处理。

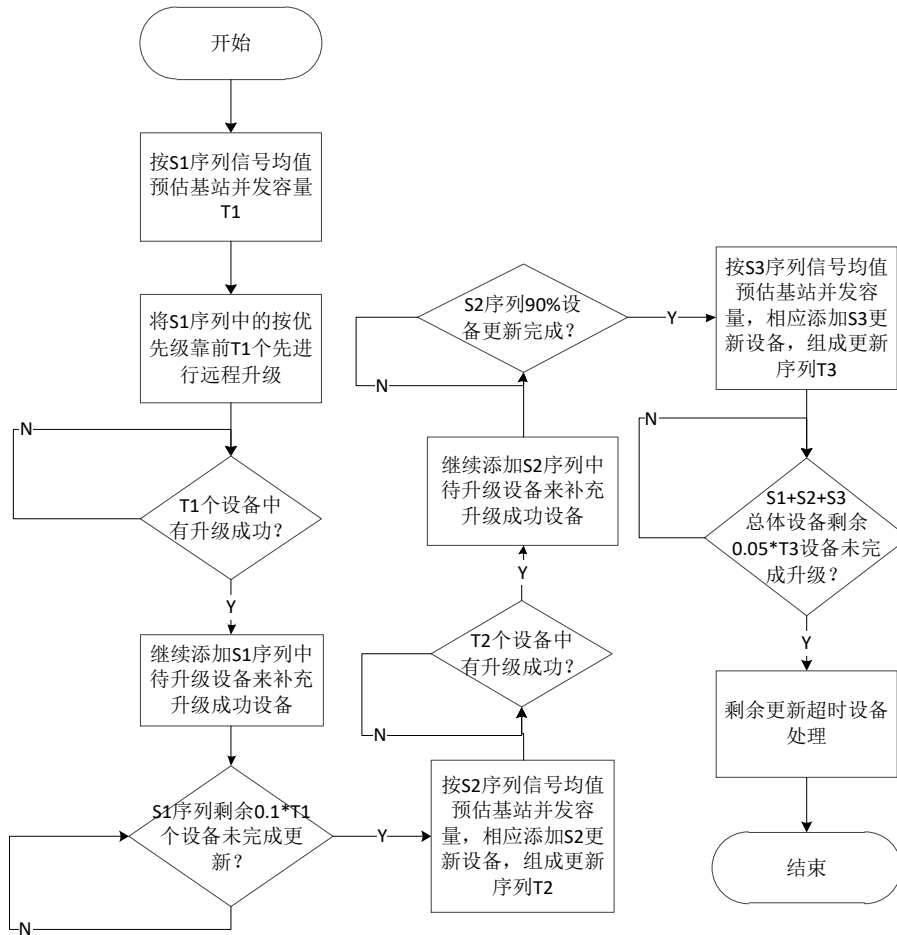


图 4.11 并发容量动态调整过程

4.4.4 升级失败处理

图 4.12 所示, 升级失败的设备单独处理过程。首次升级失败的设备会尝试再次升级, 若还是无法升级则会对这些设备具体分析, 由设备的 RSRP、SINR 等信息来分析升级失败原因, 分为以下几种类型:

类型 1, 若单个设备升级后执行重启未能及时连接上网络, 其升级成功信息没有及时与云端同步, 导致的后续查询版本号相同的情况, 则可认定为升级成功;

类型 2, 若单个设备在升级过程中由于网络波动, 信号质量不稳定导致升级中断, 则可以尝试再次升级;

类型 3, 若单个设备在升级过程中由于用户中断或异常信息上报发生的上下行数据抢占带宽等异常情况, 可设置随机时间自动执行后续升级;

类型 4, 若单个设备无任何异常信息且网络正常情况下, 可判定设备异常, 需由人为处理。

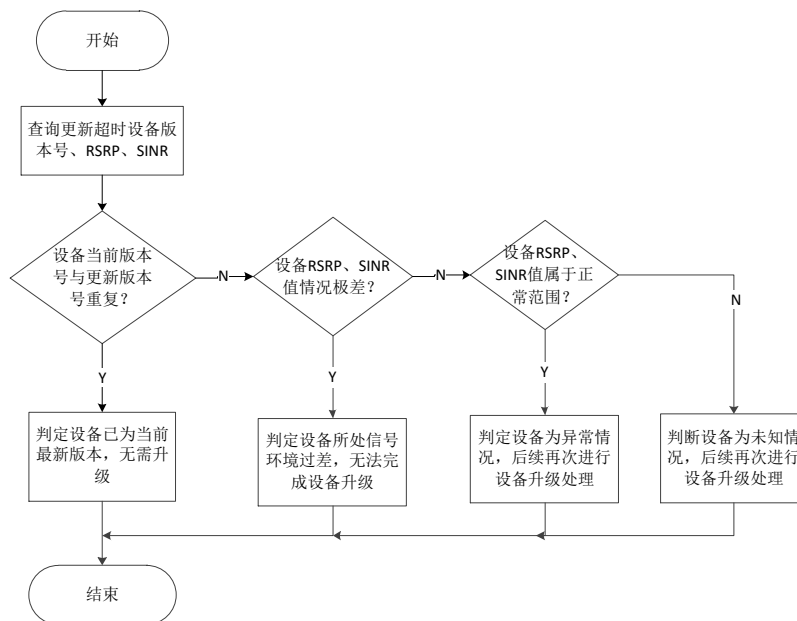


图 4.12 升级失败处理流程

4.5 性能测试

4.5.1 测试前准备

如下图 4.13 和图 4.14 所示, 升级测试前的准备工作, 由于实际的测试板比较少, 又申请了一批已安装正常使用的净水器设备作为测试, 图 4.14 中在云平台上展示了部分已经安装后的设备, 选择安装区域较集中的设备, 加上现有的几块测试板一共 100 台净水器主控板进行升级测试。选择不同的时间段进行升级测试, 以不同时间段来模拟不同的基站网络状况, 对比固定并发量的升级方式, 记录批量升级过程中一次升级失败的数量, 以及完成整体升级任务所消耗时长对比。



图 4.13 测试前准备的净水器硬件板

设备ID	IMEI	创建时间	上线时间	状态	操作
a11c931e4d7447...	869858032079486	2020-01-09 12:26:07	2020-11-12 09:14:36	已激活	   
708713a9f87642...	869858032105026	2020-01-09 12:25:26	2020-10-22 01:07:06	已激活	   
8b983cfa123d48...	869858032081607	2020-01-09 12:24:56	2020-11-14 18:15:32	已激活	   
a03b5db5c4f346...	869858032096118	2020-01-09 12:24:21	2020-11-13 01:01:52	已激活	   
44a23f9ae1d942...	869858032089501	2020-01-09 12:23:46	2020-11-09 12:43:17	已激活	   

图 4.14 部分已安装的在线设备

4.5.2 添加升级任务

净水器设备主控板在出厂时需上电并通过串口转 USB 与上位机建立连接，上位机通过 HTTP 请求向后台获取 SN 编号后并将净水器设备的主控板信息传递给后台，后台将所有信息打包转换成 JSON 格式后以同样的方式向 OneNet 云平台发起创建新设备的请求，成功之后云平台返回新设备的 deviceId，上位机再将该 deviceId 通过串口传递给净水器主控板，主控板收到信息后将 deviceId 存储到本地 FLASH 中的固定位置，后续 NB 联网时以 deviceId 作为鉴权信息与云平台建立连接；SN 编号是作为后台统一管理净水器设备的唯一标识，deviceId 是作为云平台统一管理净水器设备的唯一标识。如图 4.15 所示，新设备在创建后由后台管理的列表展示。



图 4.15 净水器新设备创建管理界面

升级任务需要在云端上传用于升级的版本固件，并且设置升级的一些参数，之后配合后台同步升级信息，由上位机向后台请求待升级的所有净水器设备信息，如下图 4.16 所示：

创建升级任务

* 任务名称

测试

* 升级包版本

V1.7

任务描述

集中升级测试

确定

取消

图 4.16 云端升级任务添加

图 4.17 所示，测试中创建的历史任务，通过云平台客户端管理该账户下的所有净水器设备，可选择任意数量的设备创建升级任务，将待升级的设备添加到任务列表中，以执行升级任务。

任务ID	任务名称	升级包版本号	任务状态	操作
31463	test	V1.7	已完毕	 
31462	test	V1.7	已完毕	 
31461	test	V1.7	已完毕	 
32423	test	V1.7	进行中	  
31446	test	V1.7	进行中	  
32422	test	V1.7	进行中	  
32421	test	V1.7	进行中	  
32420	test	V1.7	未执行	    

图 4.17 云端创建的历史升级任务

同样也可由上位机添加升级任务，如下图 4.18 和图 4.19 所示。后台管理账户信息，登录上位机可获取到该管理员账户下所有的净水器设备信息，可自行添加需要升级的设备或进行一键批量升级，其通信方式由上位机发起，去获取后台保存的净水器设备列表，将其展示在上位机客户端，之后通过选择待升级设备，调用云平台创建升级任务的 API 接口，向云平台传递升级的设备，其单台净水器设备升级过程中的具体信息还是通过云平台进行查看。



图 4.18 升级管理客户端登录界面

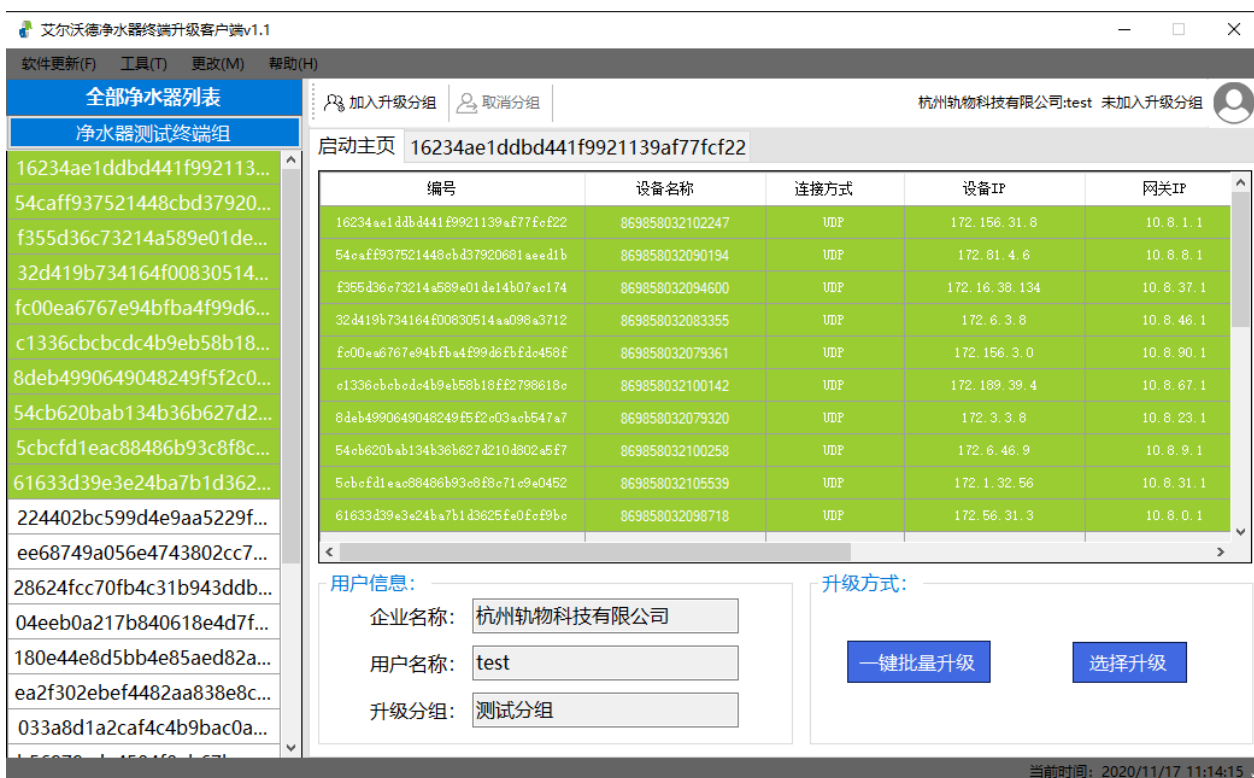


图 4.19 净水器设备升级展示

4.5.3 测试结果分析

如图 4.20 中,设备 ID 为 3fe67df2378f447e879d76fe87828 的设备模拟了一次用户强制操作的过程,导致该台设备的升级任务被取消掉,后续等所有升级任务结束后会再次处理这些被取消的升级任务。

IMEI	设备ID	升级前版本号	升级后版本号	升级状态	升级结果
86985803726366	3fe67df2378f447e87f8e9d76fe87828			查询设备版本号	升级已取消
86985803726556	b28c8343fede49248e805d2075368...	V1.5	V1.8	通知升级结果	升级成功
869858032088875	db2606edc5604c37b07caf73d71a2...	V1.5	V1.8	通知升级结果	升级成功
86985803723736	5a9b48381d6840c18d150ed2e0c48...	V1.5	V1.8	通知升级结果	升级成功
869858032081706	70b7c6b0635841be8c95f0944dcc1...	V1.5	V1.8	通知升级结果	升级成功

图 4.20 模拟用户强制操作

正常升级时，由于网络波动或者过多设备同时升级会导致部分设备在发送请求升级的指令之后就处于离线状态，出现这种现象的原因是由于所有设备同时升级导致的网络带宽被占用，如图 4.21 所示。

设备名称	IMEI	设备ID	升级前版本号	升级后版本号	升级状态	升级结果
869858032102247	869858032102247	16234ae1ddb441f9921139af77f22	V1.4	V1.7	通知升级结果	升级成功
869858032090194	869858032090194	54caff937521448cbd37920681aedd1b	V1.4		查询设备版本号	发送请求成功
869858032094600	869858032094600	f35d36c73214a589e01de14b07ac...	V1.4	V1.7	通知升级结果	升级成功
869858032083355	869858032083355	32d419b734164f00830514aa098a3...	V1.4	V1.7	通知升级结果	升级成功
869858032079361	869858032079361	fc00ea6767e94bfa4f9d6fbdc458f	V1.4		请求升级包	发送请求成功
869858032100142	869858032100142	c1336cbcbcdc4b9eb58b18ff2798618c	V1.4	V1.7	通知升级结果	升级成功
869858032079320	869858032079320	8deb4990649048249f5f2c03ac6547a7	V1.4	V1.7	通知升级结果	升级成功
869858032100258	869858032100258	54cb620bab134b36b627d210d802a...	V1.4		请求升级包	发送请求成功
869858032105539	869858032105539	5cbcf1eac88486b93c8f8c71c9e0452	V1.4	V1.7	通知升级结果	升级成功
869858032098718	869858032098718	61633d39e3e24ba7b1d3625f0fc9bc	V1.4	V1.7	通知升级结果	升级成功

图 4.21 网络带宽占用部分设备请求不成功

结合后台动态调节并发容量的优化和净水器终端的硬件配合，初步测试部分设备升级成功率较高，如图 4.22 所示。

设备名称	IMEI	设备ID	升级前版本号	升级后版本号	升级状态	升级结果
869858032089386	869858032089386	2640bcecc8174f08b3cd82e2f72f7bc3	V1.4	V1.7	通知升级结果	升级成功
869858032099971	869858032099971	aca9b1022b804fb9b6b3abe66fa597...	V1.4	V1.7	通知升级结果	升级成功
869858032106248	869858032106248	734940fca3834b35acd0cb0825176...	V1.4	V1.7	通知升级结果	升级成功
869858032096886	869858032096886	ee1cbade03884b1982124564f18c6...	V1.4	V1.7	通知升级结果	升级成功
869858032106891	869858032106891	d23706b0af5d496ead6e260c49c30...	V1.4	V1.7	通知升级结果	升级成功
869858032104573	869858032104573	7a363aa59d574d85882ca0ee4438d...	V1.4	V1.7	通知升级结果	升级成功
869858032104581	869858032104581	f2acf74eaffc48e3b356d7889a80bcf1	V1.4	V1.7	通知升级结果	升级成功
869858032097777	869858032097777	4cbe4601fcb741189f3aefe2c5a71456	V1.4	V1.7	通知升级结果	升级成功
869858032084213	869858032084213	4966124431f34949abff57afa00368d6	V1.4	V1.7	通知升级结果	升级成功
869858032082498	869858032082498	4155dbd225f54c2983ef4bfc4f6b336	V1.4	V1.7	通知升级结果	升级成功

图 4.22 优化升级过程

通过以上测试结果分析，基于集中型净水器终端批量升级的优化方法，在动态分配设备升级方面结合网络环境，一定程度上提高了设备单次升级成功的概率。表格 4.2 所示，不同时间段升级任务完成情况。

表格 4.2 测试结果对比

时间 段	固定并发测试						动态调节测试					
	固定 并发 量	单次 升级 成功 量	二次 升级 成功 量	总耗时 (单 位: 秒)	结果	成功 率	动态 并发 量	单次 升级 成功 量	二次 升级 成功 量	总耗 时 (单 位: 秒)	结果	成功 率
09:00	100	78	19	636s	未完 成	97%	89/100	93	7	457s	完成	100%
12:00	100	76	3	1372s	未完 成	79%	51/53	81	19	484s	完成	100%
16:00	100	71	1	1361s	未完 成	72%	44/48	86	10	658s	未完 成	96%
20:00	100	59	3	1672s	未完 成	62%	23/28	75	16	953s	未完 成	91%
23:00	100	86	14	503s	完成	100%	99/100	100	0	429s	完成	100%

针对表格 4.2 中得数据对比, 固定并发测试在晚上 11 点左右的升级任务可完成, 其他时间段由于其他通信设备占用带宽, 网络环境不好, 严重影响了正常升级任务的进行; 与动态调节测试对比, 虽有两次升级都未完成的任务, 但整体较固定并发测试成功率明显提高。

由上表中看出在晚上 8 点左右的网络环境是最不好的, 单次的测试不能完全代表实验结果, 故针对该时间段进行多天的连续测试, 测试结果由表格 4.3 所示。

表格 4.3 固定时间段测试结果

时间 段	固定并发测试						动态调节测试					
	固定 并发 量	单次 升级 成功 量	二次 升级 成功 量	总耗时 (单 位: 秒)	结果	成功 率	动态 并发 量	单次 升级 成功 量	二次 升级 成功 量	总耗 时 (单 位: 秒)	结果	成功 率
20:00	100	62	11	1591s	未完 成	73%	84/53	89	11	538s	完成	100%
20:00	100	43	13	1658s	未完 成	56%	33/35	84	9	785s	未完 成	93%
20:00	100	55	5	1672s	未完 成	60%	42/49	73	16	953s	未完 成	89%

表格 4.3 中针对同一时间段的测试,动态调节测试完成的升级任务成功率都在 90%左右,虽然未能 100%完成升级任务,但后续会针对失败原因尝试再次升级,而固定并发的方式需要管理员去反复执行重新升级。

综上两表所示,动态调节测试总体减少了整体升级任务的总耗时长,根据表格记录测试结果来看,动态调节的成功率相比总体提高了 30%左右,且设备单次升级成功率也有显著提高,达到该净水器系统设计的初衷,实现了设计目标,减少了远程运维的工作量。

4.6 本章小结

本章提出了一种集中型大规模 NB-IOT 终端设备固件升级的优化方法,针对集中型设备并发升级成功率低的情况设计了动态调整并发容量进行升级的方法,以此提高了固件升级的成功率同时减少了升级损耗的时间,最后对优化机制进行了测试验证。

第5章 总结与展望

5.1 总结

物联网技术的发展带来了更多家居产品的智能化联网，提升了用户的使用体验，同时智能控制的应用帮助用户快速定位故障原因，减轻了用户的使用负担。本文针对目前智能净水器水质检测精度不高，不能及时判断滤芯寿命的使用期限，水质过滤后的效果无法得到验证，以及售后出现故障维护困难等现象，提出了一套基于 NB-IOT 物联网技术的净水器系统改进方案，自带温度补偿，双 TDS 值验证滤芯实际使用期限，加入第三方云平台的数据管理以及 APP 操作，远程操控净水器系统等。

基于 NB-IOT 的净水器系统根据实际市场需求，设计并实现了智能系统，对本系统所做的工作总结如下：

1)分析目前净水器存在的缺陷：网络通信方面，使用 WIFI 的联网技术使得净水器系统过于依赖家庭网络，并且家庭网络环境过于复杂，无法保证其他设备占用带宽的情况下净水器系统还能正常的上下行数据；滤芯使用期限预测方面，过于依赖人为判断，无法估计用水量等信息，人为更换滤芯无法做到物尽其用或者长期过度使用滤芯造成水质严重变差而影响人体健康；管理员方面，基于 NB-IOT 网络的特性，无法实现大规模集中型设备的同时升级，升级失败率过高；

2)针对 TDS 值检测精确度不高的问题，本文提出了多频双极性自带温度补偿的 TDS 检测方式，多频双极性的方式消除了由 TDS 探头长期在水中通电发生的电解电离现象以及电容效应等，自带温度补偿了不同温度下电导率值的变化影响，对后续系统依靠多种条件的共同作用预测滤芯的实际使用期限提供了有力依据；

3)系统方面，实现反馈式的控制系统，搭建异常报警和自动尝试恢复异常的功能实施方案系统，本地计算和存储用水量数据以及滤芯消耗剩余寿命，减少上传云平台数据量和减轻云平台的计算量，设计了滤芯到期提醒及长时间无人反馈的强制锁机机制，结合净水器整个控制环节，涉及异常处理（安全性）、数据上行和下行（网络稳定性）；

4)针对设备售出的分布地区比较广泛，且同地区设备分布规模大小不一，导致在设备高聚集的情况下，由区域性通信数据高度集中导致的远程固件升级成功率大大降低。设计了一种集中型大规模 NB-IOT 终端固件升级的方法，对设备接入的小区基站进行编号，基于滑动窗口的思想，充分利用有限带宽动态预测终端升级的并发数量。并且实际模拟了大规模升级情况，根据模拟情况的表现，大大增加了设备升级的成功率，比优化之前平均提高了 30% 的升级成功率。

5.2 展望

本文中基于 NB-IOT 物联网技术的净水器系统基本满足了用户的使用，并提升了用户的使用体验，但由于开发周期相对较短，对于净水器系统的控制优化还存在不足之处，以及其他家庭设备没有做到联动控制，再加上个人经验不足，整个系统还可能隐藏漏洞，故在该系统上还需要进行更加安全和稳定的优化：

1) 对 NB-IOT 的网络架构研究不深，还停留在应用的层次，没有在净水器系统上完全发挥 NB 网络的优势，无法保证网络通信的实时性，净水器设备端出现联网失败情况时只是简单进行网络重启，未查找联网失败的原因；

2) TDS 值检测中，没有对水溶液中发生的电解电离现象具体深入研究，以及对极化现象和电容效应没有系统化的认知，只根据前人的经验通过自己的方式进行优化和验证；

3) 个人对网络通信中的架构认知不足，对净水器系统产生的数据只是通过前人封装好的 API 进行调用，内部的 ISO 模型没有实际了解，导致在净水器系统与云平台通信中无法优化数据上下行的实时性。

致谢

时光飞逝，转眼间我的研究生生涯即将画上一个句号，回想起这三年来的历程，掺杂着主动的吃苦与实际的磨练，但到最后最重要的还是一路走下来的收获与一次次尝试的经验积累。在即将完成的论文中承载着我这三年的收获与老师对我培养的心血，以及杭电对我求学之路上提供的学习环境。

首先，我要感谢我的导师陈科明教授。他学识渊博，治学严谨，才思敏捷，工作勤勉，深深影响了我。无论是学习，工作还是精神上，陈老师都为我提供了宝贵的经验。这也为我提高专业的知识与技能打下夯实的基础。此次论文写作，无论是选题、立新还是定稿，陈老师都严格要求。正是这样的严格负责才让我能一直朝着目标前进，让我在学习上收获颇丰。三年的师生情谊让我耳濡目染，陈老师让我看到了一名专业人士应该具备的责任与态度。在今后的日子里，我也会牢记陈老师的教诲，争做一名优秀的杭电人。

感谢我的父母以及我的同门俞锋、檀宇、安建伟、王弈怡、吴新虎、郑杭明、司端杨、杜坤。感谢我们一起进步一起团结合作的时光，感谢在我失意时对我的鼓励，论文上给我的建议。

感谢我的师兄吴耀增，在我研究生的科研过程中给我的帮助，指导我完成科研项目的调研工作并耐心教我科研项目上的细节性工作。

感谢论文评阅和答辩委员会的老师，感谢你们的耐心，我一定会悉心听取你们宝贵的意见并积极改正。

最后，由衷的祝愿所有人，工作顺利，万事如意，接下来我们一起迎接更美好的明天！

参考文献

- [1] 李蓉琳. 中国水资源管理创新研究[J]. 经济研究导刊, 2020(25):152-153.
- [2] 徐丹, 王双银, 甘治国, 白云岗. 基于改进层次分析法的突发水污染事故风险分析[J]. 水利水电技术, 2020,51(10):159-166.
- [3] 李福利. 基于可持续发展的水资源保护措施[J]. 农业与技术, 2020,40(20):126-127.
- [4] 王蕾. 加强水资源在可持续利用方面的研究[J]. 中国新技术新产品, 2014(11):183.
- [5] 赵海华. 《水资源利用与保护》课程理论教学体系改革与探讨[J]. 教育教学论坛, 2014(19):34-35.
- [6] 石莎. 移动互联网安全认证及安全应用中若干关键技术研究[D]. 北京邮电大学, 2012.
- [7] 刘陈, 景兴红, 董钢. 浅谈物联网的技术特点及其广泛应用[J]. 科学咨询(科技·管理), 2011(09):86.
- [8] 贾益刚. 物联网技术在环境监测和预警中的应用研究[J]. 上海建设科技, 2010(06):65-67.
- [9] 晨曦. 说说物联网那些事情[J]. 今日科苑, 2011(20):54-59.
- [10] 陈天超. 物联网技术基本架构综述[J]. 林区教学, 2013(03):64-65.
- [11] 余伟婷. 《2018-2019 中国物联网发展年度报告》发布[J]. 物联网技术, 2019(9):3.
- [12] Tan L, Wang N. Future internet: The internet of things[C]//2010 3rd international conference on advanced computer theory and engineering (ICACTE). IEEE, 2010, 5: V5-376-V5-380.
- [13] 刁一峰, 刘丽萍, 陈灿, 杨培刚, 陈为, 陈琼. 基于物联网技术的净水机运行状态监控系统设计[J]. 食品与机械, 2016,32(09):88-90+171.
- [14] 王敏洁. 净水器多终端控制系统的设计与实现[D]. 东南大学, 2018.
- [15] 刘小军. 嵌入式工业净水设备的控制系统研究与设计[D]. 贵州大学, 2017.
- [16] Renping Zhang. A Brief Analysis of Domestic Water Purifier Market Status and Marketing Plan -- Taking Angel Water Purifier as an Example. 2020, 7(5).
- [17] Wenfang Lin, Chengsong Ye, Lizheng Guo, et al. Analysis of microbial contamination of household water purifiers. 2020, :1-13.
- [18] Elsa S. du Toit, Joseph Sithole, Juan Vorster. Pruning intensity influences growth, flower and fruit development of *Moringa oleifera* Lam. under sub-optimal growing conditions in Gauteng, South Africa. 2020, 129:448-456.
- [19] 万剑. 基于 GPRS 的远程状态监测技术研究[D]. 天津大学, 2011.
- [20] 黄华晋, 秦建息. 基于 WiFi 技术的室内定位系统设计[A]. 广西计算机学会. 广西计算机学会 2015 年学术年会论文集[C]. 广西计算机学会:广西计算机学会, 2015:5.
- [21] 杨明. 小型化多频段宽带 4G/5G 手机天线和基站天线的研究与设计[D]. 安徽大学, 2019.

- [22]杨永忠,牛小勇. 蜂窝网络基础上的物联网关键技术及业务应用[J]. 电子技术与软件工程, 2016(18):28.
- [23]牟泓彦. 面向 NB-IoT 终端定位的时延估计算法研究[D]. 重庆邮电大学, 2019.
- [24]廉殿斌. 物联网时代的技术发展[J]. 信息与电脑(理论版), 2017(16):170-172.
- [25]石浩. TD-SCDMA 网络中 IUR-G+接口分析与测试[D]. 北京邮电大学, 2012.
- [26]白若琛, 庞成鑫, 贾佳, 邱曙光, 邵嘉, 卢小姣. 多协议融合 LPWAN 能源物联网云平台的设计[J]. 计算机科学, 2019,46(S1):589-592.
- [27]李洪, 张雪凡, 徐俊超. NB-IOT 智能井盖通信机制的低功耗分析[J]. 电子测量技术, 2019,42(10):141-145.
- [28]石美宪, 果敢, 崔斌. TD-SCDMA 终端耗电性能测试浅析[J]. 通信世界, 2008(24):54-55.
- [29].Electronics - Electronics and Communications; New Electronics and Communications Findings Has Been Reported by Investigators at Aalborg University (Trusted Wireless Monitoring Based On Distributed Ledgers Over Nb-iot Connectivity)[J]. Telecommunications Weekly,2020.
- [30]陈斌. 电容式触摸按键设计与专用芯片应用[J]. 电子世界, 2014(16):281.
- [31]瑞萨电子超低功耗微控制器对带 LED 和 LCD 显示屏的电容式触摸按键应用进行优化[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2018,18(01):94-95.
- [32]乔九印. 饮用水水质 TDS 检测终端的设计与技术研究[D]. 西安电子科技大学, 2015.
- [33]刘铁群. TDS 检测电路探讨[J]. 电器, 2013(S1):874-878.
- [34]秦平. 在线多参数水质检测系统的设计[D]. 西安电子科技大学, 2017.
- [35].Motasem N. Saidan,Mohammad Al-Addous,Radwan A. Al-Weshah,Ibrahim Obada,Malek Alkasrawi,Nesrine Barbana. Wastewater Reclamation in Major Jordanian Industries: A Viable Component of a Circular Economy[J]. Water,2020,12(5).
- [36]孙应伦. 数形结合解决水溶液中的离子平衡图象问题[J]. 教学考试, 2019(23):35-37.
- [37]黄凯明. 滑动平均数字滤波参数研究[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2006(04):381-384.
- [38]赵毅. 数字滤波的滑动平均法和低通滤波法[J]. 仪表技术, 2001(05):40-46.
- [39]周翔. 滑动平均滤波算法在超声波探伤仪中的应用[J]. 武汉职业技术学院学报, 2018,17(06):98-100.
- [40]武泽东. TDLAS 系统中谐波小波包解调和小波移动平均滤波算法研究[D]. 东北石油大学, 2019.
- [41]刘从柏, 高月, 黄慧媛. NB-IoT 网络关键性能能力及业务需求分析[A]. 中国通信学会无线及移动通信委员会. 2017 全国无线及移动通信学术大会论文集[C]. 中国通信学会无线及移动通信委员会:中国通信学会, 2017:4.
- [42]张均宝. 未来就绪的信息系统架构[M]. ., 201508. .

- [43]李远哲, 贺海文, 万丽, 李妍, 赵峰. 嵌入式系统大容量 NAND Flash 存储器分区管理设计[J]. 计算机测量与控制, 2019,27(02):212-215+220.
- [44]. Electronics; New Findings from Samsung Electronics Co. in the Area of Electronics Reported (2r: Efficiently Isolating Cold Pages In Flash Storages)[J]. Electronics Newsweekly,2020.
- [45]贾鑫, 张少平. 基于贪婪策略的 NAND FLASH 存储器的磨损均衡算法研究[J]. 计算机科学, 2017,44(S2):312-316.
- [46]陈成. NB-IoT 终端软件远程自动更新技术研究及应用[D]. 苏州大学, 2019.
- [47]孟辉, 潘炼. 基于 μ C/OS- II 的嵌入式设备远程程序升级的实现 (英文)[J]. Journal of Measurement Science and Instrumentation,2014,5(03):69-72.
- [48]付超, 余本功. 嵌入式无线移动设备的开放式远程现场升级[J]. 计算机工程与应用, 2007(01):3-5+15.
- [49]. Information Technology - Data Storage; Petrozavodsk State University Researchers Advance Knowledge in Data Storage (Mathematical Models of Reliability, Performance and Cost of an All-Flash Storage)[J]. Journal of Mathematics,2020.

附 录

作者在读期间发表的学术论文及参加的科研项目

参加的科研项目：

- [1] *消防 LORA/NB-IOT 产品及 LORA 无线系统开发，横向课题
- [2] *智能健康蒸汽房系统，横向课题

发表的专利：

- [1] 一种实现MCU Flash存储器擦写损耗均衡的方法 中国专利，申请公布号：CN111813706A，2020-10-23.