

分类号: TP181

单位代码: 10300

密 级: \_\_\_\_\_

学 号: 20191223096

# 南京信息工程大学

## 硕士专业学位论文



### 基于 NB-IoT 的设施温室监控系统的研究

### Research on greenhouse Monitoring system

### based on NB-IoT

申请人姓名: 皇甫姗姗

指导教师: 朱节中教授

类别名称: 电子信息

领域名称: 控制工程

培养学院: 自动化学院

提交时间: 2022 年 6 月 20 日

二〇二二年六月



# 目 录

摘 要.....	I
Abstract .....	II
第一章 绪论.....	1
1.1 研究背景与意义.....	1
1.2 国内外研究现状.....	2
1.2.1 智能温室研究概况.....	2
1.2.2 NB-IoT 技术研究概况 .....	4
1.3 主要研究内容.....	5
1.4 章节安排.....	6
第二章 基于物联网云平台的系统架构.....	8
2.1 物联网云平台技术分析 .....	8
2.1.1 物联网体系架构.....	8
2.1.2 物联网云平台的层次模型和逻辑架构.....	10
2.2 基于物联网云平台的监控系统架构设计 .....	12
2.2.1 系统可行性分析.....	13
2.2.2 系统功能需求分析 .....	13
2.2.3 整体架构设计 .....	13
2.3 基于物联网云平台的系统总体设计.....	14
2.3.1 系统设计要求.....	14
2.3.2 整体设计方案.....	15
2.3.3 数据采集单元模块设计 .....	16
2.3.4 用户管理监测界面 .....	16
2.4 基于物联网云平台的监控系统架构优势分析.....	17
2.5 本章小结 .....	17
第三章 NB-IoT 技术及云服务框架 .....	19
3.1 物联网监控系统通信方式研究.....	19
3.1.1 无线通信方式的对比.....	19

3.1.2	MQTT 通信协议设计 .....	20
3.2	NB-IoT 技术分析 .....	22
3.2.1	NB-IoT 技术特点 .....	22
3.2.2	NB-IoT 的网络架构 .....	24
3.2.3	NB-IoT 的部署模式 .....	25
3.3	云服务框架设计 .....	26
3.4	本章小结 .....	29
第四章	系统硬件设计与实现 .....	30
4.1	系统硬件总体设计 .....	30
4.2	主控系统 .....	31
4.3	各模块硬件设计 .....	33
4.3.1	电源模块 .....	33
4.3.2	通信模块 .....	34
4.3.3	温湿度监测模块 .....	35
4.3.4	光照强度监测模块 .....	36
4.3.5	CO <sub>2</sub> 浓度监测模块 .....	37
4.4	本章小结 .....	38
第五章	终端层软件设计与实现 .....	39
5.1	软件总体工作流程 .....	39
5.2	环境监控模块程序设计 .....	40
5.2.1	温湿度监测程序设计 .....	40
5.2.2	光照强度监测程序设计 .....	41
5.2.3	CO <sub>2</sub> 浓度监测程序设计 .....	41
5.3	无线通信软件设计 .....	42
5.3.1	NB-IoT 驱动设计 .....	42
5.3.2	AT 指令发送与接收 .....	43
5.3.3	数据无线传输设计 .....	45
5.4	本章小结 .....	47
第六章	监控管理平台设计与系统测试 .....	48
6.1	云端环境配置 .....	48

6.1.1	物联网云平台配置 .....	48
6.1.2	云服务器搭建 .....	50
6.1.3	数据库设计与搭建 .....	51
6.2	监控界面的设计 .....	53
6.2.1	用户登录模块 .....	53
6.2.2	实时监测显示模块 .....	54
6.2.3	历史数据查询模块 .....	55
6.3	系统测试 .....	55
6.3.1	终端设备测试 .....	55
6.3.2	AT 指令测试 .....	55
6.3.3	物联网云平台侧功能测试 .....	56
6.3.4	监控界面测试 .....	57
6.4	本章小结 .....	59
第七章	总结与展望 .....	60
7.1	工作总结 .....	60
7.2	未来展望 .....	60
致 谢	.....	62
参考文献	.....	63
攻读学位期间发表的论文及其他成果	.....	66

## 摘 要

针对我国设施温室环境因子的调控和控制管理技术中存在的一些问题,本文的研究内容是以无线传感网络技术、物联网技术、近距离无线传输技术、云服务等技术来实现感知设施温室的环境因子信息,并完成信息采集后的稳定传输与储存显示。本文设计的设施温室环境监控系统可以基本实现对环境因子的采集、监测与控制,通过 web 可视化监控界面管理平台实时监测环境参数,让用户更直观便捷的看到环境因子的变化。通过无线通信模块传输至物联网平台,利用云平台大连接、统一管理的优势,实现对设施农业生态各环境参数的实时监测及控制。

首先,对设施温室内植物的成长需求进行分析和实现技术的可行性分析,对物联网云平台技术进行分析,对物联网的三层体系架构逐层分析,并提出适合当前物联网终端的四层物联网监控架构;并对物联网云平台的层次模型与逻辑架构进行详细分析,根据系统的功能需求提出了基于云平台的整体架构设计;

接着,通过对比多种通信方式,根据优势分析选择 NB-IoT 作为本系统的通信方式,采用 MQTT 协议作为 NB-IoT 与云平台之间的数据通信协议,实现 NB-IoT 通信任务、数据采集任务、数据存储任务、设备执行任务,以及历史数据查询任务等软件设计;

最后,以一个设施温室为应用场景,通过系统的终端硬件和软件程序设计、通信设计、云平台的配置、相关云服务和数据库的搭建与设计,搭建了设施温室环境监控系统的人机交互平台,实现设备管理、数据存储、实时监测、历史数据图表展示、远程控制等功能;并对系统进行全方面测试与分析,验证系统数据传输与各部分功能,结果表明基于 NB-IoT 和物联网云平台完成系统的整体结构设计,使系统整体结构模块化,明显提高了系统的可靠性、实用性及稳定性。

**关键词:** NB-IoT, MQTT, 设施温室, 物联网云平台

## Abstract

In view of some problems existing in the regulation, control and management technology of environmental factors of facility greenhouses in China, the research content of this paper is to realize the perception of environmental factor information of facility greenhouses by using wireless sensor network technology, Internet of things technology, short-range wireless transmission technology, cloud service and other technologies, and complete the stable transmission, storage and display after information collection. The facility greenhouse environmental monitoring system designed in this paper can basically realize the collection, monitoring and control of environmental factors, and monitor environmental parameters in real time through the web visual monitoring interface management platform, so that users can see the changes of environmental factors more intuitively and conveniently. It is transmitted to the Internet of things platform through the wireless communication module, and the advantages of large connection and unified management of the cloud platform are used to realize the real-time monitoring and control of various environmental parameters of facility agricultural ecology.

Firstly, it analyzes the growth needs of plants in the facility greenhouse and the feasibility of the implementation technology, analyzes the cloud platform technology of the Internet of things, analyzes the three-tier architecture of the Internet of things layer by layer, and puts forward a four tier Internet of things monitoring architecture suitable for the current Internet of things terminals; The hierarchical model and logical architecture of the Internet of things cloud platform are analyzed in detail, and the overall architecture design based on the cloud platform is proposed according to the functional requirements of the system;

Then, by comparing various communication modes, NB-IOT is selected as the communication mode of the system according to the advantage analysis, and mqtt protocol is used as the data communication protocol between NB-IOT and cloud platform to realize the software design of NB-IOT communication task, data acquisition task, data storage task, equipment execution task, historical data query task and so on;

Finally, taking a facility greenhouse as the application scenario, through the terminal hardware and software program design, communication design, cloud platform configuration, relevant cloud services and database construction and design of the system, a man-machine

interaction platform of the facility greenhouse environmental monitoring system is built to realize the functions of equipment management, data storage, real-time monitoring, historical data chart display, remote control and so on; The results show that the overall structure design of the system is completed based on Nb IOT and Internet of things cloud platform, which modularizes the overall structure of the system and significantly improves the reliability, practicability and stability of the system.

**Key words:** NB-IOT, MQTT, facility greenhouse, Internet of things cloud platform



## 第一章 绪论

### 1.1 研究背景与意义

在万物互联数字化经济蓬勃发展的新时代，5G 网络建设进入高潮，5G 网络、云计算、边缘计算与千行百业的深度融合成为大势所趋。数据在感知网络中采集、传输、汇聚，成为核心生产资料；新型网络从连接到连接物，进入大连接时代。政府及企业对于安全的需求也顺应上述变化，正在从单点的产品向联动智能的整体解决方案转移。

近十几年来，国家大力支持农村开展乡村振兴战略，一大批田园综合体、现代农业园等项目拔地而起，通过项目的建设促进了乡村产业的融合，带动农业农村发展，促进农民增收，同时丰富百姓的精神文明生活，并实现乡村振兴。田园综合体、现代农业园等项目在打造产业链时以高科技智能温室为代表设施农业得到广泛应用，但在实际应用中也是喜忧参半，参差不齐<sup>[1-2]</sup>。

在当前我国农村、城市城乡结合部，传统的塑料薄膜大棚、砖混等温室大棚最常见，这些温室大棚结构相对简陋、缺乏技术含量，但是因为它材料成本低、搭建方便，村民自己就可以搭建。这种温室大棚，虽简易成本低，但是保温能力、抗压能力、温控管理、生产效率等方面也非常的差。以泥土堆砌的棚体，厚重且占地面积大，不仅缩小了大棚净种植面积，而且泥土容易被雨雪冲刷。而竹木类大棚由于骨架结构较为简单，抗风雪能力较弱，室内带有立柱，影响了内部操作空间。这些低端的大棚在育苗、授粉、温控、采摘等日常管理上需要耗费大量人力、物力，生产效率非常差，停留在落后阶段，完全不能满足现代农业产业化发展的实际需要。

由上述分析可知，当前存在的一些半自动化温室监控系统，是无法满足新时代设施温室的监控需求的，比如实时性、精确性、科学性都得不到满足。因此实现智能化、人性化、精准化、高效化才是现代智能温室发展亟待解决的问题。

随着我国农业技术水平不断发展，特别是近几年来，随着国际交流的增多，通过整合引进国外先进的温室建造技术、无土栽培技术以及工厂化种植理念，结合国内的生产实际，在不断的生产实践中，逐步形成了适合我国实际情况的新型智能温室大棚模式，并兼顾生态乡村旅游产业的引导发展。新型的智能温室大棚，在现代农业生产中具有明显的六大优势：外表美观大方、空间大；应用广泛，扩展功能强；技术含量高，管理精准化；节省人工，生产效率高；社会效益显著；提高经济效益。

设施温室与传统人工控制的农业温室相比，明显的优势为外围保护结构搭建完善，可以通过一些智能控制手段对温室内环境因子进行智能化监测与调控，进一步改善不适的作物生长环境，打破了非应季植物的气候需求以及特殊的地域需求。在提高产量的同时，节约了人力资源、物力资源和土地面积等，进而达到在条件不适宜的情况下进行农业生产，提高农业生产的社会经济效益的目的。设施农业中农作物的生产周期、生长发育和产量高低与光照、温度、湿度、CO<sub>2</sub> 浓度等有着密切关系。对农业环境要素的变化特点及相关调控和应用技术展开相关研究，具有重要的现实意义。

## 1.2 国内外研究现状

### 1.2.1 智能温室研究概况

温室经历了从原始温室大棚到人工升温、灌溉、通风等，在进入信息化时代初期，就有了自动化控制温室。现在进入了万物互联时代，物联网、云计算、人工智能等技术层出不穷，使得温室控制进入到了智能时代。

#### (1) 国外研究现状

温室在国外的开端可追溯至公元时期，公元二千多年前便有了最简单的温室雏形。近百年来，英法德等西方国家从简单温室种植非应季水果，到玻璃温室生产非应季蔬菜。温室控制技术也随着科技的发展不断进步，影响范围不断扩大，很快温室便被传入世界各地。第三次科技革命爆发于 20 世纪中期，创新的技术、前沿的设备以及大量的资金投入补贴被西方太多的国家应用于到提升农业的技术水平，在提升了农业产量的同时节约了人力物力，以至于温室技术又到达新的发展水平<sup>[3-5]</sup>。

“物联网”的概念在 1999 年时被美国人首次提出，之后得到了许多西方国家支持，更多发达国家都致力于把物联网与农业相结合，通过物联网技术、传感器网络技术、无线通信技术等，工作人员可快速精准的采集大量温室信息，并利用设备终端实现对农业设施的控制<sup>[6]</sup>。Israr Ullah 等人提出了一种新的优化方案，在温室的温度和湿度等气候条件下,实现能耗与期望气候条件之间的平衡,保持了作物生产最大化所需的室内环境降低能耗<sup>[7]</sup>。Fazeel Ahmed Khan 等人使用物联网实现温室自动化，使用相机进行图像采集并在数据集上预测植物叶片疾病，一物联网技术对温室监测和管理灌溉系统<sup>[8]</sup>。Gopal Chaudhary 等人主要研究智能温室的 PID 和模糊逻辑控制器的实现。在这项工作中，提出了新的观测器设计，控制温室的不同参数。选择的参数能增加温室的产量，可用于室内育种和种植。在不同参数融合的基础上执行控制措施，以优化能源消耗和水资源使用。

利用 MATLAB Simulink 模型, 设计了湿度和温度的 PID 控制器。为二氧化碳富集设计了模糊推理系统<sup>[9]</sup>。Hwang 等学者, 通过传感器与摄像机来监控大棚内辣椒的生长环境信息, 使用 Zigbee 无线传感网络完成数据传输, 研发了远程手动和自动控制辣椒温室环境控制设施, 很大程度提高了辣椒的产量<sup>[10]</sup>。Evans 等人利用分布式传感器对温室环境信息进行数据采集, 使用无线网络进行数据传输, 使用 GPS 精准线性移动灌溉, 很大程度的提高了水资源的利用率<sup>[11]</sup>。Hai bin Liu 等人实现了一种改进的模糊神经网络控制算法, 提高了系统的整体学习能力。该智能系统结合了 A IoT、NB-IoT、5G 等先进技术, 将传感器数据上传至云平台, 还优化了 NB-IoT 电源管理, 可提高系统整体信息传输速率和解码效率, 更好地实现 5G 与 NB-IoT 的连接, 以衔接各业务和传输, 提高了传统温室控制系统的功能和价值<sup>[12]</sup>。

M.Azaza 等人的研究有助于将温室内的气候关键参数整合在一起, 在节约能源和水资源的同时, 促进植物生长的舒适小气候。介绍了一种基于模糊逻辑的智能控制系统, 并通过对温湿度相关性的具体措施进行了改进。此外, 系统控制还通过无线数据监控平台进行数据路由和记录, 提供实时数据访问。实验验证了该控制系统的有效性。该系统的效率评价显示了重要的能源和节水<sup>[13]</sup>。

Mohammad Woli Ullah 等人提出了一种温室内部环境自动控制系统, 将温室的各种气候属性存储在数据库中以供未来分析, 并确保对这些数据进行远程监测。物联网用于远程监控和数据分析。此外, 还开发了一个 android 应用程序, 通过蓝牙技术在短时间内显示这些数据。该系统通过感应传感器的值来控制温度、湿度、光照和土壤湿度水平, 并相应地控制加热器/冷却器、喷雾器、灯泡和水泵<sup>[14]</sup>。

## (2) 国内研究现状

随着大数据、物联网、人工智能等技术的快速进步, 设施温室控制系统在不同的技术支持下实现了多样化。

马增炜等人以 Wi-Fi 和 ARM 内核设计了一种采集数据并自动生成数据库的智能温室环境控制系统, 可以实现自动控制与远程遥控, 变更且控制精度也足以满足日常需求<sup>[15]</sup>。傅世杰以 STM32 为核心, 采用分布式设计结构, 通过 CAN to USB 实现连栋温室的管理, 以面向对象 Visual C++ 设计了上位机进行实时监控与预测, 为温室的设计提供了一种新的方式<sup>[16]</sup>。吴晓强等人针对温室内多因子的非线性、多耦合等问题, 运用模糊推理把专家知识经验转化为相应的模糊控制规则并结合神经网络控制理论设计模糊神经网络控制系统, 该系统的响应能力与抗干扰能力都对环境因子有较好的控制效果<sup>[17]</sup>。

孙力帆等人建立了基于 Dempster-Shafer (D-S) 证据理论的决策框架, 接着提出了一种异常数据自适应修正方法; 利用加权平均距离聚类处理更新后的数据; 最后根据所提出的基于加权相似度的基本概率分配方法结合 D-S 证据理论, 不仅提高了温室环境参数融合精度, 而且加快收敛速度的同时有效地降低决策风险<sup>[18]</sup>。李佳毅等人基于 Android 平台设计了手机 APP 为客户端, Wi-Fi 技术实现了无线数据传输与指令发送, 解决了智能温室中设备布线困难的监控问题<sup>[19]</sup>。刘振语, 利用采集终端控制传感器对环境数据进行收集, 利用 NB-IoT 传输网络传输数据并将其存储在数据库中。控制终端采用 B/S 结构开发的 Web 网页, 对温室大棚进行监控随时随地监控。设计优势为: 覆盖范围更广, 组网简单, 功耗低, 操作简单, 能够实现可靠的控制。将温室大棚与太阳能结合, 更加节能环保。系统方面采用 B/S 结构和 Java-Web 技术设计网站式系统, 提高系统的实用性和舒适度<sup>[20]</sup>。

综上, 国外许多国家的温室控制及监测系统已较为先进, 随着智慧农业的需求日益增加, 新的技术与方法仍在不断被开发、研究出来。我国在这方面也取得了初步的研究成果, 在借鉴他们的治理经验的同时, 我们也应从我国的实情出发, 研发出适合我国城市的智能温室控制及其监测方法。

### 1.2.2 NB-IoT 技术研究概况

从 2016 年起, NB-IoT 技术在各行业都应用广泛且在在智能控制方面发展迅速。文献<sup>[21]</sup>提出以窄带物联网技术为核心设计了系统的拓扑结构、传输过程及传输协议, 实现利用窄带物联网完成管理平台与数据采集之间的通信, 实现对充电桩及相关数据的采集与远程监管。

穆志洋<sup>[22]</sup>通过分布式布置监测噪声与光污染节点, 利用 NB-IoT 技术搭建了实时监测网络, 使用嵌入式系统和服务器端 Web 应用软件与数据库等技术, 实现了噪声和光污染监测数据的可视化显示。聂琿<sup>[23]</sup>等人结合传感器技术与窄带物联网技术搭建一个监测系统, 对空气中一些粉尘、化合物等环境因素进行多传感器数据融合研究。吴正平<sup>[24]</sup>等人对于当前抄表系统存在的几种缺点, 如传输距离短、覆盖范围小、穿透力不强等问题, 提出了一种基于 NB-IoT 的智能抄表系统, 主要是利用 STM32 芯片、传感器和 BC26 等硬件, 设计了一种解决抄表当前问题的系统, 主要体现在数据稳定、覆盖范围广、功耗低等优点。

综上所述, NB-IoT 技术发展迅速, 常与传感器技术、嵌入式技术、数据库技术、web 开发技术等结合被广泛应用于各个行业, 可以用来监测噪声与光污染节点、空气质量监

测、智能抄表、智慧家居，所以本系统选用 NB-IoT 技术进行设施温室监控实现统一管理及远程控制是可行的。

### 1.3 主要研究内容

本设计的设施温室监控系统，通过传感器技术实现温室内环境因素的采集任务，使管理者便于获取当前植物生长的环境状况，将数据通过 NB-IoT 无线模块和 MQTT 通信协议传输至物联网云平台，利用云平台的海量设备接入连接、统一管理、全天候实时监测及控制农业生态各环境参数，加入了远程实时监测管理平台，实现对监测的数据可视化显示与远程管理。

#### （1）硬件搭建研究

以高性能微处理器为主控智能终端，外接温湿度传感器，光强传感器，CO 浓度传感器等实现对温室大棚环境数据的采集和监测。本部分的研究重点有：如何将采集的数据传输到云平台；如何更好的布局元器件，才能使采集的数据更精确。对于采集的数据要经过数据处理，结合多传感器融合算法对自然灾害预判报警，减少误报警。

#### （2）NB-IoT 无线传输网络搭建

在温室环境监测系统中，涉及的数据与指令全部依靠无线传输网络进行上传与下发。NB-IoT 相比于传统的无线传输，他独有的覆盖广、海量连接、功耗低等特点更适合此系统的低吞吐量。本部分的研究重点有：选择适合的组网方式以及部署节点；降低传输功耗。本研究内容分析对比现有传输方式的优缺点，选择适合本系统的通信技术，设计并搭建适合本监测系统的传输网络。

#### （3）物联网云端平台选择与搭建

为了更好地研究接收处理数据，本研究内容分析对比现有云平台的优缺点，选择服务器性价比高，安全稳定性高，运行维护成本低的云平台，可以很好的满足用户的各种需求，实现远程监测，为后面的数据计算和分析打好基础。云平台与无线传输网络的对接、云平台产品创建、数据上传和云端显示等都是研究重点，同时采用云平台作为管理端，实现对各监测点装置运行情况进行监测。

#### （4）云服务管理平台搭建

数据分析处理包括将各个监测点传感器采集到的参数进行解析，最后给出监测状态综合评判结果。管理监测平台搭建包括两个部分监测服务器端，考虑到连栋型温室的数据量大、需求功能多，因此本研究选择合适的技术搭建管理平台，并将分析的数据上传

至管理平台汇总分析、显示、报警与指令的下发，从而对温室环境状况进行有效的监控与管理。

## 1.4 章节安排

第一章：绪论。介绍分析了本论文的研究背景，根据当前存在的问题提出研究的目的和意义，然后阐述了设施温室与 NB-IoT 技术国内外的研究现状，最后对本论文主要内容和章节安排进行阐述。

第二章：本章首先对物联网云平台技术进行分析，包括物联网的体系架构，从三层架构提出现阶段的 4 层架构，介绍了物联网云平台的层次模型和逻辑架构来分析它的主要功能；接着通过分析系统的可行性与功能需求，对本系统基于云平台的监控架构设计；接着提出了系统的整体设计方案，包括系统整体模块设计、硬件设计、云端服务器选择和用户管理软件设计。

第三章：本章主要是对 NB-IoT 技术特点进行分析与云服务技术的分析与设计。首先对物联网通信技术进行研究，对比了当下有线与无线传输方式的优缺点，及远距离无线传输与近距离无线传输方式进行分析对比，最终选择 NB-IoT 作为本系统的通信方式，并介绍了其的主要技术特点优势，并对其技术特点进行进一步分析包括 NB-IoT 的网络架构与部署模式。接着介绍了对比分析了 MQTT 协议与 CoAP 协议的特点，最终选择 MQTT 协议，并对 MQTT 进行业务设计。

第四章：系统硬件的整体搭建。主要是对硬件设施进行设计搭建与实现，将硬件采集终端模块化处理，主要为电源供电模块、STM32 主控制模块、传感器数据采集模块以及 NB-IoT 无线通信模块，接着对各模块进行选型、分析与设计，选用了 STM32F103 芯片、BC-26 模块、DHT11 等硬件。

第五章：系统终端层软件设计。将系统软件分为终端层软件和云平台应用层软件，分别对其设计，终端层软件包括数据采集的软件设计、驱动程序设计、NB-IoT 无线通信模块设计、云平台的对接以及监控界面的实现等。

第六章：结合设施温室监控需求，设计物联网云平台终端层实时监测界面设计和系统测试。使用 SpringBoot + Mybatis 的管理架构，结合 MySQL 数据库完成应用层的架构设计，并介绍了关键特点、主要原理以及其相关的关键技术，实现应用层的软件设计。系统测试。主要是对采集终端和平台管理使用性能和功能进行测试。

第七章：对系统的整体内容进行总结，分析系统的优缺点或不足之处，并展望更好

的解决方案。

## 第二章 基于物联网云平台的系统架构

物联网云平台是在信息技术高速发展下的云计算技术的重要产品，主要是为终端设备提供了一个数据集聚、融合处理的平台，具有完善的基础设施管理能力、完善的安全保护服务、良好的技术服务能力；同时，以物联网云平台为搭建基础，进行开发设计也能够有效减少应用建设和节省更多后期维护、升级的成本，所以物联网云平台也是整个物联网系统结构中缺一不可的组成部分。

### 2.1 物联网云平台技术分析

云平台主要应用于云计算和数据管理平台的研发，给用户完整的安全稳定的服务。云平台所推出的一站式设备管理平台，设备和云端可以进行稳定的双向通信，全球众多节点的部署使得全球设备与云端进行通信时保持较低的延时，多重的防护能力使得云端设备的安全性能更高，更加稳定可靠，可以存储并实时访问大量设备数据<sup>[25]</sup>。

#### 2.1.1 物联网体系架构

如图 2-1 所示，物联网的经典三层架构由感知层、网络层、应用层组成<sup>[26]</sup>。



图 2-1 物联网经典三层架构

感知层，是物联网架构的最下层，也是整体结构的内核基石，在物联网体系中主要担负着对外部环境信息的感知与识别，进而实现信息认知和收集。主要包含了一些空气质量/土壤湿度传感器、二氧化碳浓度感应器、光照强度传感器等传感设备，以及 NB-



IoT、4G/5G、GSM、Wi-Fi 等行动通讯模块，还包含了一些执行设备模块等。其核心技术主要包含：传感器技术、射频识别技术、Bluetooth、Wi-Fi、ZigBee 等近距离的无线通信技能。

网络层，属于设备中央部位，是能连通在感知层和应用层设备之间的网络，其功能主要是设备连接互联网和数据传送。也可以采用有线和无线的形式进行信息通讯，一般由运营商所提供的各种广域 IP 网络所构成，主要有有线通讯形式有 485 总线、CAN 总线和以太网等；而无线通信中相对近距离的 (WPAN:low-rate Wireless personal area network(低速无线个人区域))形式主要有 ZigBee、wi-Fi、Bluetooth 等，WPAN 的主要优势是低复杂度、低功率、低传输速度、低成本；无线通信在比较远距离的主要有 GSM、GPRS、4G、5G 等；以及低功耗的无线广域网(LPWA:low Power Wide Area)中的 NB-IoT 和 LoRa 等。

应用层，是物联网的最顶层，重点表现在对信息资源的发掘与运用上，以软件应用方式，给使用者带来了一个大数据可视化的管理和对设备简易控制，重点是让大数据技术和现实应用相结合，包括了智能工业、智慧家庭、智能农场等。

随着科学技术的日益提升，设备日益增多导致管理需求急剧增加，海量设备的通信、设备应用的搭建和系统的维护升级等成为一种亟待解决的问题，因此物联网云平台应运而生。

物联网云平台是物联网和云计算技术堆栈融合在一起的平台<sup>[27]</sup>，现阶段的物联网体系架构可以分为四层：感知识别控制层、网络构建层、平台管理层、综合应用层，如图 2-2 所示。平台管理层主要实现终端设备的管理、控制、运营的一体化，对上面的应用管理层提供控制接口与数据的传输，并对应用业务提供可靠的服务力，如应用整合、数据流转等；向下的话可通过网络传输层，接触到感知识别层，对下提供二个阶段和与网络服务器。

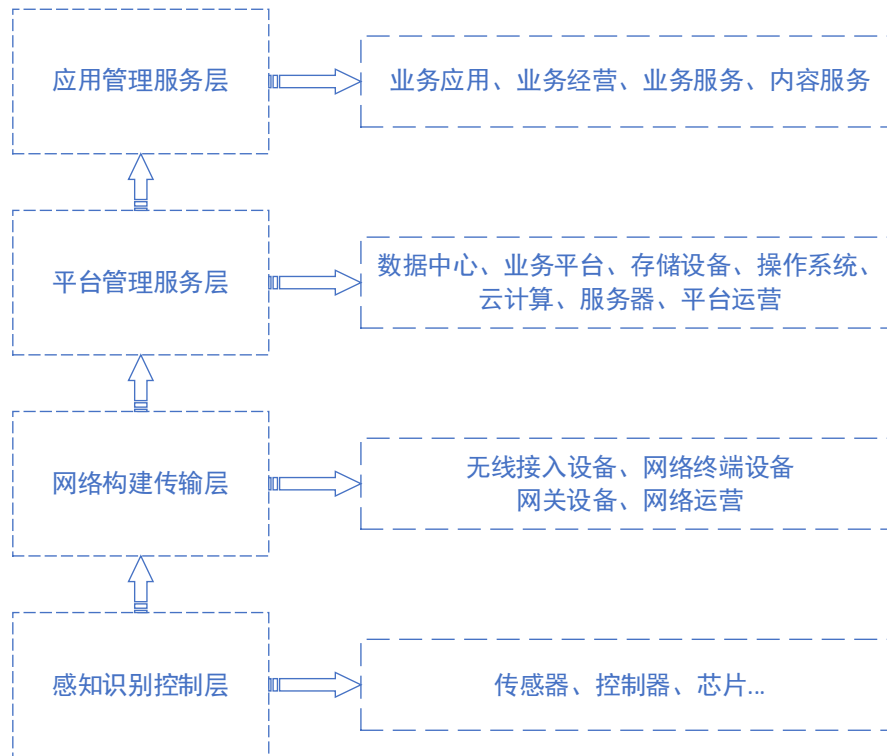


图 2-2 基于云平台的物联网架构图

### 2.1.2 物联网云平台的层次模型和逻辑架构

物联网云平台是基于云计算而形成的平台服务层，云计算按照服务模式层级从下往上依次分为 IaaS、Pass 和 SaaS 三层<sup>[28]</sup>，如图 2-3 所示。



图 2-3 云计算架构图

**IaaS 服务(Infrastructure as a service)**：设施即服务，主要是为应用者提供数据储存、网络服务等计算资源，使用者可以不需底层建设即可直接在提供的设施上部署应用并执行软件，从而完成相应的数据管理、保存数据文档内容、安装应用程序等。

**PaaS (Platform as a service)**：平台即服务，为开发应用程序及相关的基础设施部署，

由云服务提供商支持的编程语言、开发工具提供给用户，用户只要考虑业务逻辑，管理应用程序配置所需的环境参数，不用考虑底层网络与存储等基础设施。PaaS 服务一般会提供开发套件面向市场来实现服务。

**SaaS（Software as a Service）：**软件即服务，可通过程序接口或浏览器客户端接口从客户端设备对应用程序进行访问。

物联网云平台是基于云计算形成的物联网行业解决方案中心平台，其层次模型如图 2-4 所示。

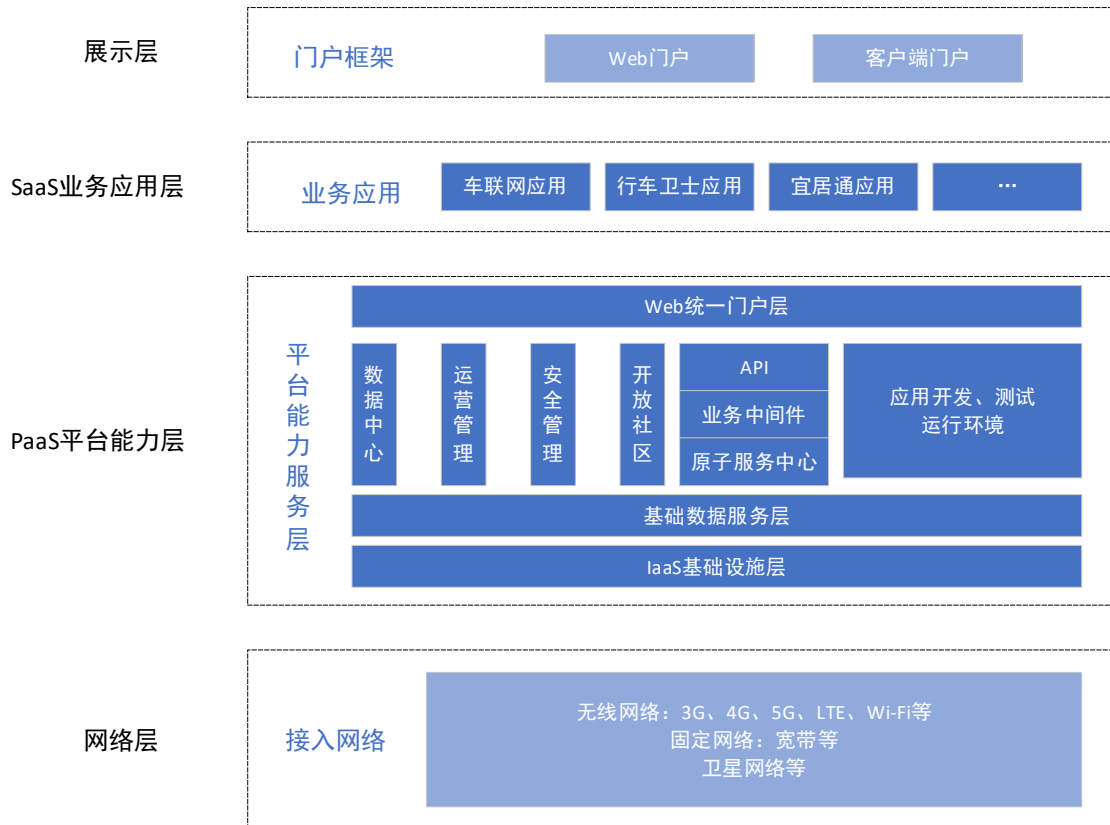


图 2-4 物联网云平台功能层次图

物联网云平台按照功能、逻辑关系可分为：设备管理平台 DMP、应用使能平台 AEP、连接管理平台 CMP、业务分析平台 BAP，业务逻辑架构图如图 2-5 所示。

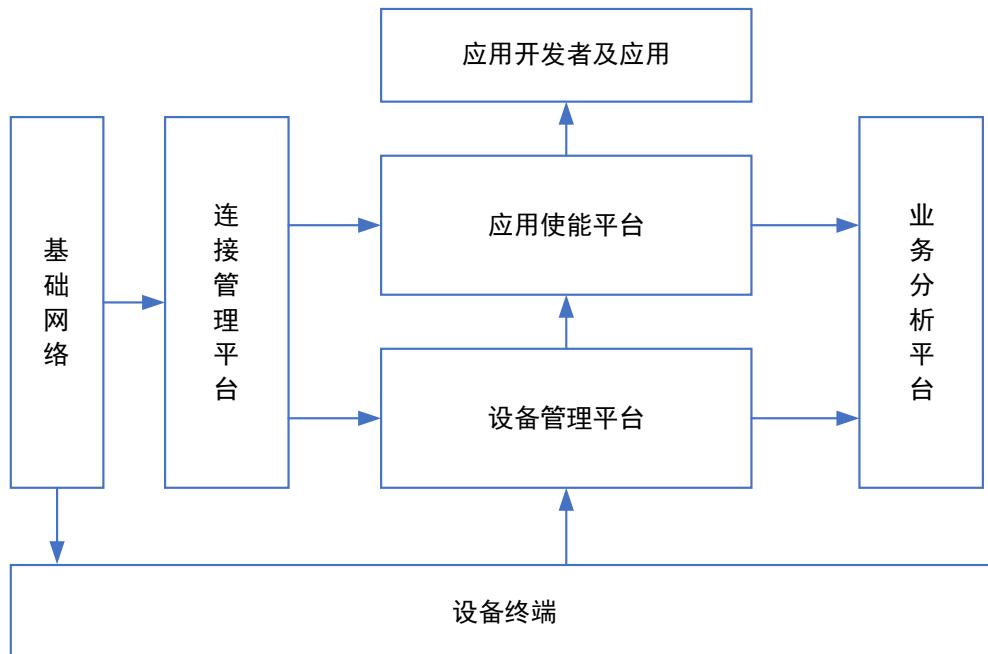


图 2-5 物联网云平台逻辑架构图

### （1）CMP

网络连接管理平台(Connectivity Management Platform)，是指基于运营商互联网中心进行终端接入管理和性能保障的网络平台。主要功能包括了资费控制、管理、SIM 卡控制等功能。由于用户大多是单一设备连接使用，每个用户的平均使用水平也很低，但物联网的设备海量接入，导致大多运营商放弃自建 CMP 平台而与 CMP 平台供应商合作。

### （2）DMP

设备管理平台 (Device Management Platform)，其主要功能为协议解析、设备管理、消息追踪、远程升级和在线调试等。以 One NET 云平台为例，它建立在 IaaS 上的 PaaS 平台，面向大连接大数据提供全托管的云服务 and 设备的云端通信。

### （3）AEP

应用使能平台(Application Enablement Platform)，主要提供可视化开发工具、业务逻辑引擎、云 API 接口等以满足物联网应用快速研发、部署与管理的技术平台，通过此平台可以很好的降低开发的复杂度，提高开发的效率。

### （4）BAP

业务分析平台 (Business Analytics Platform)，主要包括人工智能和数据分析，对数据分析挖掘以实现功能跃迁。此平台被人工智能技术与数据感知技术所限制，以及会涉及大量的数据和业务，所以此平台并未发展成熟且大部分由企业把控。

## 2.2 基于物联网云平台的监控系统架构设计

### 2.2.1 系统可行性分析

#### (1) 设备可行性分析

硬件设备是信息化的物质基础与载体,随着科技的不断发展,硬件设备的研发不断进步,日趋成熟。各类芯片、智能硬件、传感器产品等在日常生活中屡见不鲜,适用于不同应用场景并保持可靠稳定性的相关传感器设备已在市场中得到了广泛应用。经过调研,主控芯片的工作性能与传感器的测量范围与精度都达到了系统开发的要求。

#### (2) 技术可行性分析

如今,“万物互联”的时代帷幕已被物联网悄然拉开。“万物互联”时代,随着技术方案日趋完善,以及大量的技术论坛与产品厂商的支持,系统的研发设计后勤技术保障工作越来越稳定。

### 2.2.2 系统功能需求分析

需求分析需要需求分析人员与系统需求方多次反复沟通,需求分析人员需要完全掌握需求方的业务流程、功能需求、系统性能需求,形成专业的需求分析报告,提供给系统设计人员,才能让系统设计者设计出需求方真正需要的系统。

本系统设计为达到设施温室的监测与控制的目的,系统需要包含采集端和管理端两个部分:根据温室的不同,对传感器以节点的形式部署于温室内部,对植物生长所需的环境参数进行实时采集;采集节点与物联网平台之间建立有效的数据通信连接,能够在PC上访问,具备与终端通信、存储数据、显示历史数据;可以将采集到的环境数据进行有效处理并显示数据;需具有一定的运算处理能力;尽可能的降低功耗与成本,提升系统的性价比;确保系统无线网络的稳定。管理平台应有专业的系统开发环境,具备用户登陆功能,软件功能应包括温室当前状态显示、环境阈值设置、历史数据查询等;系统应能够实时有效的获取数据,并且能够及时对异常数据进行报警调节;管理平台的操作界面应简洁清晰,以便于管理人员快速准确地查询温室大棚内的环境状态,并根据查询结果对环境参数做出及时的调节。操作系统应保证其部署和维护的方便性,从而确保系统能够长期高效工作。

### 2.2.3 整体架构设计

云端服务器负责数据的收集、存储及指令的发送。为了在没有人干预的情况下访问互联网中的资源,需要依赖物联网平台来提供智能对象的管理和系统化,提供高效可

靠的服务。云平台按照提供的服务类型具体可以分为三大类，分别为基础设施即服务(IaaS)、平台即服务(PaaS)和软件应用即服务(SaaS)。IaaS 是将基础计算资源、存储空间、网络组件组合起来供用户使用，云平台的功能主要是给用户提供安全可靠的在线计算机服务。PaaS 给用户提供了主机操作应用程序运行环境，用户只能操作部署在基础设施中操作系统上的应用程序，配置环境中参数。SaaS 给用户提供的是在云基础架构上运行的特定应用程序，可以通过轻量的客户端接口或程序访问该特定应用程序来获取服务。云平台整体架构如图 2-6 所示：

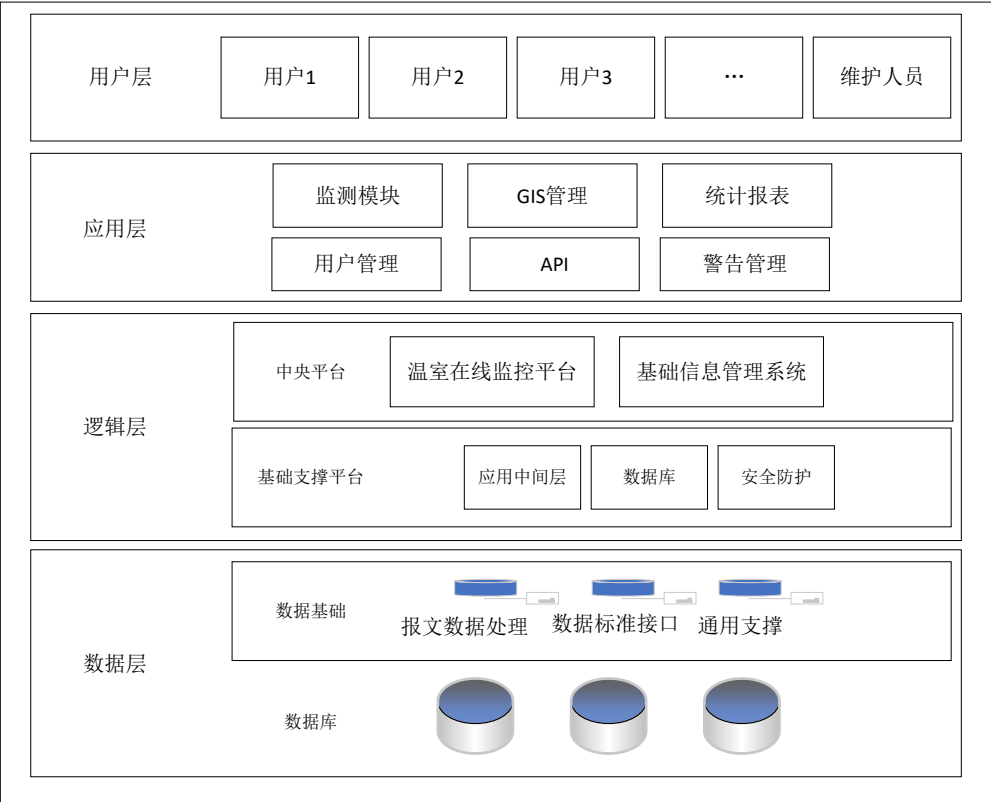


图 2-6 云平台整体架构

## 2.3 基于物联网云平台的系统总体设计

### 2.3.1 系统设计要求

#### （一）功能要求

从单个数据采集单元上电开始，每个单元模块可以实现对环境数据的连续自动采集，并通过 NB-IoT 模块将数据根据需求实时或者定时上报至云平台，每个数据包中应包含设备信息，状态参数等。系统在对环境数据记录时要能够实时的记录光照、温度、湿度及二氧化碳等与植物生长息息相关的环境指标，根据不同场景选择对数据进行存储后定

时上传或实时上传。

为了随时调用和统计,收集的数据应采用云平台数据库存储从而确保数据的稳定性。为了方便管理温室中的各种执行机构和遍布各处的 NB-IoT 数据采集模块,需配套相应的温室大棚监控系统管理软件,用户可以通过温室大棚监控系统管理软件实时获取各个 NB-IoT 环境采集模块和大棚执行机构的状态信息。同时系统应能够对异常数据进行提示和报警,例如某个数据超过阈值范围、NB-IoT 数据采集模块离线或电量低、明显不正确的数值等。对于已经收集到的环境数据,可以对数据进行查看和分析。

## (二) 性能要求

(1) 模块化的结构设计。系统采用多个 NB-IoT 环境采集单元进行组网实现对所有温室大棚各点的完整覆盖,单模块独立上传,同时拥有独立的电源系统。模块化的优点是便于维护,一旦单个模块出现损坏或者质量问题,可以采用整个替换的方式快速的完成故障排除,并且采用模块化设计可以更好的完成对温室大棚的拓展部署。

(2) 数据传输稳定可靠。系统选 NB-IoT 作为通信方式,NB-IoT 网络是基于现有 LTE 网络进行改造得来的,用于连接使用无线蜂窝网络的各种智能传感器和设备。主要优势为:大连接、深覆盖、低功耗等,保证数据传输的稳定性与可靠性。

(3) 保证长期稳定工作。模块防护级别应该一定等级,能够在恶劣复杂的环境下保证正常运行;具备多种电源供电方式以保证数据检测的稳定性;模块整体功耗低,具有优秀的电源管理功能保证系统长时间在线。

### 2.3.2 整体设计方案

温室环境监控系统是针对大范围的温室常见专门进行远程监测的完整温室环境监控系统,设计的温室环境监控系统通过多个数据采集单元收集环境数据,并通过微控制器进行处理,将其封装为数据包通过 NB-IoT 模块发送到云端服务器,再经过拆包解析,将其存储至数据库中,供后续数据处理使用。同时为了便于用户查询,配置相关的可视化管理软件,用户便可通过 PC 端网页程序搜索所需要的在线数据。将温室环境监控系统具体设计分为三部分,NB-IoT 和传感器数据采集单元、云端服务器、用户软件三部分组成。数据采集单元包括各类环境传感器模块、主控模块、无线通信模块、系统电源供电模块等;软件设计包含采集单元程序,服务器端接口程序、用户软件程序等。根据实际需求,本文所需的传感器选型技术指标如表 2-1 所示:

表 2-1 系统传感器技术指标

待测量	检测范围	分辨率	单位	响应时间/秒	寿命/年
温度	-40~125	0.01	℃	<30	5
湿度	0~100	0.04	%	<8	5
CO <sub>2</sub> 浓度	0-5000	1	ppm	<1.5	5
光照强度	0-65535	1	Lux	<3	5

### 2.3.3 数据采集单元模块设计

数据采集单元包含四部分各类环境传感器、微控制器、通信模块、系统电源。环境传感器包含温度传感器、湿度传感器、CO<sub>2</sub> 传感器、光照传感器；微控制器包含 STM32F03C8T6 及外围电路；通信模块包含 NB-IoT 模块、SIM 卡、天线、备用接口；系统电源包含锂电池充放电电路、升降压电路。数据采集单元构成图如图 2-7 所示。

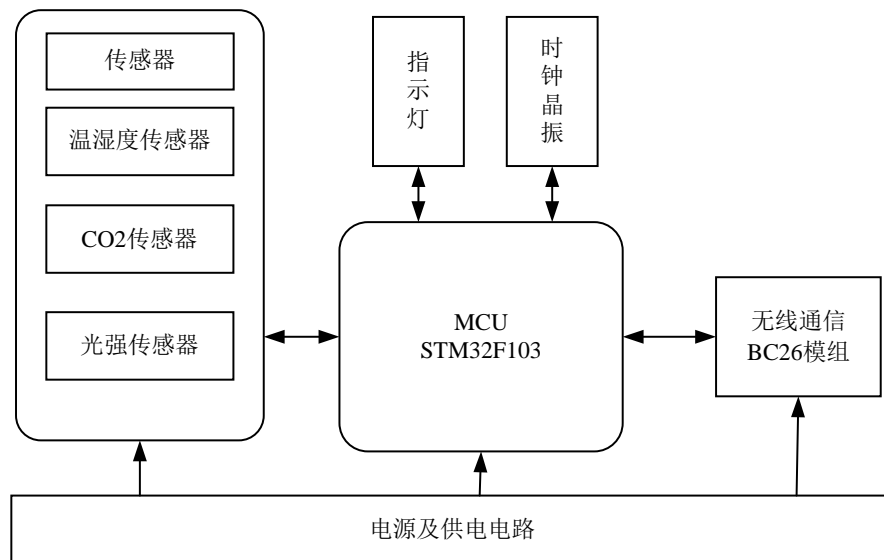


图 2-7 数据采集单元构成图

### 2.3.4 用户管理监测界面

温室大棚监测管理软件用于监测和管理云平台上各终端节点的温室大棚信息，用户通过登录 PC 端软件，连接到云平台温室大棚数据库，可以实现对监测数据的查看、存储、阈值告警等功能，同时还实现了配置各终端节点的地址、上报时间间隔、IP 等功能。管理平台整体功能结构图如图 2-8 所示：



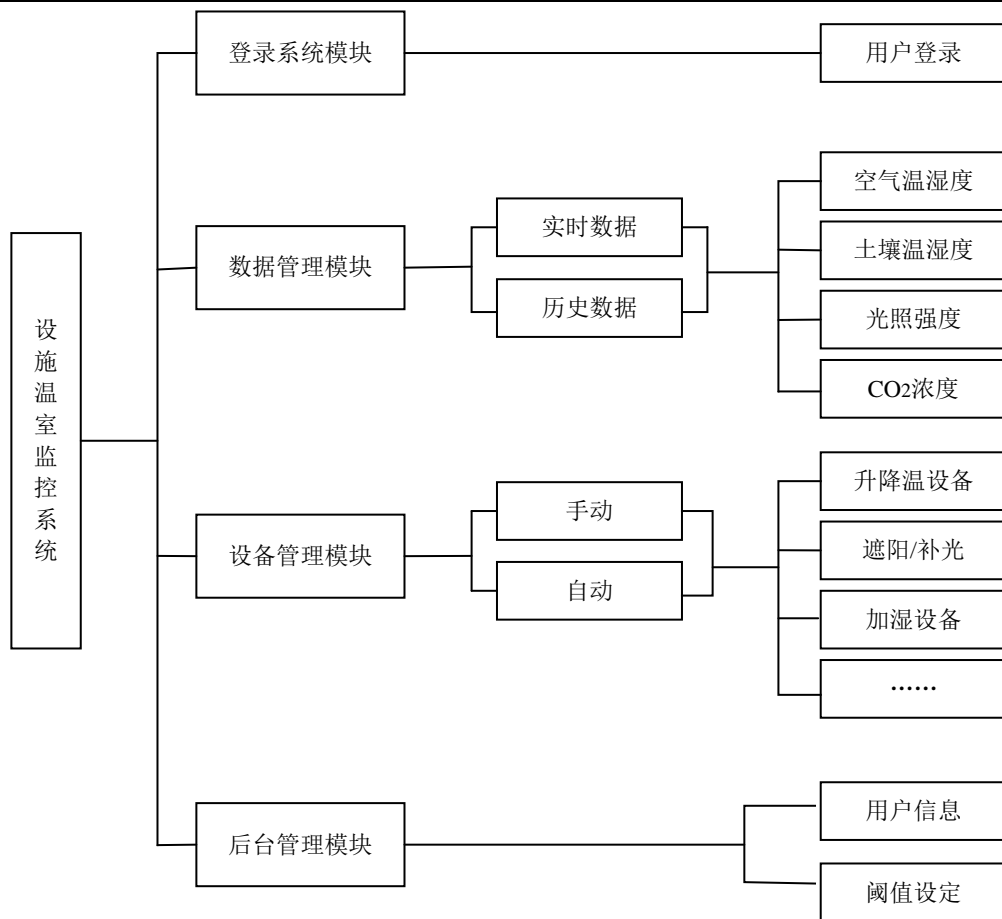


图 2-8 管理平台整体功能结构图

## 2.4 基于物联网云平台的监控系统架构优势分析

本系统选择物联网云平台为开发的应用中枢，有良好的应用开发逻辑与可靠性。具体优势为如下三点：

(1) 依托物联网云平台。云平台提供基础且广泛的服务，使终端设备具有更强的安全性，具有更强的拓展和互联能力，方便后期的功能升级和其他平台的对接。

(2) 多种通信协议对接。物联网云平台支持 CoAP、MQTT、TCP 等多种通信协议建立与云平台的连接，云平台提供数据连接服务器支持多种通信方式接入云平台。

(3) 云开发方式。通过云服务器搭建系统运行环境，用户可以通过网络对服务器进行控制，摆脱了对服务器的本地搭建和维护，并且后期维护和升级更方便，同时降低了成本<sup>[29]</sup>。通过 web 进行访问控制，摆脱对客户端的限制，不用安装 app，使用便捷<sup>[30]</sup>。

## 2.5 本章小结

本章首先对物联网云平台技术进行分析，包括物联网的体系架构，从三层架构提出现阶段的四层架构，介绍了物联网云平台的层次模型和逻辑架构来分析它的主要功能；接着通过分析系统的可行性与功能需求，对本系统基于云平台的监控架构设计；接着提出了系统的整体设计方案，包括系统整体模块设计、硬件设计、云端服务器选择和用户管理软件设计；最后对整体架构进行优势分析，从多角度多方面阐述了本系统在实际的应用与实际开发的优势。接下来对针对系统中数据通信问题与管理平台搭建问题，对NB-IoT技术与云服务技术进行详细分析。

## 第三章 NB-IoT 技术及云服务框架

网络传输在物联网技术中扮演着桥梁的作用，终端物联网设备需要通过网络才能与云平台建立通信。NB-IoT 技术以其大连接，广范围、低功耗等特点，为当下智能城市、智能家居、智慧农业等对时延要求不高的应用场景下的最佳选择。

### 3.1 物联网监控系统通信方式研究

网络主要是进行数据的传输，包括通信方式与通信协议；通信方式可分为有线传输或无线传输，无线传输方式又可分为近距离无线通信和远距离无线通信。随着科技的发展，无线传输成为当今的主流方式，相对于有线传输，它可以拜托布线繁多杂乱的困扰，也可以摆脱地理因素的限制，更具有灵活简便性。

#### 3.1.1 无线通信方式的对比

当前物联网通信方式，主要有以下几种：

- (1) 有线通信方式有 CAN 总线、485 总线、以太网等；
- (2) 无线通信相对近距离的（WPAN: low-rate wireless personal area network（低速无线个人区域网络））主要有 ZigBee、Wi-Fi、Bluetooth 等，WPAN 的特点就是低复杂度、低功耗、低速率、的成本；
- (3) 无线通信相对远距离的主要有 GSM、GPRS、4G、5G 等；
- (4) 低功耗无线广域网（LPWA: low Power Wide Area）中的 NB-IoT 和 LoRa 等，低速无线广域网具有广覆盖、低功耗、低成本、大连接的特点；
- (5) 互联网、物联网的主干网。

下面对几种通信方式进行简单对比：

(1) **Wi-Fi:** Wi-Fi 的工作频段在 2.4GHz ISM，最大的优势为它的高速率传输、较低的延时以及较高的稳定性与安全性，而且还具有容量大和传输稳定及使用门槛低等优点，缺点为移动性较差、穿墙性能差、覆盖范围小，造价不够优惠等<sup>[31-32]</sup>。

(2) **ZigBee:** 是一种组网能力强、网络容量高、复杂度低，且成本低易安装、功耗低的低速率无线通信技术，但 Zigbee 协议后期维护成本高，且未与其他通信协议兼容，处于一种孤立的状态<sup>[33]</sup>。

(3) **Bluetooth:** 在 10 米以内的下单点对单点、单点对多点的无线传输方式，工作于 2.4GHz ISM 频段，近距离内传输速率可以达到 1Mbit/s 在有效范围内不受障碍物与

方位的影响,通信安全性高,支持语音传输、组网简单等,但蓝牙植入成本高,通信速率低,通信对象少<sup>[34-35]</sup>。

(4)LoRa 技术:是一种超远距离无线传输技术,具有低功耗特性且通信距离较远,主要在全球非授权频段运行存在一定的干扰,但是不能在现有基站上通信,需要在网关处额外进行网络连接,成本相对较高<sup>[36]</sup>。

(5)NB-IoT 技术:NB-IoT 工作在专用的授权频,既可以保证安全性、还可以控制成本<sup>[37-38]</sup>。实际上 NB-IoT 是建立在 LTE 制式的移动通信网络上的,换句话说是在建立在 4G 上的一个技术。NB-IoT 技术在应用场景中,偏向于数据采集上报的传感器类的终端,比如智能远程抄表、共享电动单车、老人小孩智能跟踪、智能无人售货、智能物流、智慧城市、大棚种植、智能家居中的传感器设备等等。

在温室环境下,传感器的无线通信方案主要有 ZigBee、GPRS、Wi-Fi 等常用无线通信方式,通过上文对 NB-IoT 技术的简单分析,与传统无线通信方式相比较,NB-IoT 工作在专用的授权频,既可以保证安全性、还可以控制成本 NB-IoT 技术在应用场景中,偏向于数据采集上报的传感器类的终端,NB-IoT 的主要特点体现在终端的海量接入、小数据包的低速率传送、更节能,更适合现代的大型智能温室或连栋温室的需求,故本系统选择 NB-IoT 为温室无线传输方式。

### 3.1.2 MQTT 通信协议设计

当今社会的已经被互联网所包围,现代的生活已经离不开互联网。用户通过计算机访问网页,网页就是万维网(web)。有了互联网以后近几年又出现了移动互联网(Mobile Internet),已经进入手机的时代,手机之间的交互也是通过 Internet;紧接着进入了一个万物互联的时代-物联网(IoT Internet Things),它是由互联网与传感器网络组成,因此物联网的产生也产生了新的协议。

目前主流的物联网通信协议有 CoAP 协议、MQTT 协议和 HTTP 协议。常见的 IoT 物联网通信协议中,HTTP 和 XMPP<sup>[39]</sup>这两种协议网络开销较大,MQTT 和 CoAP 则更适合物联网受限环境中设备的通信。首先,MQTT 和 CoAP 都比 HTTP 更适合于受限环境,都可以提供异步传输机制,都可以在 IP 上运行,都是开放标准,且都有很多种实现方式。MQTT 在传输模式上更为灵活,对二进制数据而言像是管道,CoAP 为面向网络的设计<sup>[40-41]</sup>。

MQTT 和 CoAP 作为 IoT 协议应用都很广泛，但两者也有很大的区别。MQTT 是点对多点的通讯协议。通过中间代理在不同客户端之间传送消息，解耦生产者与消费者，通过使得客户端发布，让代理决定路由并且拷贝消息。MQTT 与 HTTP 一样，MQTT 运行在传输控制协议/互联网协议(TCP/IP)堆栈之上。CoAP 主要用于在客户端与服务器之间传输状态信息，是一个点对点协议，但 CoAP 不是完全基于事件，比较适合状态传输模型。MQTT 客户端需要建立长连接 TCP，CoAP 客户端与服务器都发送与接收 UDP 数据包。CoAP、MQTT 协议对比分析如表 3-1 所示：

表 3-1 CoAP、MQTT 对比分析

协议	CoAP	MQTT
模型	请求响应模型	发布订阅模型
传输层	UDP	TCP
特性	资源发现机制	主题订阅
安全性	DTLS	TLS/SSL 加密

MQTT 通信协议有订阅者、代理和发布者三种身份，订阅者和发布者都是客户端，代理也被叫做服务器，可以多个订阅者对一个发布者发布的信息订阅，订阅者和发布者也可以为同一客户端，传输的消息可以分为主题和负载<sup>[42]</sup>。主题是指订阅者对指定 Topic 订阅，接收发布者接收发布者通过该 Topic 上传到服务器的 Payload，负载是指 Topic 所携带的消息内容，指定 Topic 所要传输的数据内容。如图 3-1 所示为 MQTT 通信协议的原理图。

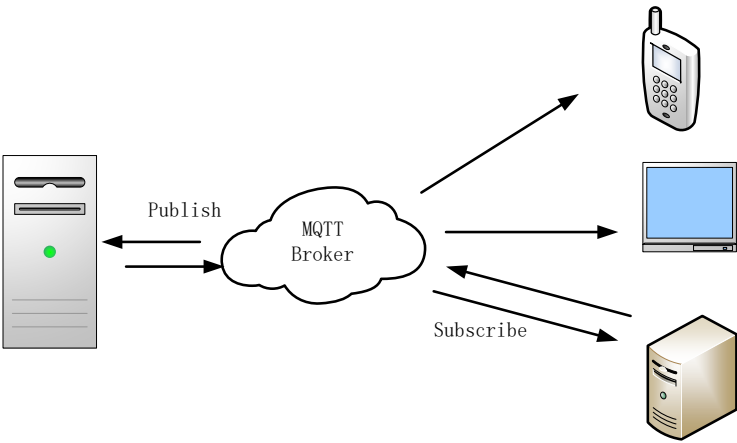


图 3-1 MQTT 通信原理

MQTT 具有三种消息发布服务质量（Quality of Service，QoS）：

QoS 0: 消息发送者至多会发送一次消息到服务器, 也可能不发送消息, 服务器不返回消息, 根据网络情况有可能收到, 也有可能没有收到。

QoS 1: 至少发送一次消息到服务器, 服务器在收到消息后还会返回一次确认。

QoS 2: 只有一次发送到服务器, 为了保证接收的数据, 不会重复也不会丢失, 服务器必须经过两个阶段, 在这种状态下, 为确保只接收一次消息, 会消耗更多的网络开销。

MQTT 通信协议是最多、最广的数据通信协议, 目前 MQTT 协议链接的设备已经过亿, 这都得益于 MQTT 协议为设备提供了稳定、可靠、易用的通信基础。如图 3-2 所示为 MQTT 的业务应用场景。

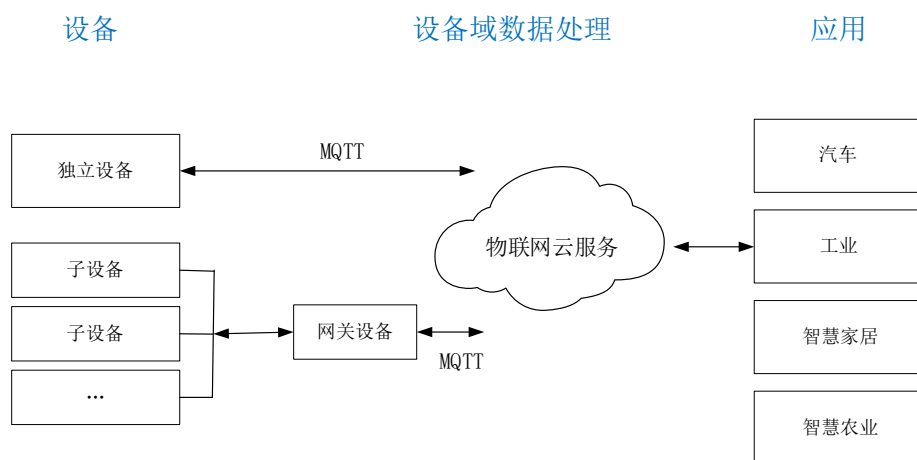


图 3-2 MQTT 业务场景应用

本系统研究的场景是需要实时上报类型, 对实时性有一定的要求, 由于 MQTT 的长连接特性相对于 CoAP 更适合本系统的使用, 因此选择 MQTT 协议作为农业监控系统的数据传输协议。利用 MQTT 协议建立了移动终端设备与云端网络平台之间的连接, 阿里云物联网云平台作为 MQTT 的移动服务器设施, 在网络平台上建立服务 Topic, 根据订阅云端服务器设施下发指令 Topic, 并发出报文到控制数据上传的 Topic, 以完成技术和物联网云平台利用 MQTT 的报文交流。监测数据上报时, 选用 QoS 0 发布质量, 来降低网络消耗, 减少网络开支, 对于指控命令的下发则选用 QoS 1 或者 QoS 2 的服务质量, 提高消息的时效和精度。

## 3.2 NB-IoT 技术分析

### 3.2.1 NB-IoT 技术特点

NB-IoT 是窄带物联网(Narrow Band Internet of Things)技术, 基于蜂窝技术是一种低功耗广域(LPWA)网络技术标准, NB-IoT 网络是基于现有 LTE 网络进行改造得来的, 用于连接使用无线蜂窝网络的各种智能传感器和设备<sup>[43-44]</sup>。NB-IoT 主要用于传送低速率的小数据包, 从传输数据格式来看, 可以传输 3 种数据类型, IP、Non-IP、SMS (短消息)。NB-IoT 是从 LTE 系统演进而来, 为提升小数据的传输速率, NB-IoT 系统支持两种优化的传输方案, 包括控制面优化传输方案 and 用户面优化传输方案。

(1) 低成本: NB-IoT 是基于 LTE 网络的技术并在 LTE 网络的基础上进行改造, 有快组网扩大覆盖的优势。目前各大运营商仍都在促进 LTE 的网络建设, 提升 LTE 的网络质量, LTE 的建设提升同时也推动了 NB-IoT 的覆盖改善, 海量的规模应用于全世界, 传统 GPRS 模块价格在 10~20 元, LTE 的成本都在 100 元以上<sup>[45]</sup>。

(2) 低功耗: NB-IoT 拥有 PSM 模式和 e DRX, e DRX 增强型非连续接收模式可以极大的降低电量消耗, 对于传统的模式, 不需要进行链路的沟通, 有效提高物联网终端设备的使用时长<sup>[46]</sup>。如果它 99% 的时间处于 PSM 状态下, PSM 只占用不到 1% 的功耗, 设备续航时间已经提升到 3~5 年。比如在下水道或者角落不方便的地方的供电时, 电池可用 5 年以上。

(3) 强连接: 海量连接特有的系统设计为独立的准入拥塞控制, 别的网络无法进入, 终端上下文都存储在 NB-IoT 网关处。当终端处于 PSM 模式下, 收不到下行的数据包, 但服务器可以进行缓存, 直到唤醒 RX 模式。一个基站可以实现一个城市的覆盖, 一个基站将近覆盖 5 万个 NB 节点<sup>[47]</sup>。

(4) 覆盖域广且深<sup>[48]</sup>: 采用低阶调制和重传机制, 窄带功率谱密度提升, 定义了最大 16 次重传; 采用低阶调制和重传机制在同样的频段下, 提升 20dB 增益, 扩大覆盖了一百倍到二百倍的覆盖面积; 覆盖增益原理图如图 3-3 所示。

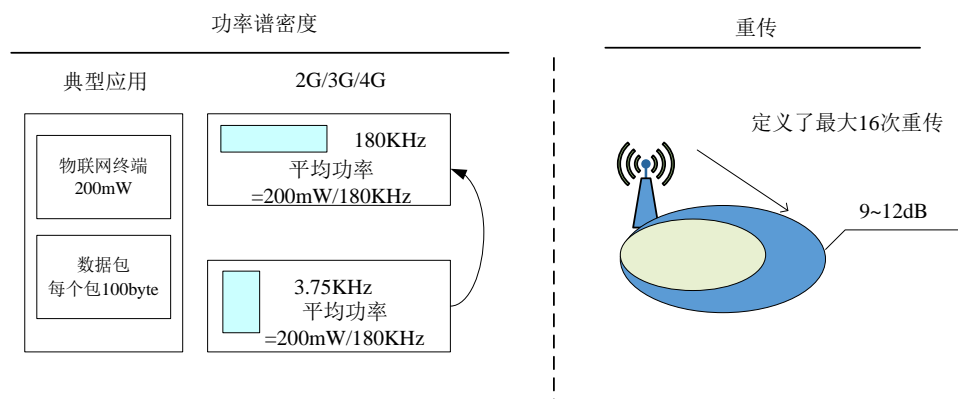


图 3-3 20dB 覆盖增益原理图

### 3.2.2 NB-IoT 的网络架构

窄带物联网是运营商对原本的网络的一种改进。4G/5G 网络主要为了满足人们对高速率、高带宽、低时延的需求，NB-IoT 的主要特点体现在终端的海量接入、小数据包的低速率传送、更节能。对于 NB 终端来说，从空闲状态进入连接状态不仅网络信令的流程复杂，还需要消耗大量的网络开销，为解决适应这个问题满足 NB-IoT 终端的需求，3GPP 通过优化用户面数据传输方案与控制面数据传输方案对数据通信流程和网络架构进行了增强。控制面传输方案，简称 CP 方案，主要针对小数据传输，支持将 IP 数据包、非 IP 数据包或 SMS 传输，无需像传统 LTE 先建立用户面承载（DRB）和 S1-U 承载后才能传输数据。对于用户面优化方案，在终端与基站的空中接口中，NB-IoT 终端可发起 RCC 连接挂起，在 RCC 连接被挂起后，仍然会保存 UE 的接入层上下文的关键信息。

如图 3-4 所示为 NB-IoT 网络架构图，主要包括：NB-IoT 终端、基站 e NodeB、归属用户签约服务器 HSS、移动性管理实体 MME、S-GW 服务网关和 PDN 网关，以及控制功能 PCRF 和为了支持 MTC、NB-IoT 而引入的网元：服务能力开放单元 SCEF、第三方的业务能力服务器 SCS 和应用服务器 AS。最底层为 NB-IoT 的模块终端，与 Node 基站进行通信，通信之后进入到 NB 核心网，同时在核心网中又包含了整体核心网管理单元（MME）、与基站进行交互的数据管理器（SGW）、与外围 IoT 平台交互的数据转发器（PGW）。为了支持 NB-IoT 独立增加了二个网云 SCEF 业务能力开放实体，专为 NB-IoT 设计主要用于控制层面上传 IP 或非 IP 的数据，同时为健全网络服务提供一个 cu 向的接口，T6 与 S6t 接口。

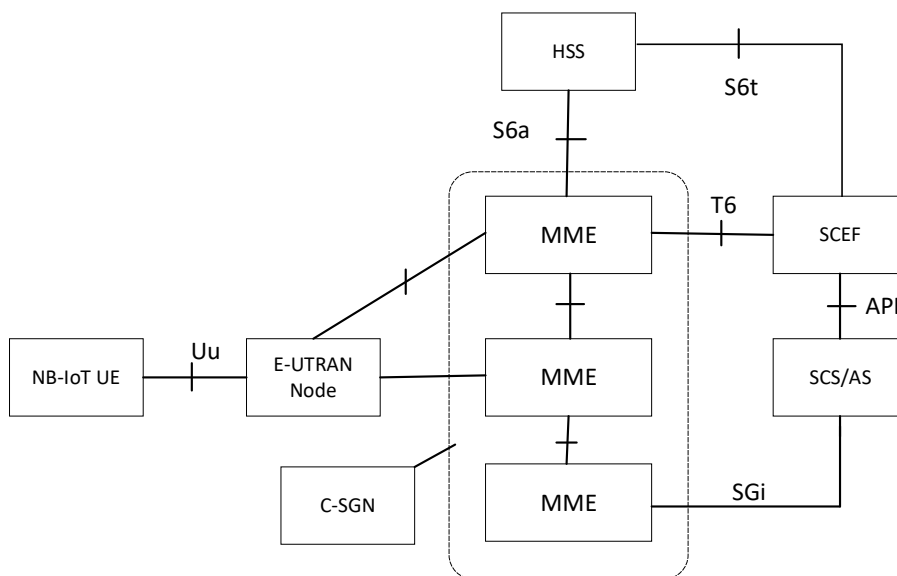


图 3-4 NB-IoT 网络架构图



### 3.2.3 NB-IoT 的部署模式

NB-IoT 支持 3 种部署方式<sup>[49-50]</sup>，分别是独立部署、保护带部署、LTE 带内部署。主要工作在低频段。

#### (1) 独立部署

独立部署（Stand alone operation）覆盖和容量最大，是将 NB-IoT 部署在 LTE 频谱边缘的保护频段，方式比较灵活可以 GSM/UMTS/LTE 网络内部署，不依赖于 LTE，与 LTE 可以完全解耦，GSM 的信道带宽为 200KHz，这刚好为 NB-IoT 的 180KHz 带宽辟出空间，且两边还有 10KHz 的保护间隔。如图 3-5 所示为 NB-IoT 独立部署图。

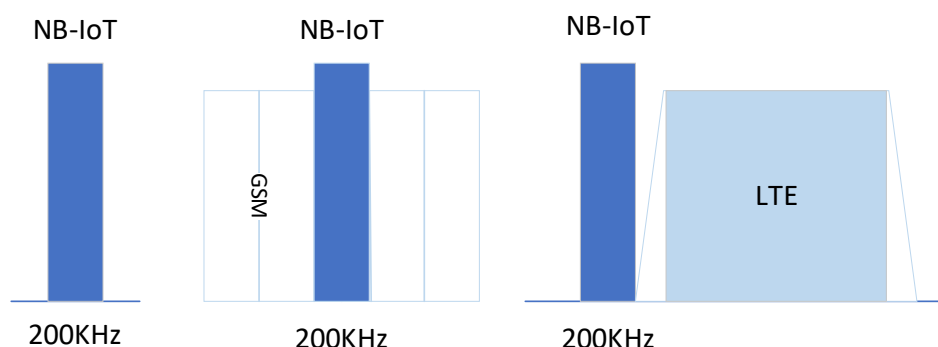


图 3-5 NB-IoT 独立部署图

#### (2) 保护带内部署

NB-IoT 采用保护带（Guard band operation）部署方式，部署在 LTE 保护带内，下行功率受限制，LTE 载波需严格滤波使其保持在 10MHz 以上，LTE 保护带需预留 500kHz 带宽，如图 3-6 所示为 NB-IoT 保护带内部署图。

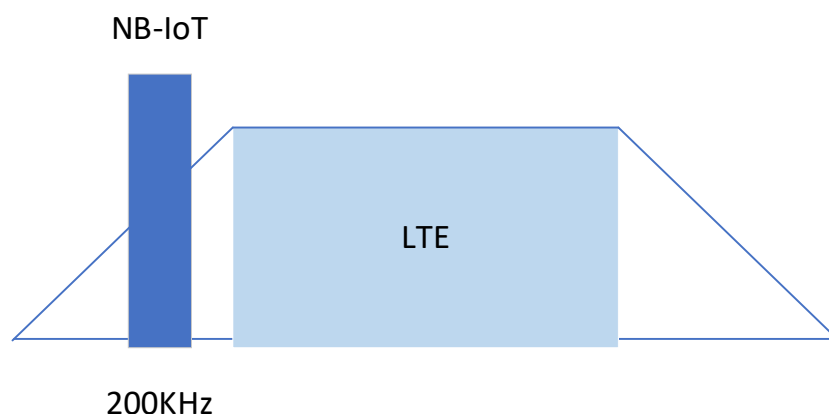


图 3-6 NB-IoT 保护带内部署图

#### (3) LTE 带内部署

LTE 带内部署（In-brand operation），部署在 LTE 使用带宽内，规避 LTE 的 PDDCH，RS 等资源块，下行功率受限，且可用数据业务资源最少，覆盖最小，容量

最小。如图 3-7 所示为 NB-IoT 的 LTE 带内部署。如表 3-2 所示为 3 种部署情况的对比分析。

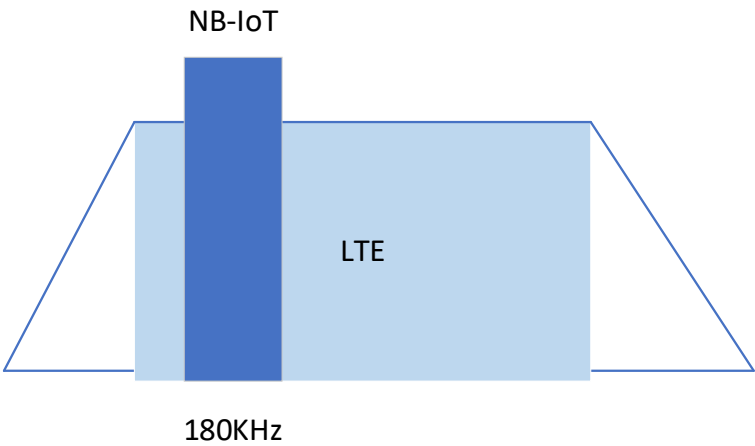


图 3-7 NB-IoT LTE 带内部署

表 3-2 部署情况对比表

部署方式	频谱	共存	小区峰值速率	覆盖	容量
独立部署	频谱独占，无现有系统的共存问题	与 GSM 共存 200KHz 保护间隔	DL130kbs UL240kbs	重发次数少速率高	随机接入容量受限
保护带部署	考虑与 LTE 共存问题，如干扰规避	NL 共站无需保护间隔	DL130kbs UL240kbs	重发次数多速率高	寻呼容量受限
带内部署	考虑与 LTE 共存问题，如干扰规避	NL 共站无需保护间隔，但避开 PDCCH 等	DL95kbs UL240kbs	重发次数多速率低	下行业务信道受限

3.3 云服务框架设计

云服务对应物联网体系中的应用服务层，终端设备连接云平台后，将数据上传到自身服务器，进行应用开发。现阶段物联网云平台功能丰富，已经实现了规则引擎、数据可视化等应用。

C/S 架构对硬件要求高，还需要安装客户端并建立在局域网之上，但 B/S 架构不需要安装客户端，在服务端安装一种服务器就可进行数据交互，而且对硬件要求低，系统维护与升级更简单。在本系统中云服务的位置如图 3-8 所示。

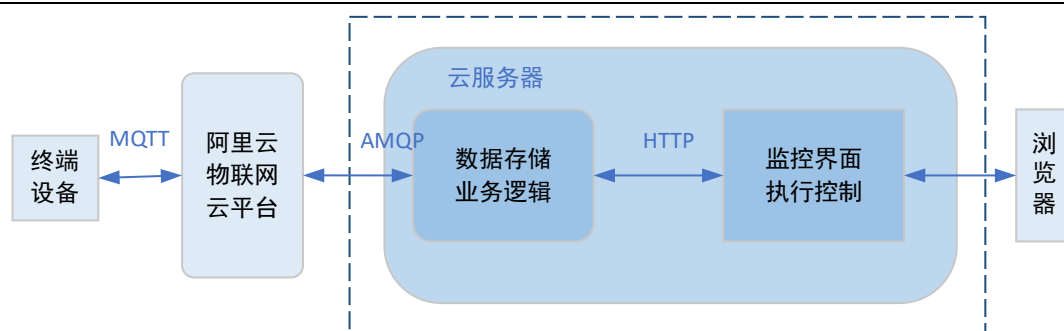


图 3-8 系统云服务位置

Spring 是于 2003 年兴起的一个轻量级的 Java 开源框架，是为了解决企业应用开发的复杂性而创建的，是目前最热门的后端架构，主要有以下优点<sup>[51]</sup>：控制反转：Spring 通过 IoC（Inversion of Control）实现了松耦合；面向切面编程：Spring 支持面向切面编程，把应用业务逻辑和系统服务拆分开，有效解决了传统 OOP 面向对象的实现功能困难的问题；支持声明式事务：有效减少重复性业务管理代码的编写，降低了开发周期；扩展性强：Spring 不仅集成了多种框架，而且具有很强的应用扩展能力；开发效率高：Spring 对 JAVA 内部的 API 进行封装，开发人员可以直接进行调用，提高了开发人员的开发效率。

现存的开源 JavaScript 库，是由 Facebook 公司 React 开发的最受欢迎之一的前端架构。该架构主要功能有：提供丰富的用户界面和组件化开发等<sup>[52]</sup>，本文设计的监控系统也将采用主流 React 作为前端架构，以 Spring 作为后端架构，下面对系统设计用到的关键技术进行分析。

### （1）Spring Boot

Spring Boot 是基于 Spring 开发的轻量级框架，核心理念是“约定大于配置”，传统的 Spring 项目会产生大量的配置文件，极大地增加了开发人员的工作量，Spring Boot 使用默认配置和很少的注解就可以达到同样的效果。Spring Boot 内嵌了 Servlet 容器，可以以 Jar 包的形式独立运行服务，还提供了 Starter 简化 Maven 配置，此外 Spring Boot 几乎集成了所有的主流框架，不需要 XML 配置，极大地降低了开发周期和使用难度。

### （2）MySQL

MySQL 是一种开源免费的关系型数据库，通过 SQL 语言即可实现对 MySQL 的配置。它具有体积小、运行速度快、低成本，支持多种操作系统，具有可扩展性，在多个不同的操作系统上实现简单，提供多个 API，支持多种语言连接操作，而且后台服务稳定，容易维护与管理；数据库在 web 开发过程中，重要性不言而喻，动态网站、界面的变化等都是对数据进行操作与请求，并以特定的格式返回给用户。

(3) Mybatis

传统的 JDBC 数据库由于连接创建、释放频繁等操作，造成系统资源浪费，从而影响系统的性能。Mybatis 是一个持久层框架，支持存储过程、自定义 SQL 和高级映射等功能，通过使用简单的 XML 配置或注解就可将实体类对象映射成数据库中的记录。Mybatis 架构原理如图 3-9 所示。

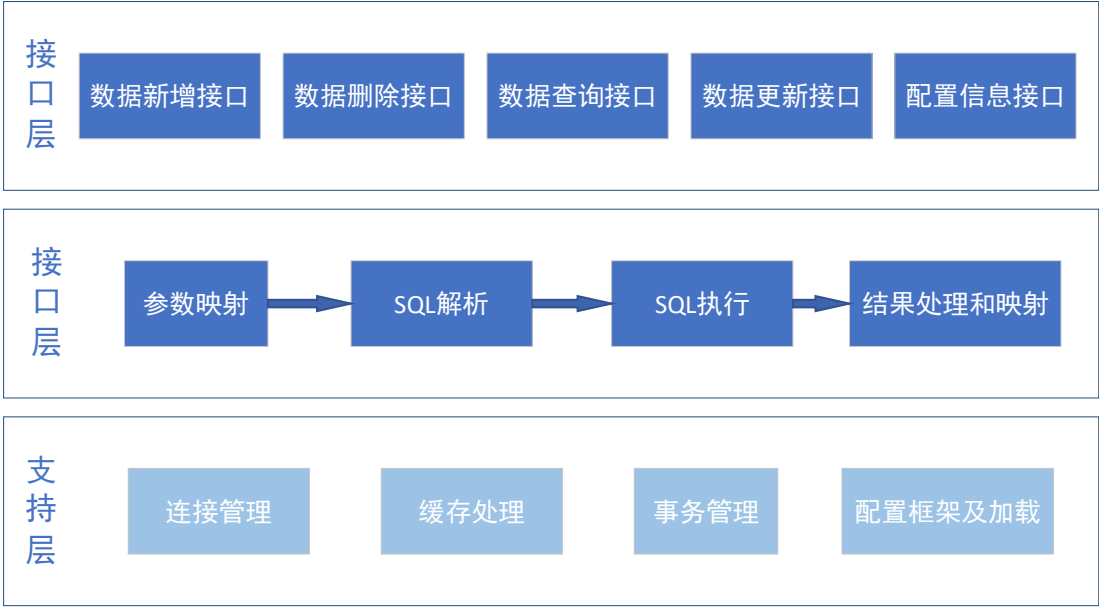


图 3-9 Mybatis 架构原理图

(4) React

React 是 Facebook 开发的一款 JavaScript 库，由于在巨大代码库和庞大组织下 MVC (model-view-controller) 过于复杂，添加新功能或进行特性修改时都需要大量代码维护更新系统。React 采用声明范式和屏蔽底层来降低描述构建应用难度，采用对文档对象模型 DOM 的模拟以减少与 DOM 的交互，不仅改善了界面体验性能，也提高了工作效率。React 采用虚拟 DOM 的方式，用 JavaScript 模拟渲染 DOM 树，减少对 DOM 的干扰提升页面运行效率。虚拟 DOM 原理如图 3-10 所示。

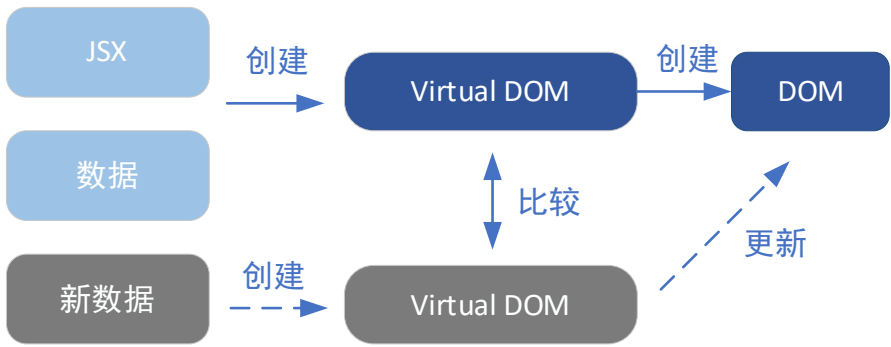


图 3-10 虚拟 DOM 原理

### (5) Dva

React 架构可以使得所有模块组块化,但是,目前的 React 只支援单向数据流,实现双向数据流存在困难。Dva 是一个基于 Redux 的数据流架构方案,核心思想是建立一个数据状态管理仓库(store),用来保存以对象树形态出现的每个组件的状态 state。而组件 props 则能够对 store 中的所有数据状态进行传输,但是如果与 props 关联的数据改变,这样做就会引发组件的重新渲染功能,本系统的整体云服务架构如图 3-11 所示。

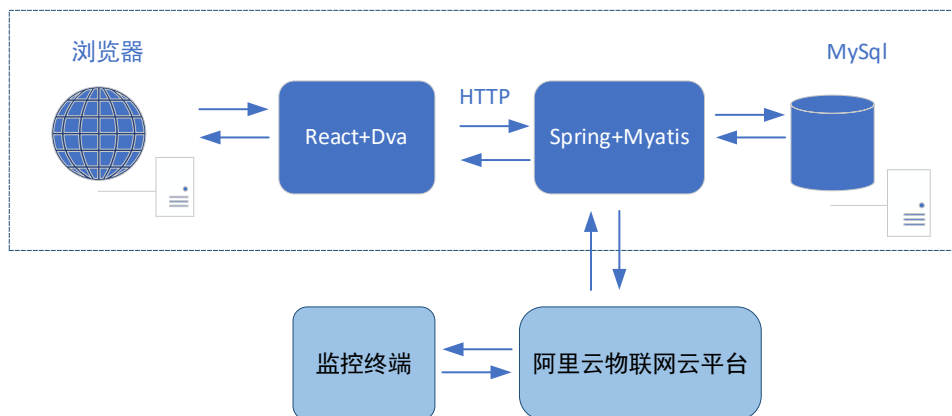


图 3-11 云服务架构图

## 3.4 本章小结

本章主要是对 NB-IoT 技术特点进行分析与云服务技术的分析与设计。首先对物联网通信技术进行研究,对比了当下有线与无线传输方式的优缺点,及远距离无线传输与近距离无线传输方式进行分析对比,最终选择 NB-IoT 作为本系统的通信方式,并介绍了其的主要技术特点优势,并对其技术特点进行进一步分析包括 NB-IoT 的网络架构与部署模式。接着介绍了对比分析了 MQTT 协议与 CoAP 协议的特点,最终选择 MQTT 协议,并对 MQTT 进行业务设计。然后结合设施温室监控需求,使用 SpringBoot + Mybatis 的管理架构,结合 MySQL,完成应用层的架构设计,并介绍了关键特点、主要原理以及其相关的关键技术。整个服务架构依托于云服务器,保证安全性的基础上方便部署、管理和后期维护。

## 第四章 系统硬件设计与实现

实现系统正常运行需要可靠稳定的硬件基础,是实现设施温室监测的设备基础,根据前文所述基于 NB-IoT 技术和物联网云平台的监控系统架构对系统的硬件部分进行设计。本章主要是对硬件部分进行合理的设计与实现,主要围绕主控芯片与各个模块展开介绍。

### 4.1 系统硬件总体设计

设施温室监控系统主要包括环境因子监测部分、无线数据传输部分、数据服务部分组成,环境采集终端是整个系统的底层也是整个系统运行的基础。本文采集终端主要分为电源管理模块、主控模块、传感器数据采集模块、指令控制模块以及 NB-IOT 通信模块五个模块。

各个模块功能主要包含:供电管理模块给整个控制系统中的模组供电,确保所有模组的正常工作;主控模块作为整个硬件控制系统的核心,用来接收已收集的上行数据信息并执行下行指令;数据采集模块获取环境信息和终端的定位信息,包含空气湿度监测模块、气体浓度监测模块、光照强度监测模块;指令控制模块执行从主控模块接受到的指示;通信模块包含 SIM 卡、信号接收电路、NB-IoT 模组和用来同 PC 端通信的串口集成电路,将传感器采集数据发送给云服务器并将收到的云服务器指令传递给主控模块。

监控终端的主要功能为环境因子的数据采集、采集到的数据上传到云平台和响应上位机的控制指令<sup>[53]</sup>。系统采用 STM32F103 开发板,通过外界各个传感器模块与 BC26 模块进行生态因素数据采集和上传数据,主控系统通过控制继电器进行控制设备的开关状态。

硬件终端架构如图 4-1 所示,包括传感器模块、BC26 无线通信模块、微处理器模块以及电源模块。传感器模块通过电路板上的硬件通信协议双向二进制同步串行总线 (Inter-Integrated Circuit, I<sup>2</sup>C) 或者单总线定期将采集到的环境数据传输到微处理器模块,微处理器模块将数据打包后发送到 NB-IoT 模块,当 NB-IoT 模块收到数据时,通过 AT 命令集将数据信息发送到 NB-IoT 基站。电源模块负责给所有硬件组成部分供能。

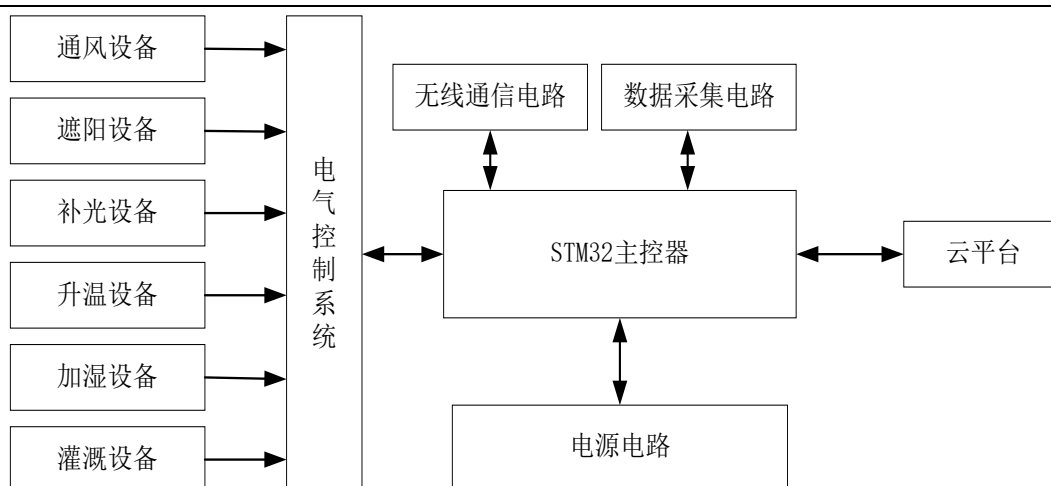


图 4-1 终端硬件架构图

## 4.2 主控系统

### （一）STM32 芯片介绍

STM32 是新的基于 ARM 内核的 32 位 MCU，ARM 公司的内核要求为高性能、低成本、低功耗的 Cortex-M 内核，标准的 ARM 结构。STM32 芯片有着优异的表现：高性能：采用 Cortex-M4 内核，带 FPU 和增强的 DSP 指令集，极致的运行速度，最高运行频率可达 168MHz。

低电压低功耗：主频为 168MHz 情况下，功耗为 38.6mA，供电电源低至 1.7 伏；

更大的存储空间：1M 字节 FLASH，高达 196K 字节的内嵌 SRAM，满足大内存需求和大数据存储，满足各种应用需求；

更强的外设：具有更快的数模转换速度以及工作电压，32 位定时器、带日历功能的实时时钟（RTC）、4K 字节的电池备份 SRAM 以及更快的 USART 和 SPI 通信速度；

性价比高：全面丰富的技术文档，保持高性能的同时价格合理。

本系统 MCU 采用 STM32F103C8T6 芯片，资源包括：20KB SRAM、64KB FLASH、3 个 16 位通用定时器、1 个 16 位高级定时器，1 个 DMA 控制器、2 个 SPI、3 个 UART、1 个 CAN、2 个 12 位 ADC、1 个 RTC、2 个看门狗和 36 个通用 IO 口，定时器中包含 PWM 输出、输入捕捉以及输出比较，主要功能体现在对温室内环境因素的数据采集与数据传输。

### （二）STM32F03C8T6

MCU 的最小系统就是使单片机能够实现简单运行的最少的原件的组合。一般包含以下几个部分。晶振，一般是 4-26MHz，这里我们选择的是 8MHz；复位电路（用于复



位)。供电电路(支持 1.8~3.6V 电源),还可以用电池为 RTC 和备份寄存器供电;BOOT 启动模式选择电路等。STM32 复位电路为低电平复位。MCU 原理图如图 4-2 所示:

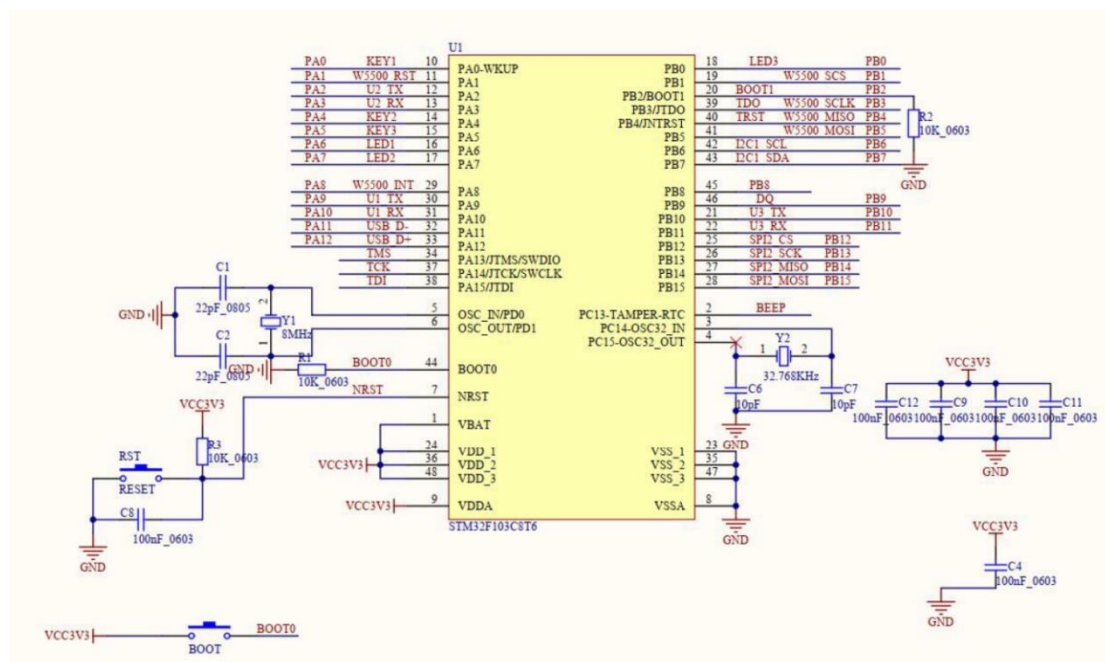


图 4-2 MCU 原理图

STM32F103C8T6 共有 48 个引脚,而且大部分 IO 口都耐 5V(模拟通道除外);支持在线仿真调试,SWD 和 JTAG,SWD 只需要 2 根数据线,RESET 是 CPU 的低电平复位引脚。功耗很低,可以支持三种低功耗模式:睡眠、停止和待机三种低功耗模式。强大的时钟系统,外部可接 4~26MHz 的外部高速晶振,这里我们选择 8MHz。

### (三) JTAG/SWD 接口

采用标准的 20 针 JTAG/SWD 接口,JTAG 接口是 ARM 早期的调试接口标准,需要 20 个引脚。SWD 接口只需要 4 个引脚,即 VDD、GND、SWDIO、SWCLK,使用非常方便,进行下载调试。电路如图 4-3 所示:

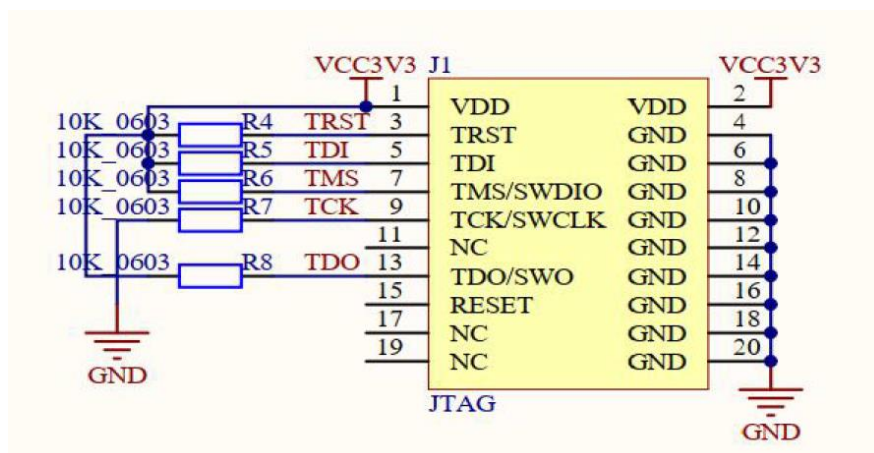


图 4-3 JTAG/SWD 接口图



#### (四) BOOT启动模式接口

STM32 在复位启动的时候会优先检查 BOOT 引脚设置,判断从哪一个存储器启动。电路图中的 BOOT0 已经默认下拉到地,默认从主闪存启动,也就是 FLASH 启动;从系统存储器启动一般用于串口下载,这时就要按下 BOOT 按键,将 BOOT0 接 3.3V,复位系统,STM32 即从系统存储器启动,然后就可以串口下载了。BOOT 启动模式电路如下图 4-4 所示:

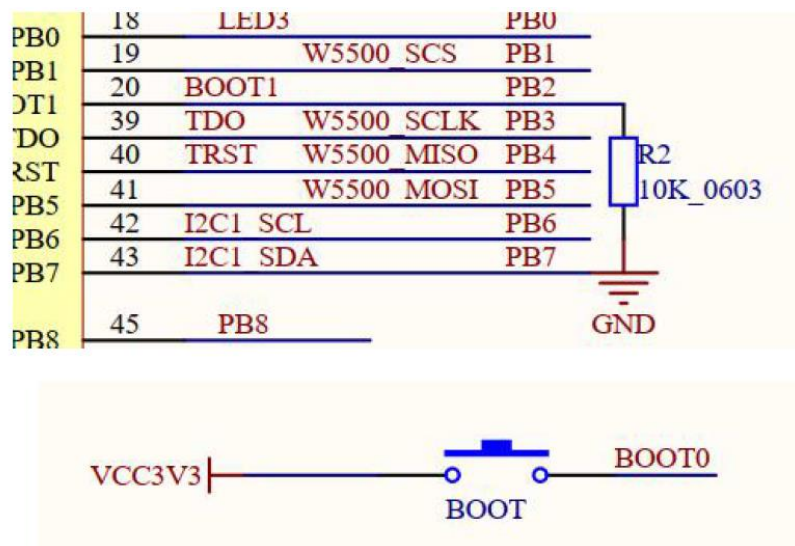


图 4-4 BOOT 启动模式电路图

### 4.3 各模块硬件设计

#### 4.3.1 电源模块

板子需要的电源有 5V 和 3.3V, 5V 电源由 USB 口或 5V 适配器电源接口提供, 3.3V 电源由板载的 AMS1117-3.3 芯片提供, 将 5V 电源转换成 3.3V, D3 为红色电源指示灯, 通电后指示灯亮, P1 为双排排针接口, 对外提供 5V 和 3.3V 电源, 便于扩展, 电路如图 4-5 所示:

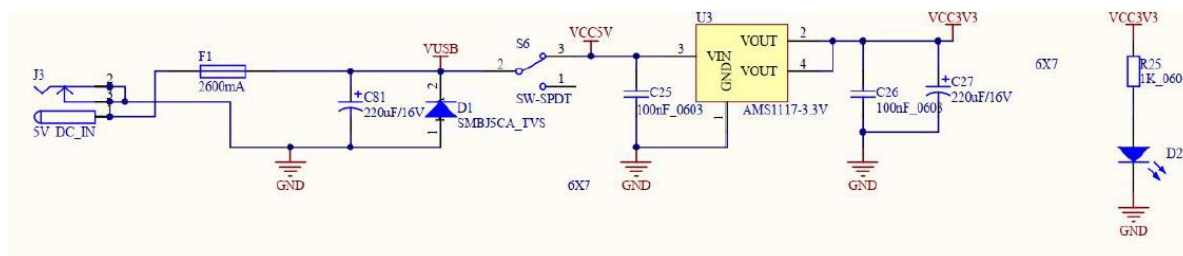


图 4-5 电源电路图

## 4.3.2 通信模块

BC26<sup>[54]</sup>是一款高性能、低功耗的NB-IoT系列模块。BC26模块通过NB-IoT通信技术，MQTT通信协议可与网络运营商的基础设备建立通信。如图4-6所示为BC-26的接口图：

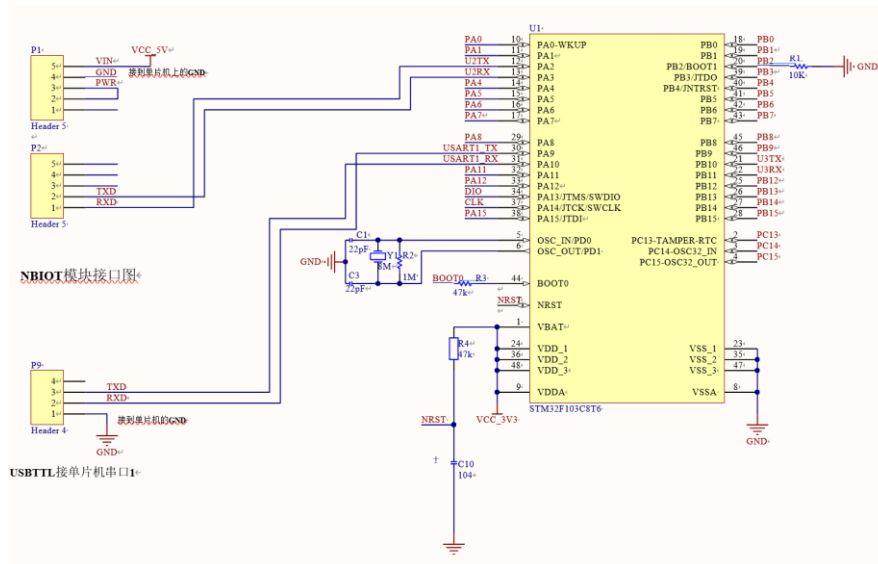


图4-6 BC-26接口图

BC26模块共有58个引脚，其中44个为LCC引脚，其余14个为LGA引脚。详细阐述了以下功能、引脚以及接口：PSM、电源、RESET、PWRKEY、串口、SPI接口、USIM接口、ADC接口、网络状态指示、天线接口。BC26具有UART，SPI，ADC等丰富的外部接口和UDP/TCP，CoAP，LWM2M等协议栈，同时也支持中移One NET、阿里云等物联网云平台，常用于智能抄表、智能路灯、智慧城市、智慧农业等其他诸多行业。该模块完全符合欧盟RoHS标准。BC26模块主要性能如表4-1所示：

表 4-1 BC26 主要性能

参数	性能
供电	供电电压范围：2.1V-3.6V，典型供电电压：3.3V
省电模式	PSM 下最大耗流：待定
发射功率	23dB±2dB
网络协议特性	UDP/TCP/CoAP/LWM2M
温度范围	工作温度：-53~75℃，存储温度：-40
数据传输特性	Single-tone：25.5kbs(下行)，16.7kbs（下行）
天线接口	50Ω 特性阻抗

### 4.3.3 温湿度监测模块

DHT11是一款湿温度一体化的数字传感器<sup>[55]</sup>。DHT11工作在5V电源电压下，功耗很低，平均最大工作电流为0.5mA。DHT11的技术参数如表4-2所示：

表4-2 DHT11技术参数表

特性	范围
工作电压	3V-5.5V
工作电流	平均 0.5mA
输出	单总线数字信号
测量范围	20~90%RH, 0~50℃
精度	湿度±5%，温度±2℃

DHT11 的供电电压为 3~5.5V，为了去耦滤波，电源引脚之间可增加一个 100nF 的电容，为了增强信号的抗干扰能力并在 DATA 引脚并联一个 5K 以上的上拉电阻。在传感器上电后，要等待 1 秒且不发送任何指令，以越过不稳定状态。DHT11 典型电路图如图 4-7 所示：

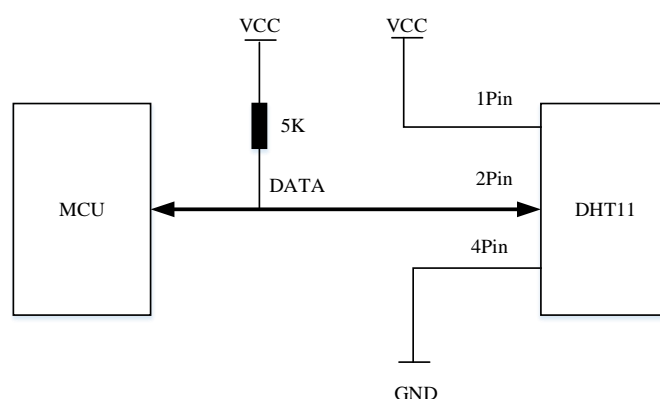


图 4-7 DHT11 典型电路图

DHT11 连接到 STM32 的 PB9 管脚，上接一个 4.7K 的上拉电阻，当总线闲置时保持其状态为高电平，保证数据正常传输。DHT11 为主从式的传感器，只有主机发送开始信号后 DHT11 才能应答进行数据传输，可根据传输数据的特性按照需求提取整数部分或者提取完整数据进行显示。DHT11 在采集数据时会进入高速模式，满足数据采集的实时性，当数据采集结束后会自动进入低功耗模式，降低不必要的损耗。DHT11 温湿度传感器的工作电路如图 4-8 所示：

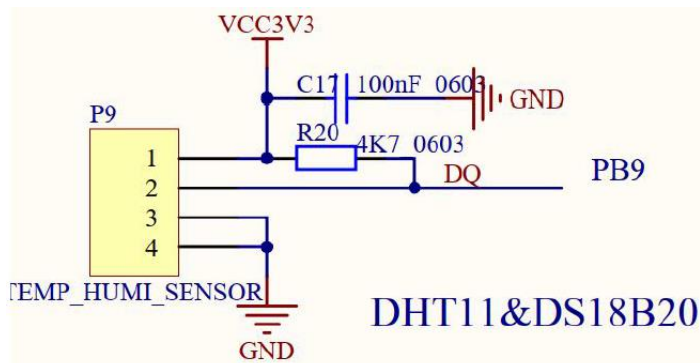


图 4-8 DHT11 接口电路

数据可分为整数部分与小数部分，高位先出。DATA 采用单总线数据格式，用于 MCU 与 DHT11 之间的通讯和同步，一次通讯时间 4ms 左右。传感器数据输出的是未编码的二进制数据，数据之间应该分开处理。

#### 4.3.4 光照强度监测模块

BH1750<sup>[56]</sup>是一种用于二线式串行总线接口的数字型光强度传感器。该集成电路最适合于获取手机液晶屏和键盘背光功率调节所需的环境光数据。它可以在高分辨率下探测较大范围的光强度变化，通过 50Hz/60Hz 除光噪音功能实现稳定的测定，最小误差变动在  $\pm 20\%$  左右。如图 4-9 所示为 BH1750 的接口电路图：

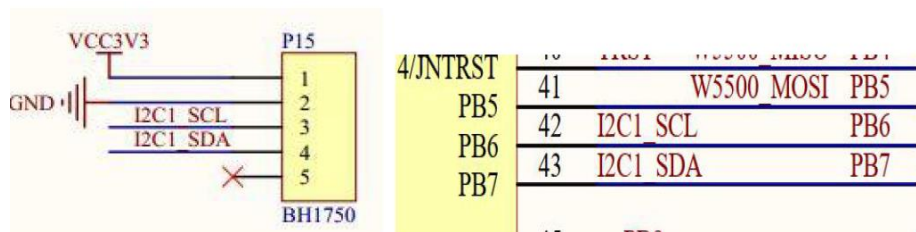


图 4-9 BH1750 接口电路图

BH750 的通讯过程：第一步为发送上电命令；第二步为发送测试命令，ADDR 引脚是接 GND 的，发送的测量命令是“连续高分辨率测量”；第三步等待测量结束，高分辨率连续测量需要等待的时间长，平均为 120~180ms，为了保证每次读取到的数据都是最新测量的，程序上面延时 200ms 以上；第四步为读取数据；第五步计算结果，从 BH1750 寄存器读出来的是 2 个字节的数据，先接收高 8 位，后接收低 8 位，把这 2 个字节合成一个数乘上分辨率，再除以 1.2 即得到光照值。如表 4-3 所示为此传感器的主要工作参数：

表 4-3 主要参数

参数	符号	范围	单位
电源电压	$V_{\max}$	4.5	V
工作温度	$T_{\text{opr}}$	-40~85	°C
存储温度	$T_{\text{stg}}$	-40~100	°C
反向电流	$I_{\max}$	7	mA
功耗损耗	$P_d$	260	mW

### 4.3.5 CO<sub>2</sub> 浓度监测模块

MH-Z19B 二氧化碳气体传感器（红外 CO<sub>2</sub> 传感器）是一个通用智能小型传感器，采集原理是利用非色散红外（NDIR）对空气中存在的 CO<sub>2</sub> 进行探测，不具有温度补偿的特点，优点是使用寿命长，具有高灵敏度、高分辨率、低功耗，具有很好的无氧气依赖性，同时具有串口输出、模拟输出及 PWM 输出，方便使用。主要应用在暖通制冷设备，空气质量监控设备，新风系统，空气净化设备，智能家居，学校等。MH-Z19B 型传感器负责 CO<sub>2</sub> 浓度的采集，如图 4-10 所示为此传感器的实物图。将传感器  $V_{\text{in}}$  端接 5V，GND 端接电源地，STM32 的 USART1 通过 CH340 芯片与电脑连接，USART2 的接收端 RX 连接 MH-Z19B 的发送端 TX，USART2 的发送端 TX 连接 MH-Z19B 的接收端 RX。

图 4-10 CO<sub>2</sub> 传感器实物图

MH-Z19B 型二氧化碳气体传感器广泛运用于各类工控环境等场合。技术指标如表 4-4 所示。

表 4-4 MH-Z19B 技术指标

技术指标	MH-Z19B CO <sub>2</sub> 传感器
供电电压	4.5~5.5V DC
平均电流	<20mA (5V 供电)

---

峰值电流	150mA (5V 供电)
测量范围	400~10000ppm
输出信号	串口 (UART) (TTL 电平 3.3V)
响应时间	90~120 秒
工作温度	-10℃~50℃
工作湿度	0~95% RH (无凝结)
使用寿命	至少 5 年

---

#### 4.4 本章小结

本章主要是对设备终端的硬件进行搭建,包括硬件元器件的选型以及性能介绍、然后对整体的硬件框架搭建,将硬件设备模块化处理,主要分为主控模块、电源模块、传感器数据采集模块、无线通信模块;供电管理模块给整个控制系统中的模组供电,确保所有模组的正常工作;主控模块作为整个硬件控制系统的核心,用来接收已收集的上行数据信息并执行下行指令;数据采集模块获取环境信息和终端的定位信息,包含空气湿度监测模块、气体浓度监测模块、光照强度监测模块;指令控制模块执行从主控模块接受到的指示;通信模块包含 SIM 卡、信号接收电路、NB-IoT 模组和用来同 PC 端通信的串口集成电路,将传感器采集数据发送给云服务器并将收到的云服务器指令传递给主控模块。

## 第五章 终端层软件设计与实现

### 5.1 软件总体工作流程

系统终端设备对环境因素的采集是通过 MCU 主控芯片连接控制各个传感器组成传感器网络实现对数据的采集获取，首先需要对串口及各硬件模块包括传感器模块、无线通信模块等硬件进行初始化，初始化后各模块进入正常运行，然后开始数据的采集；为提高数据的真实性与准确性，需要对数据进行校验后才可通过 BC-26 模块传输；硬件各模块完成初始化后、MCU 会进入一个低功耗的等待的状态，等待对应 GPIO 端口指令唤醒，接着 BC26 模块开始连接服务器等待数据的传入，当 GPIO 口有传感器发送的数据时，微处理器被指令唤醒退出低功耗的等待模式，对传入的信号做出响应，开始新的一个周期的数据采集；将采集到的数据通过 NB-IoT 技术传输至云平台；微处理器会再次进入低功耗等待状态，等待下一次采集命令的到来；当 NB-IoT 模块收到数据传来的指令时，退出工作模式，通过 AT 命令集将数据信息发送到 NB-IoT 基站。基站数据传输到过云端，在云端服务器进行分析处理，当采集的数据超过设定阈值时可以在云端显示报警信息，对应的控制设备对报警做出反应。设施环境监测网络的软件工作流程图如图 5-1 所示：

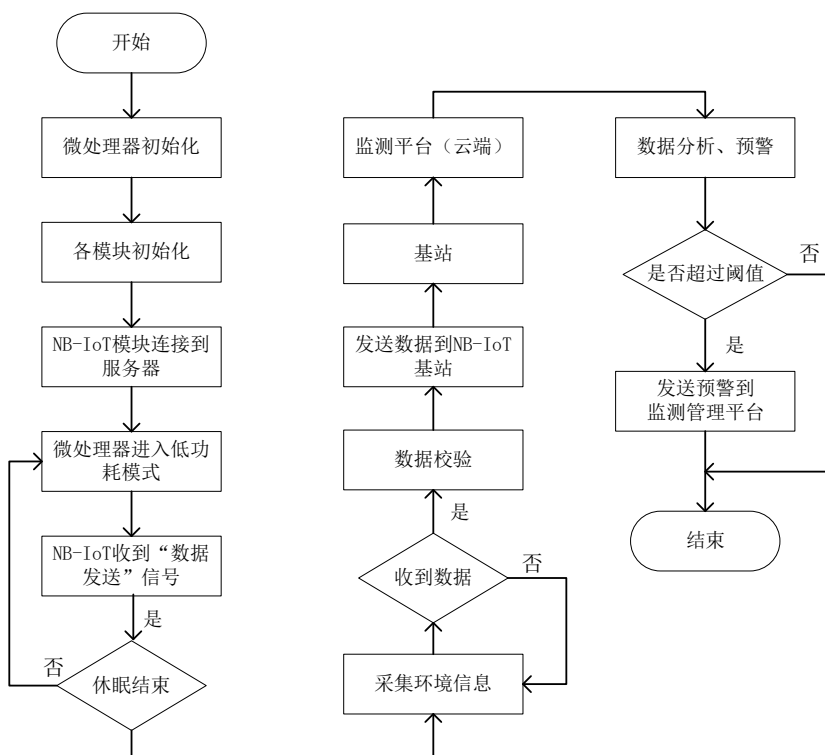


图 5-1 系统软件工作流程图

系统软件整体结构设计主要包含监测平台、云端的软件架构流程以及各传感器节点的软件架构流程设计，具体软件总框架设计如图 5-2 所示。

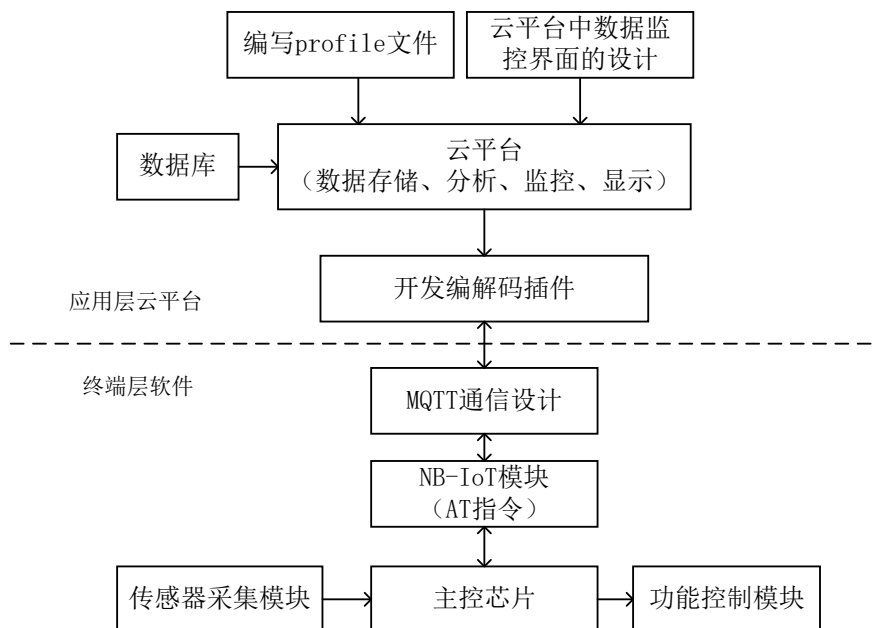


图 5-2 系统软件总框架图

## 5.2 环境监控模块程序设计

### 5.2.1 温湿度监测程序设计

首先进行系统时钟初始化，LED 初始化，然后检测 DHT11 元器件是否存在，如果返回非 0 的值就认为不存在。延时一秒后进行温湿度的测量，每隔 1 秒进行一次温湿度采集，首先判断返回结果是否等于 1，等于 1 证明返回结果有效，然后可以在串口中打印信息。温度采集部分代码如图 5-3 所示：

```
u8 DHT11_Get_TemperAndHumi(DHT11_Data_TypeDef *DHT11_Data)
{
    if(DHT11_Reset() == 0)
    {
        //开始接收数据
        DHT11_Data->humi_int = DHT11_RD_Byte();
        DHT11_Data->humi_deci = DHT11_RD_Byte();
        DHT11_Data->temp_int = DHT11_RD_Byte();
        DHT11_Data->temp_deci = DHT11_RD_Byte();
        DHT11_Data->check_sum = DHT11_RD_Byte();

        if(DHT11_Data->check_sum == DHT11_Data->humi_int+DHT11_
            return 1;
        else
            return 0;
    }
    else
        return 0xFF;
}
```

图 5-3 温湿度采集部分代码



### 5.2.2 光照强度监测程序设计

光敏电阻对光照十分敏感,最大电压为 150V,最大功耗 100mW,光谱峰值 540nm。在无光的黑暗状态下呈高阻状态,暗电阻一般可达  $1.5\text{M}\Omega$ 。光照强度与阻值呈反比,光照愈强,阻值就愈低。

光照愈强,阻值就愈低,随着光照强度的升高,电阻值迅速降低,亮电阻值可小至  $1\text{K}\Omega$  以下。如图 5-4 为光敏电阻光照度与阻值曲线图,可知,当光敏电阻达到  $10\text{k}\Omega$  时,光照强度仍然不足 100lux。若是继续降低光敏电阻阻值,则光照条件不再适合植物光合作用,所以将光敏电阻的阻值  $10\text{k}\Omega$  作为光敏电阻的阈值。

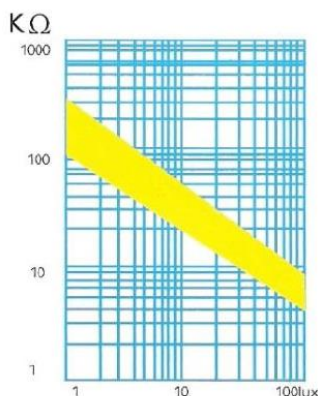


图 5-4 光敏电阻光照度与阻值曲线图

将一只 10 千欧的电阻与光敏电阻串连在一起,即当 ADC 检测电压低于  $3.3\text{V}/(10\text{k}+10\text{k})\times 10\text{k}=1.65\text{V}$  时,光照强度不够。光照的部分检测代码如图 5-5 所示:

```
float BH1750_Read(void)
{
    uint16_t val;
    float val_lx;    //照度

    val = BH1750_IO_Read();    //数据读取

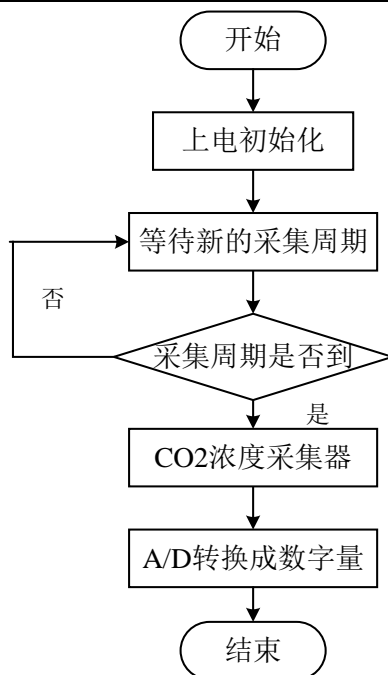
    val_lx = (float)val/1.2f;

    return val_lx;
}
```

图 5-5 光照检测部分代码

### 5.2.3 CO<sub>2</sub> 浓度监测程序设计

CO<sub>2</sub> 传感器采集流程如图 5-6 所示。系统上电后先进性上电初始化,然后等待采集周期,采集周期达到后,主控芯片通过串口向 CO<sub>2</sub> 传感器发送采集命令。由于此传感器内部带有自动 ADC 转换器,自动将 CO<sub>2</sub> 模拟信号转换成数字信号。

图 5-6 CO<sub>2</sub> 浓度采集流程图

以接收采集 CO<sub>2</sub> 浓度的命令为例，Byte0 为固定的 0xFF，Byte1 为命令，Byte2 为气体浓度高八位，Byte3 为气体浓度低八位，Byte4~Byte7 为数据保留位，Byte8 为数据校验值。当前 CO<sub>2</sub> 的浓度值可以通过公式（5-1）得出：

$$C_{ppm} = C_H * 256 + C_L \quad (5-1)$$

上述公式中， $C_{ppm}$  为 CO<sub>2</sub> 气体的浓度值， $C_H$  为返回数值的高八位， $C_L$  为返回数值的低八位。为了保证 CO<sub>2</sub> 数据的稳定有效，在最后数据协议的第九字节设置数据校验位，校验的规则如下公式（5-2）， $H_{校验}$  为所得校验和，~为取反符号。

$$H_{校验} = (\sim (byte0 + byte1 + \dots + byte7)) + 1 \quad (5-2)$$

## 5.3 无线通信软件设计

### 5.3.1 NB-IoT 驱动设计

驱动框架设计，如图 5-7 所示，需要开发四个驱动功能：第一个 AT\_Send 是发送 AT 指令，在 AT\_Send 下面需要编写 AT 的发送接口，下层调用串口发送接口；AT\_Receive，AT 接收，最上层是 AT 的接收接口，在接口中进行协议解析返回的状态，最后是串口接收的底层接口；通过解析 AT 状态，AT 发送完成以后，AT 的响应是否成功需要进行检测；LED 显示网络的入网状态、网络的发送状态以及网络的接收状态。

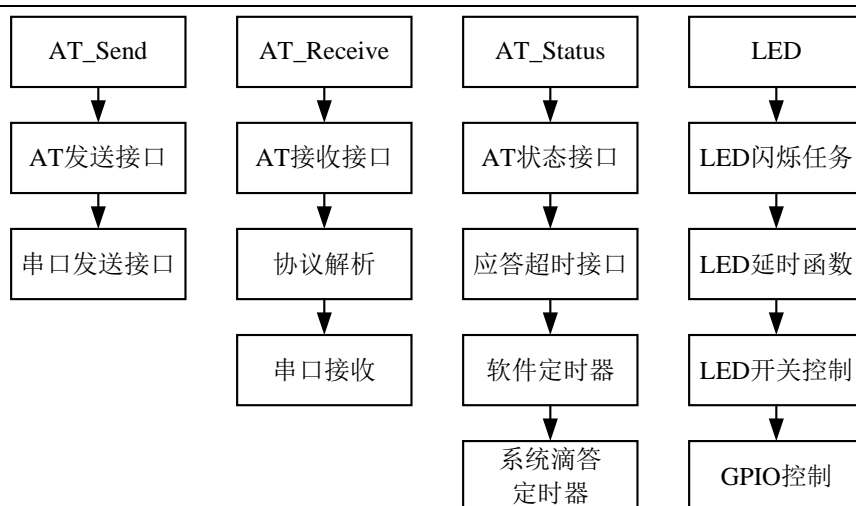


图 5-7 驱动框架设计图

用数据结构来完成 AT 指令的发送(就是发送字符串“AT\r\n”)、解析(接受字符串“OK”)、应答、超时(超时时间)、状态(成功、超时、未收到)以及重发的次数。(新建 nbiodriver.h 和 nbiodriver.c 文件用于 AT 相关)。

### 5.3.2 AT 指令发送与接收

进行 AT 指令的发送首先要进行接收缓存区的清空,防止有其他信息存在会导致解析错误,然后赋值当前 AT 的状态为未接收,接着赋值解析命令值,记录当前传入的 AT 指令用于 AT 解析的任务里进行判断,调用 HAL 的串口数据进行缓存数据的发送,打开发送超时定时器使能指示灯闪烁。

进行指令发送,判断指令是否为第一次,如果当前指令不等于下一条指令,则该指令是第一次运行;获取当前指令的重发次数,然后发送当前指令,改变状态为等待响应,然后退出。指令发送流程图如图 5-8 所示:

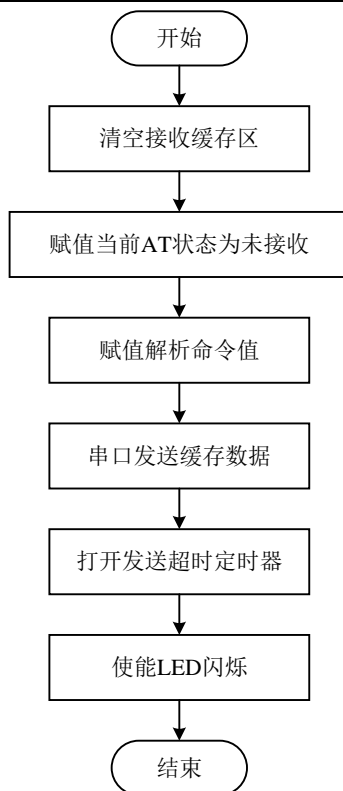


图 5-8 AT 指令发送流程图

AT 指令的接收, 首先要完成串口接收的功能, 第一步进行串口初始化, 开启串口的空闲中断, 当单片机一上电就会产生一个空闲中断, 必须要清除, 否则会立马进入一个空闲中断, 后面用到 DMA 接收, 直接存储器把内存的数据与串口的数据拷贝到内存, 不用 CPU 拷贝便于我们快速处理。如图 5-9 为 AT 指令接收流程图:

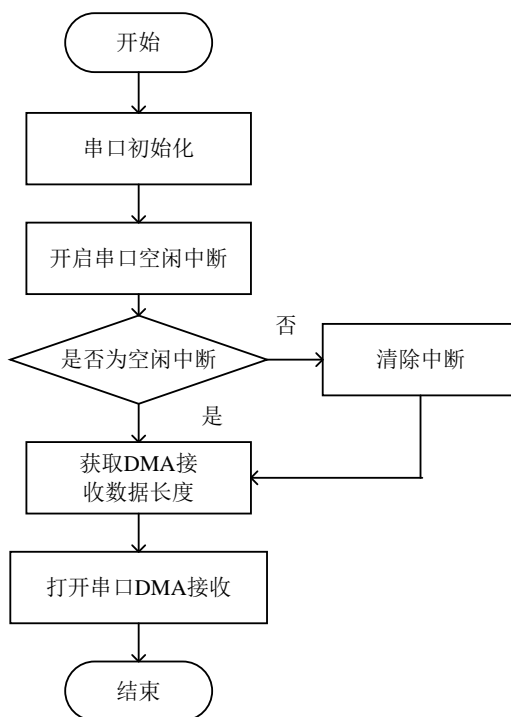


图 5-9 AT 指令接收流程图

Nb-IoT 入网任务状态为：空闲、指令发送、等待响应、入网完成。下一步等待响应，进行 AT 指令解析，判断 AT 应答是否成功，应答成功后判断是否为 AT\_CGPADDR，是的话改变入网状态为完成，否的话切换为下一条指令，继续改变状态为指令发送，跳转指令。判断 AT 应答是否成功，若没有应答成功判断 AT 应答是否超时，改变 AT 指令状态为超时状态，然后判断是否重发，重发次数减 1 继续发送本次指令，改变状态为指令发送，最后跳转指令；改变 AT 指令状态为超时状态后不重发就把 NB 初始化后退出。

NB 初始化流程为：入网状态为指令发送，当前指令为 ATCFYN0，修改 NB\_Task 任务、修改状态 NB\_ACCESS、修改状态 NB\_WAIT、NB\_IDIE。

### 5.3.3 数据无线传输设计

MQTT 通信流程可分为三步，首先在基础工程之上进行修改，增加 AT\_NMGS 指令放在之前的 AT 数据结构里，然后修改 AT 发送函数，对发送的字节长度与包数进行字符串的拼接，最后是修改 NB 的几个任务，修改几个功能状态：入网成功、等待超时响应、空闲任务。入网完成以后立马触发一个发送数据，发送完数据后等待响应，等待响应完毕之后去修改 NB 的空闲任务，在空闲任务里等待下次触发。

BC26 模块通过串口与主控芯片进行通信，并基于 MQTT 协议与物联网云平台通信。数据的无线传输主要是通过配置 AT 指令来完成。BC26 模块进行数据传输需要经过两个步骤，第一步设备需要初始化做好通讯前的准备，使用“AT+CIMI”指令判断 SIM 是否存在，返回“ERROR”是没检测到，重新调整 SIM 卡后重新发送指令，返回“OK”表示 SIM 卡已存在。SIM 卡识别后使用“AT+CGATT”指令查看当前网络的激活状态，返回 1 表示网络激活成功。使用“AT+CSQ”查询当前网络的信号质量，一般返回值为 0~30，若返回值在 0~10 之间表示网络信号不好，再次发送网络查询指令，若返回值在 10~30 之间表明信号良好。第二步使用 MQTT 协议接入阿里云的私有云服务器。如图 5-10 所示 BC26 模块初始化流程。

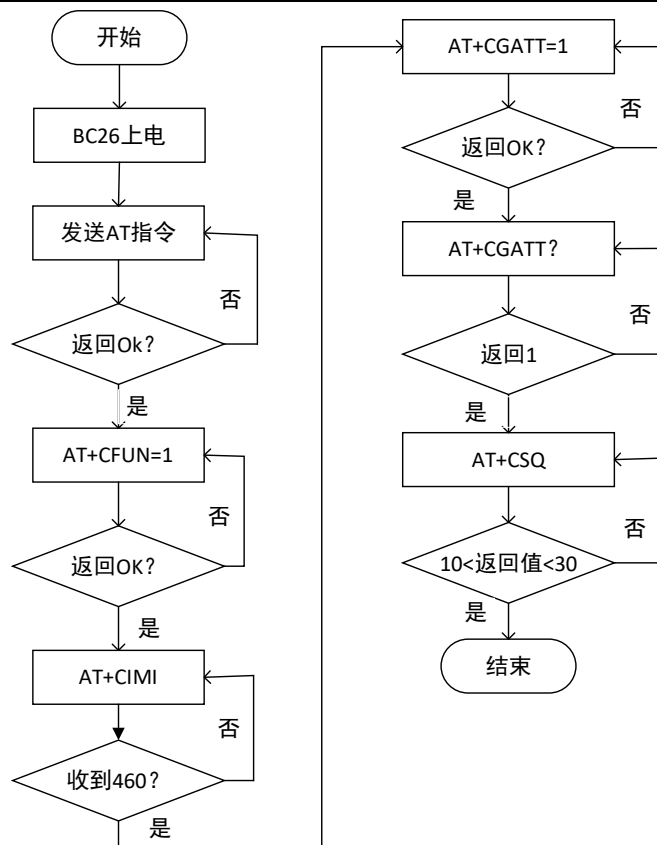


图 5-10 BC26 初始化流程图

数据上传前，在云平台创建产品，接着在刚才创建的产品中添加设备。设备添加成功后会得到设备的三元组信息，如图 5-11 所示为设备三元组信息：

设备证书 ×

设备证书 [一键复制](#)

ProductKey	a1DgFm7mAU9 <a href="#">复制</a>
DeviceName	greenhouse1 <a href="#">复制</a>
DeviceSecret	68f6cc150064fd4c796397c106da29a1 <a href="#">复制</a>

烧录方式介绍

[√一机一密、一型一密介绍](#)

图 5-11 设备三元组信息

首先使用 AT 指令进行设备信息配置，格式为：

AT+QMTCFG="aliauth",0,"ProductKey","DeviceName","DeviceSecret"

指令中的第二个参数为 TCPConnectID，即 MQTT 嵌套字标识符，其中“ProductKey”为产品密钥，“DeviceName”为设备名称，“DeviceSecret”为设备密钥，当设备与物联网平台建立通信时，物联网平台对设备的三要素信息进行认证，发出指令后如果返回“OK”表

示配置成功；返回“ERROR”则表示配置失败。若配置失败，先确认软件版本是否支持此 AT 命令或 AT 指令是否有误，进行重新配置。配置成功后，使用 AT 指令打开 MQTT 的客户端网络，连接到 MQTT 服务器，让 NB-IoT 无线通信模块对接物联网云平台。AT 指令格式为：

AT+QMTOPEN=0,“47.117.124.199”,1883

该指令中的 1883 为服务器端口号，指令中的 IP 地址为云服务器地址，可以为域名或者 IP 地址。发送此指令后如果返回“+QMTOPEN:0,0”，则说明网络开通已经完成，而返回值中的第二个零即为所执行命令结果，不同数值对应着不同的结果，可以通过返回值确定出现的问题类型。当网站成功连接后，接着使 BC26 对接上云平台上的已建立的在线设备，格式为：

AT+QMTCONN=0,“DeviceName”

指令发送后若返回“+QMTOPEN:0,0,0”表示云平台上的设备上线成功，此时设备为在线状态。MQTT 网络打开后需要快速进行匹配，等待时间过长会返回错误。MQTT 是一种长连接协议，只有断电或者主动终止连接设备才会掉线，否则设备会一直在线。

## 5.4 本章小结

本章主要进行了系统软件的设计，系统软件结构设计主要包含监测平台、云端的软件架构流程以及各传感器节点的软件架构流程设计，系统终端设备对环境因素的采集是通过 MCU 主控芯片连接控制各个传感器组成传感器网络实现对数据的采集获取。

## 第六章 监控管理平台设计与系统测试

### 6.1 云端环境配置

云端环境的配置主要是是终端设备与阿里云物联网云平台建立安全可靠的连接，向上提供云端 API，服务端通过调用云端 API 获取设备信息并发送控制信息。

#### 6.1.1 物联网云平台配置

如图 6-1 所示为接入云平台的简单流程，首先要进行开户，开户以后云台会通知我们用户名及密码，拿到用户名与密码后需要登录它的物联网平台，在物联网平台里创建应用，也就是我们的项目，创建完成以后记录下应用的 ID 与密码；根据 ID 密码需要去定义 Profile 和插件，也就是定义设备的类型以及设备的属性和数据通信间的一些数据格式；最后运用实际的硬件进行设备的注册，然后在平台上接入设备，最后对接平台的 API 才可以进行数据的上传和消息的下发。

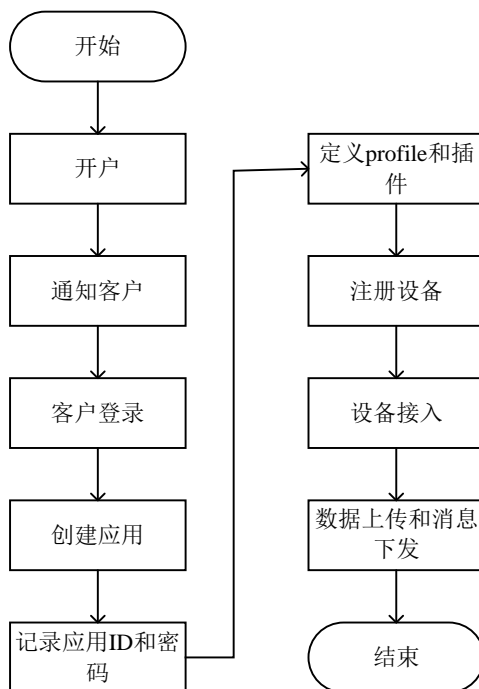


图 6-1 NB-IoT 接入云平台流程图

BC26 移远公司推出的小封装 NB-IoT 模块，支持 2.1V~3.63V 低电压供电，支持 OPEN CPU 开发，下面使用 AT 指令控制 BC26 模块链接阿里云。

#### (1) 设备接入

首先，创建产品，登录阿里云平台-物联网平台-设备管理-产品，点击创建产品，创建一个产品名为“智慧温室”的设备，节点类型选择直连设备，联网方式选择蜂窝网络，



数据格式选择 ALINK 协议。设备上报时候遵循 ALINK 协议，云平台就可以解析数据。在已创建成功的产品中进行我们所需的功能定义，如图 6-2 所示，对当前温度的定义，取唯一标识符，选择数据类型等不同的属性。湿度、光照强度等也是这样，不在赘述。创建完成后在产品列表里就可以找到刚才创建的产品。接着，定义产品功能，以便平台可以按照协议解析数据。点击产品列表-查看，在功能定义选项中，添加标准功能。我们选择温度、湿度、光强、CO<sub>2</sub> 浓度等。创建设备，添加名为“greenhouse1”的设备。点击确定后会弹出三元组信息。一键复制进行保存。

图 6-2 物联网云平台设备接入

## (2) 自定义 Topic

根据业务需求自定义 MQTT 通信的 Topic，本系统需要构建温湿度上传 Topic、光照强度上传 Topic、CO<sub>2</sub> 浓度上传 Topic、各环境因子的阈值设置 Topic，以及超出阈值报警 Topic，以及其他控制设备状态 Topic，如图 6-3 所示。

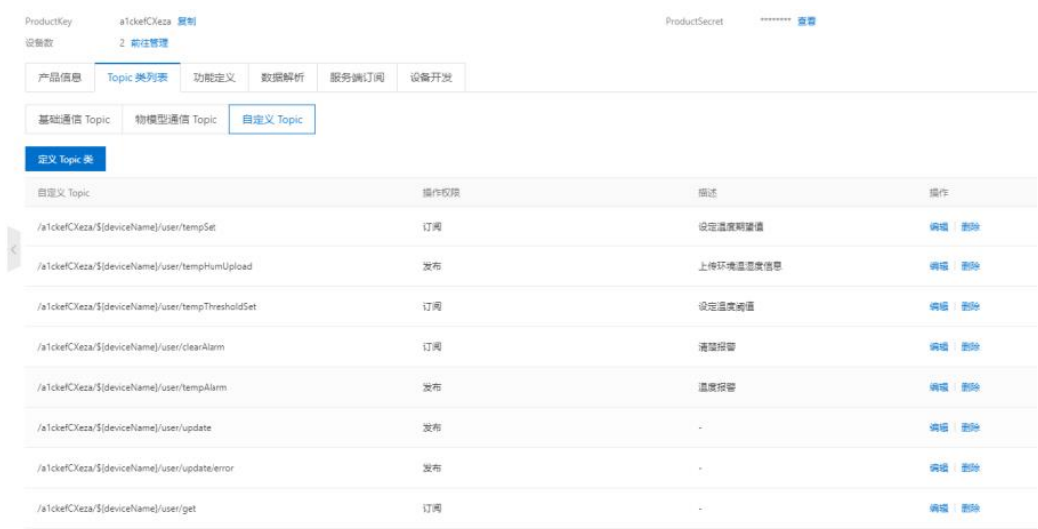


图 6-3 物联网云平台自定义 Topic

(3) 规则引擎

物联网云平台利用规则引擎实现数据流转。首先需要配置好服务端的订阅功能，才能将采集的环境数据上传到自己的服务器进行数据流转。

阿里云物联网云平台支持 AMQP 形式消息队列，配置服务端 AMQP 订阅后，阿里云物联网云平台将产品下所有已订阅类型消息通过 AMQP 通道推到至服务器，其业务流程如图 6-4 所示。

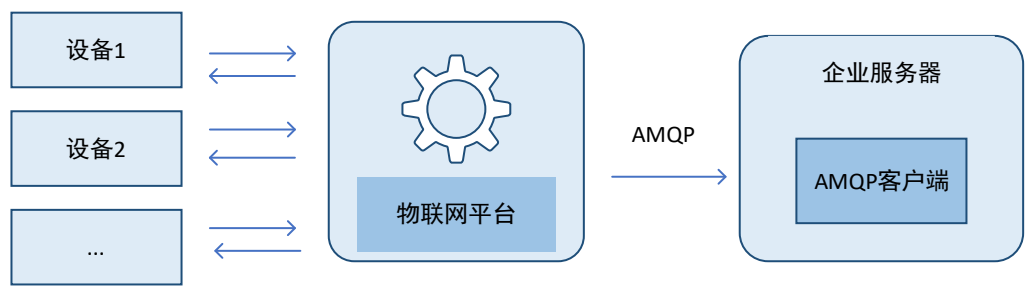


图 6-4 物联网平台 AMQP 配置推送图

首先，服务器与物联网平台进行三次握手建立 TCP 连接，接着对 TLS 校验，然后客户端请求建立连接，并通过指定认证模式 PLAIN-SASL。用户名与用户密码经过验证后建立连接，客户端可以向云端提出请求命令，从而形成云端向客户端传递数据的单向路径。

6.1.2 云服务器搭建

后期为了实现数据的上传到 WEB 端，以及实现终端节点采集的数据可以存储到数据库，需要购买阿里云的服务器 ECS。购买的服务器使用的操作系统是 Linux64 位 Centos8.2、内存 2GB、带宽为 1Mbps、2 核 CPU、40GB 系统盘。阿里云端的数据库采用的是关系型数据库，选用的是 2 核 2GB 规格。云服务概况如图 6-5 所示。

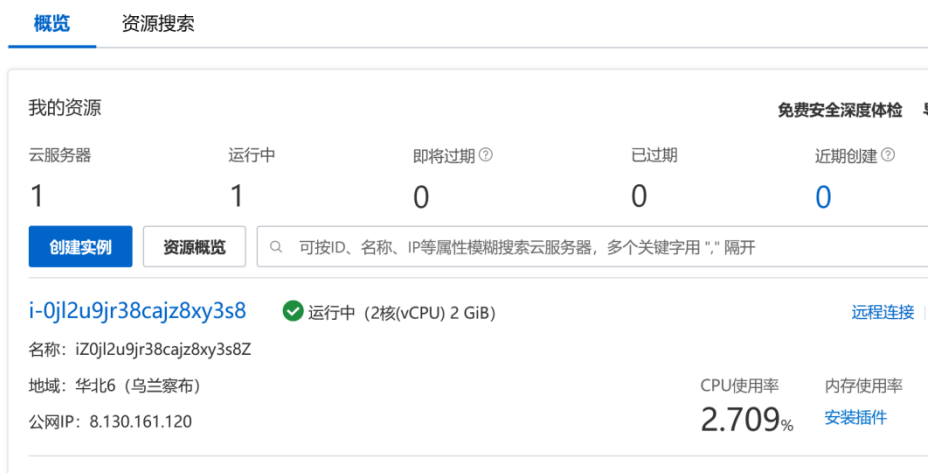


图 6-5 云服务器概况

6.1.3 数据库设计与搭建

(1) 数据库的 E-R 模型设计

在进行数据库开发前，首先需要建立概念模型 E-R 图，本数据库表主要包含管理员或用户的信息表、空气温度表湿度表、光照强度、CO<sub>2</sub> 浓度表、阈值设置表、设备状态数据表等。部分 E-R 图如图 6-6 所示：

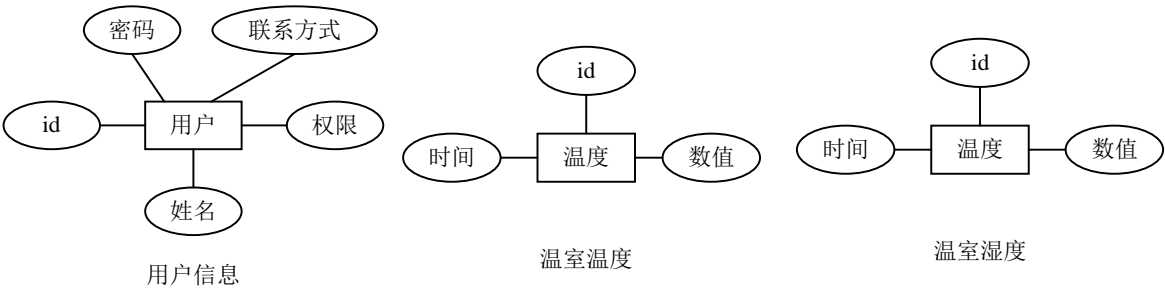


图 6-6 用户信息、温室温度、湿度 E-R 图

(2) 数据库表的设计

建完 E-R 模型后，就可以根据模型建立数据库，然后依据业务信息选择合适的数据类型，设计数据库表以及表与表之间的关联关系，部分数据库表如表 6-1、6-2 所示：

表 6-1 用户信息表

字段	数据类型	长度	作为主键	默认值	说明
Id	Int	20	是	Null	系统编号
Name	Varchar	50	否	Null	用户名
Password	Varchar	20	否	Null	密码
Number	Varchar(50)	11	否	Null	联系号码

admin	Int	20	否	Null	后台管理
-------	-----	----	---	------	------

字段	数据类型	长度	作为主键	默认值	说明
Id	Int	20	是	Null	系统编号
CurrentHum	Int	0		Null	当前湿度
CurrentTem	Int	0	否	Null	当前温度值
CurrentTime	Datetime	0	否	Null	当前时间
cid	Int	0	否	Null	关联温室的外键

本系统使用 MySQL 数据库，首先对安装好的数据库进行一些相关配置，比如数据库地址、字符集、存储引擎、端口号、允许最大连接数等相关配置。配置完成后使用 Navicat 对 MySQL 进行可视化管理，如图 6-7 所示。

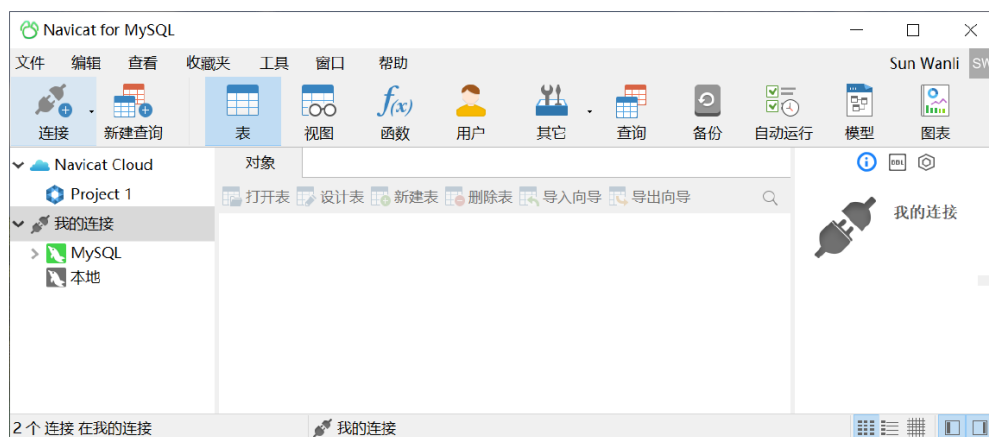


图 6-7 Navicat 管理界面

Navicat 是利用图形界面进行对用户数据库内容的存取、建立和管理的数据库管理工具，利用 Navicat 链接 MySQL 数据库方法，通过 Navicat 连接 MySQL 数据库方式如图 6-8 所示。



图 6-8 Navicat 与数据库建立连接

## 6.2 监控界面的设计

作为前端程序的运行环境，Node.js 有着良好的事件支持机制。本系统使用 Umi 为系统框架，Umi 是在 React 技术基础上研发的实际运行架构，并且支援约定型路由，和配置型路由，大大提高了界面跳转的功能完备性，并便于实现服务拓展。此外，Umi 具有生态完整的插件体系，包括从源码构建到产品完成的各个过程，支撑不同行业需求以及便于行业拓展。

(1) 需求分析。根据设施温室监控系统的功能需求，首先需要管理者的登陆界面，登陆界面可以使用手机号、微信等方式登录，主监测界面主要是实时显示当前的环境状态信息，和最近一个阶段的环境状态的曲线变化，以及监控阈值的设定和执行设备的状态信息、并且管理者可以查询任何时段的历史数据。

(2) 组件开发。在 React 中时基于租金进行设计开发的，需要仪表盘实时显示组件、数据折线图变化组件、按钮控制组件、文本组件等布局组件。

(3)数据的流转。因为 React 只支援单向的数据信息流，所以只能利用父组件将子组成部分的 `prop` 属性传递，但由于父组成部分无法收集到子组成部分状况，所以采用了通过 Redux 的 Dva 技术来实现数据信息流双向流转，基本原理为利用建立了一套数据状态管理库，将每个组成部分的状况都以对象树的形态，存放到数据状态管理库中，库内的各种数据信息都经由子组成部分的 `prop` 传递,而 `prop` 相关的数据变化会引起子组成部分的重复渲染。

(4) 最终根据设施温室系统需求，满足用户登录界面的建立，设备在线状态、温湿度、光强、CO<sub>2</sub> 浓度等数据实时信息以及数据历史曲线，以及报警的阈值的设置，历史信息存储以及历史信息调用等。

### 6.2.1 用户登录模块

用户登录注册模块属于系统管理的一部分，是用户登录系统的第一个界面。此模块分为登录和注册两个部分，用户在 WEB 端没有注册账户时，需要先注册账户。WEB 端的数据通过 MyBatis 框架访问数据库，注册信息在 RDS 数据库内生成记录。注册完成后，用户在登陆界面输入账号密码及验证码，和数据库数据比对成功后便可登陆系统。登录界面如图 6-9 所示。



图 6-9 用户登录界面

6.2.2 实时监测显示模块

温室数据展示可以分为温度、湿度、光强、CO2 浓度的仪表盘式数据展示，以及各个环境因素的实时曲线图显示最近一个阶段的数据变化，右侧是对温室内的环境阈值设置，当监测到的数据异常或超出所设阈值时，会触发界面右下角的开关控制，当温度过高启动温控设备与通风设备，光照不足时启动补光控制。（硬件设施不全采用设备模拟器进行模拟）。图表内的数据通过订阅 MQTT 服务器的主题来获取，实现数据的动态显示。物联网管理平台的设施温室的监控界面如图 6-10 所示：



图 6-10 设施温室监控设计界面

设施温室的监控界面为工作人员的后台管理提供了一个可视化的实时监控温室内环境因子状况的监控界面，主要功能为仪表盘式查看温湿度、光照强度等直观数据，还有环境参数变化的实时曲线图，以及环境阈值的设置和历史数据的查询。

### 6.2.3 历史数据查询模块

历史数据查询模块主要包括监测数据的历史数据查询、报警次数查询及报警历史查询。历史数据查询包括温度、湿度、超声波水位、电子水尺水位及经纬度数据。数据查询可以按照时间段来查询，也可以选择不同的设备进行查询。

## 6.3 系统测试

### 6.3.1 终端设备测试

终端设备测试主要是数据传输、数据采集稳定性测试，如图 6-11 是终端数据采集器与云平台接通后的实物图。多传感器采集情况下，若云端收不到数据多半是通信故障，若某个传感器数据采集不到便是某个传感器问题，然后通过设备编号去确认设备位置进行维修；若是单传感器设备出现故障的话，那两种情况都有可能。



图 6-11 终端采集实物图

### 6.3.2 AT 指令测试

如图 6-12 所示，为 AT 指令测试，如图中发送“AT+CSQ”测试网络信号质量，一般返回值为 0~31，测试结果返回数值 31 表明 NB-IoT 网络信号质量很好。

18:58:09.843收←◆AT	18:58:18.0收←◆AT+CSQ
18:58:09.671收←◆AT	+CSQ: 31,0
18:58:10.515收←◆AT	OK
OK	18:58:19.0收←◆AT+QSIMSTAT?
AT+IPR?	+QSIMSTAT: 0,1
+IPR: 115200	AT+CREG?
AT+IPR?	OK
OK	+CREG: 0,2
+IPR: 115200	OK
AT+CSQ	18:58:20.843收←◆AT+CREG?
OK	+CREG: 0,1
+CSQ: 99,99	AT+COPS?
OK	OK
18:58:10.625收←◆	AT+QMTCFG="KEEPALIVE",0,60
RDY	+COPS: 0,0,"CHINA MOBILE"
18:58:11.15收←◆	OK
+CFUN: 1	AT+QMTCFG="VERSION",0
	+QMTCFG: 0

图 6-12 AT 指令收发测试

### 6.3.3 物联网云平台侧功能测试

设备通过 NB-IoT 无线通信方式和 MQTT 通信协议与物联网云平台建立连接并进行数据交互。设备通电后会自动连接到阿里云平台，在阿里云控制台中心找到之前创建的设备，侧设备的在线状态如图 6-13 所示。

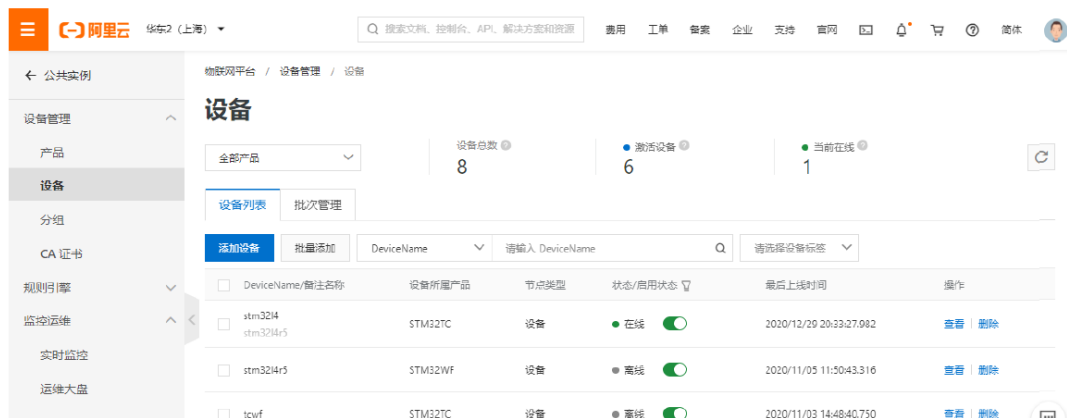


图 6-13 物联网云平台侧设备状态信息

图 6-14 所示物联网云平台日志服务信息，在产品管理中的设备管理中，查看设备 Device 在云平台的日志服务，可以看到终端设备与物联网云平台之间的信息交互情况，包括 Topic 和对应的 Payload，以及云平台通过服务端订阅的形式，以 AMQP 形式发送至云服务器。



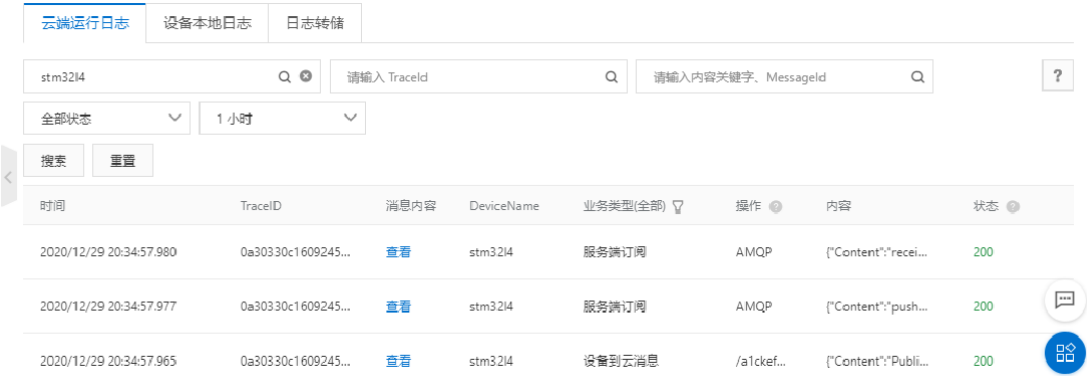


图 6-14 物联网云平台日志服务信息

6.3.4 监控界面测试

可视化界面监控是本远程监测系统重要的组成部分，测试环境 web 可视化界面，物联网平台设备物模型。运行界面如下，温湿度以及光照强度数据误差不大，曲线数据明显看出一整天的变化，设施温室环境监测界面如图 6-15 和 6-16 所示：



图 6-15 设施温室监测界面



图 6-16 设备侧物模型数据监测界面

历史数据查询，可以进行最近 1 小时、最近 24 小时、最近 7 天或者自定义想要查询的日期，历史测量数据如图 6-17 和 6-18 所示：

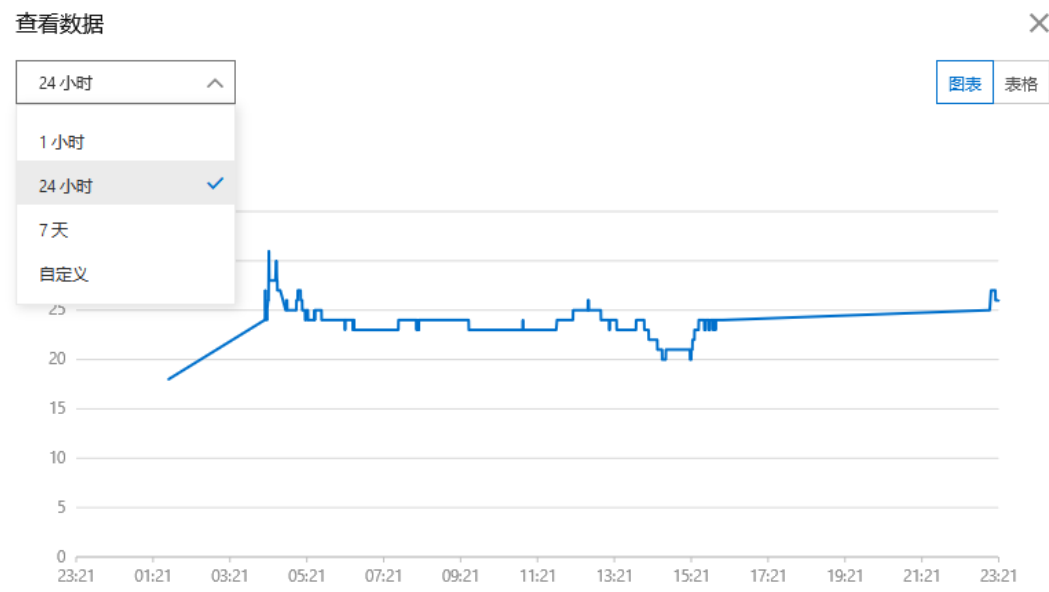


图 6-17 温度历史数据查询界面



图 6-18 光照强度历史数据查询

## 6.4 本章小结

通过系统的云平台的配置、相关云服务和数据库的搭建与设计，搭建了设施温室环境监控系统的人机交互平台，实现设备管理、数据存储、实时监测、历史数据图表展示、远程控制等功能；并对系统进行全方面测试与分析，验证系统数据传输与各部分功能，结果表明基于 NB-IoT 和物联网云平台完成系统的整体结构设计，使系统整体结构模块化，明显提高了系统的可靠性、实用性及稳定性。

## 第七章 总结与展望

### 7.1 工作总结

传统农业温室发展进程缓慢,生产效率低下,非常不利于我国现阶段对农业经济的需求。将物联网技术、传感器技术、嵌入式技术、自动控制技术等与传统的农业大棚相结合,通过对温室内环境状态的监测,加以智能控制手段,来提高传统农业的生产效益、节约人力资源。本论文采用物联网无线通信技术结合物联网云平台,通过对温室内环境状态的监测,进一步提高了农产品质量,提高农业经济效益,进一步改善了温室大棚的生产效率。论文主要完成工作总结如下:

(1) 首先通过查阅相关的文献与资料,对现阶段温室的状况进行总结分析,总结我国现存设施温室的不足之处,学习国外温室的先进之处,并对本设计的监控系统提出需求分析与技术可行性分析;

(2) 对设施温室内植物的成长需求进行分析和实现技术的可行性分析,对物联网云平台技术进行分析,对物联网的三层体系架构逐层分析,并提出适合当前物联网终端的四层物联网监控架构;并对物联网云平台的层次模型与逻辑架构进行详细分析,根据系统的功能需求提出了基于云平台的整体架构设计;

(3) 通过对比多种通信方式,根据优势分析选择 NB-IoT 作为本系统的通信方式,采用 MQTT 协议作为 NB-IoT 与云平台之间的数据通信协议,实现 NB-IoT 通信任务、数据采集任务、数据存储任务、设备执行任务,以及历史数据查询任务等软件设计;

(4) 通过系统的终端硬件和软件程序设计、通信设计、云平台的配置、相关云服务和数据库的搭建与设计,搭建了设施温室环境监控系统的人机交互平台,实现设备管理、数据存储、实时监测、历史数据图表展示、远程控制等功能;并对系统进行全方面测试与分析,验证系统数据传输与各部分功能,结果表明基于 NB-IoT 和物联网云平台完成系统的整体结构设计,使系统整体结构模块化,明显提高了系统的可靠性、实用性、稳定性、实用性。

### 7.2 未来展望

本监测系统的主要功能已经基本实现,但是运用到实际中还需对系统做进一步的改进,主要体现在如下几方面:

(1) 温室大棚环境的影响因子主要考虑了当前 4 种较常见的环境因子，后期随着系统的完善可以把其他影响因子也纳入进来，如土壤温湿度、空气 PM2.5 等环境因素；再加入更多的执行控制设备，比如遮光帘、自动灌溉、加暖增湿设备等，进一步提升温室的智能性与便捷性。

(2) 对于环境参数的测量精准度不够，后期可以改进传感器的选型适用与温室的不同进行传感器的适当布局，提高对环境监测的准确度；

(3) 后面可以提出数据处理的智能算法，对数据进一步优化处理，减少误差提高精准度，并提出对温度趋势变化预测的方案，用算法设计出温室小气候模型预测；

(4) 软件监控平台功能略显单一简单。后期系统还可以将温室的监测图像视频，进行图像的病虫害问题进行图像的智能算法处理等和更智能的控制系统也接入监测系统，达到实时响应的目的，进一步提升温室效率。

## 致 谢

时间总是过的很快，三年时光飞瞬即逝。回想三年的点点滴滴，有多姿多彩的学习时光，也有枯燥乏味的刻苦研究，但更多的是精神与内心的提升，以及三年时光带来的充足与愉悦。

首先，我要感谢的导师杨再强教授与朱节中教授。杨老师对待自己的学生犹如自己的孩子一般，不论在生活还是在学习方面，关心学生面面俱到；在学习上为我指引前进的方向，开拓我的视野与思维，帮助我开拓研究思路，精心点拨；遇到问题时总是耐心指引，细心解答；朱老师严谨求实的态度，踏踏实实的精神，授人以渔，在三年的时间里对学生呕心沥血认真负责，在平时学习与研究方向的选择与把控上提供了很多的建议与指导，教会学生如何学习，如何解决问题，如何面对困难。在此向我的老师致以最真挚的感谢，感谢二位老师的不辞辛苦，感恩老师的谆谆教诲，感谢恩师的孜孜不倦！祝愿恩师身体健康，万事如意，桃李满天下。

同时，感恩我的家人。感恩父母二十多年在背后默默付出与关心，不管遇到什么困难，家人总是站在背后的为我提供避风的港湾与无私的付出。

还有，感谢同学们三年的陪伴。感谢我的同学和朋友，在我写论文的过程中给予我了很多素材，还在论文的撰写和排版过程中提供热情的帮助。

感谢这篇论文所涉及到的各位学者。本文引用了数位学者的研究文献，如果没有各位学者的研究成果的帮助和启发，我将很难完成本篇论文的写作。

由于我的学术水平有限，所写论文难免有不足之处，恳请各位老师和学友批评和指正！最后，向参与答辩工作的各位老师致以衷心的感谢！

## 参考文献

- [1] 郇新, 姬红杰. 农业物联网技术[J]. 轻工科技, 2018, 34(02): 68-69.
- [2] 郭晓月. 浅谈温室自动控制技术的发展[J]. 信息化建设, 2015(08): 333.
- [3] 张虹. 国外节能温室设施[J]. 北方园艺, 1987(01): 38-39.
- [4] 凌可丰. 国外农用温室的发展和应用[J]. 农业工程, 1983(02): 48-49.
- [5] 张直. 从国外温室生产的发展看我国温室生产的现在和将来[J]. 世界农业, 1981(12): 32-34.
- [6] Wang N, Zhang N, Wang M. Wireless sensors in agriculture and food industry—Recent development and future perspective[J]. Computers and electronics in agriculture, 2006, 50(1): 1-4.
- [7] Ullah I, Fayaz M, Aman M, et al. An optimization scheme for IoT based smart greenhouse climate control with efficient energy consumption[J]. Computing, 2021: 1-25.
- [8] Khan F A, Ibrahim A A, Zeki A M. Environmental monitoring and disease detection of plants in smart greenhouse using internet of things[J]. Journal of Physics Communications, 2020, 4(5): 055008.
- [9] Chaudhary G, Kaur S, Mehta B, et al. Observer based fuzzy and PID controlled smart greenhouse[J]. Journal of Statistics and Management Systems, 2019, 22(2): 393-401.
- [10] Hwang J, Shin C, Yoe H. A wireless sensor network-based ubiquitous paprika growth management system[J]. Sensors, 2010, 10(12): 11566-11589.
- [11] Kim Y, Evans R G, Iversen W M. Remote sensing and control of an irrigation system using a distributed wireless sensor network[J]. IEEE transactions on instrumentation and measurement, 2008, 57(7): 1379-1387.
- [12] Liu H, Fang S, Guo X. Research and Design of Intelligent Greenhouse Control System Based on AIoT Fusion Technology[C] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2020, 474(3): 032036.
- [13] M. Azaza, C. Tanougast, E. Fabrizio, A. Mami. Smart greenhouse fuzzy logic based control system enhanced with wireless data monitoring[J]. ISA Transactions, 2016, 61.
- [14] Mohammad Woli Ullah, Mohammad Golam Mortuza, Md Humayun Kabir, Zia Uddin Ahmed, Sovan Kumar Dey Supta, Partho Das, Syed Mohammad Didar Hossain. Internet of Things Based Smart Greenhouse: Remote Monitoring and Automatic Control[P]. DEStech Transactions on Environment, Energy and Earth Sciences, 2018.
- [15] 马增炜, 马锦儒, 李亚敏. 基于 WIFI 的智能温室监控系统设计[J]. 农机化研究, 2011, 33(02): 154-157.
- [16] 傅仕杰. 基于 STM32 的分布式智能温室控制系统[D]. 太原理工大学, 2011.
- [17] 吴晓强, 黄云战, 赵永杰. 基于模糊神经网络的温室温湿度智能控制系统研究[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(04): 63-66.
- [18] 孙力帆, 张雅媛, 郑国强, 冀保峰, 何子述. 基于 D-S 证据理论的智能温室环境控制决策融合方法[J]. 农业机械学报, 2018, 49(01): 268-275.
- [19] 李佳毅, 徐晓辉, 苏彦莽, 何双旺. 基于 Android 平台的智能温室视频无线监控系统[J]. 农机化研究, 2013, 35(08): 188-191.
- [20] 刘振语. 基于 NB-IoT 物联网的温室监控系统的设计与实现[D]. 广西大学, 2020.
- [21] 孟宪宇. 基于 NB-IoT 的充电桩数据监测系统的研究[D]. 哈尔滨理工大学, 2018.
- [22] 常雲果. 基于 NB-IOT 的飞行动物远程监测系统[D]. 郑州大学, 2018.

- [23] 董玉荣, 聂云峰. 基于 NB-IoT 的智慧停车系统研究与设计[J]. 南昌航空大学学报 (自然科学版), 2017, 31(03): 95-99.
- [24] 何灿隆, 沈明霞, 刘龙申, OKINDA Cedric, 杨稷, 施宏. 基于 NB-IoT 的温室温度智能调控系统设计与实现[J]. 华南农业大学学报, 2018, 39(02): 117-124.
- [25] 程学农, 李学明. 基于阿里云平台的智能门锁系统[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2020, 20(09): 75-78.
- [26] Weiser M. The computer for the 21st Century[J]. IEEE Pervasive Computing, 2002, 1(1): 19-25.
- [27] 林勇, 农国才, 郭炳宇. 物联网云平台设计与开发[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019.
- [28] 陈康, 郑纬民. 云计算: 系统实例与研究现状[J]. 软件学报, 2009, 20(05): 1337-1348.
- [29] 薛琳. 基于 iOS 平台的云服务器管理系统研究与实现[D]. 东华大学, 2015.
- [30] 查修齐, 吴荣泉, 高元钧. C/S 到 B/S 模式转换的技术研究[J]. 计算机工程, 2014, 40(01): 263-267.
- [31] 朱文博. 基于 WiFi 的实时环境监测系统设计与实现[D]. 华中师范大学, 2020.
- [32] Wibowo F W. Wireless communication design of internet of things based on FPGA and WiFi Module[C] // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2020, 1577(1): 012035.
- [33] Satyajit Dandi. Study of ZIGBEE Technology and its Application in Wireless Automation System[J]. Journal of Trend in Scientific Research and Development, 2020, 4(2).
- [34] Anitha G, Sathya M, Suganeswar S, et al. Bluetooth Based Home Automation and Security System[C] // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2021, 1916(1): 012106.
- [35] 孙桓. 低功耗蓝牙技术安全浅析[J]. 中国安防, 2021(05): 102-106.
- [36] Carosso L, Mattiauda L, Allegretti M. A Survey on Devices Exploiting Lora Communication[J]. Acta Marisiensis. Seria Technologica, 2020, 17(2): 31-35.
- [37] García-Martín J P, Torralba A. Model of a Device-Level Combined Wireless Network Based on NB-IoT and IEEE 802.15. 4 Standards for Low-Power Applications in a Diverse IoT Framework[J]. Sensors, 2021, 21(11): 3718.
- [38] Abbas A M, Youssef K Y, Mahmoud I I, et al. NB-IoT optimization for smart meters networks of smart cities: Case study[J]. Alexandria Engineering Journal, 2020, 59(6): 4267-4281.
- [39] 张彦, 夏清国. Jabber / XMPP 技术的研究与应用[J]. 科学技术与工程, 2007(06): 1032-1035.
- [40] Silva D, Carvalho L I, Soares J, et al. A Performance Analysis of Internet of Things Networking Protocols: Evaluating MQTT, CoAP, OPC UA[J]. Applied Sciences, 2021, 11(11): 4879.
- [41] Kwizera V P N, Li Z, Lumorvie V E, et al. IoT Based Greenhouse Real-Time Data Acquisition and Visualization through Message Queuing Telemetry Transfer (MQTT) Protocol[J]. Advances in Internet of Things, 2021, 11(2): 77-93.
- [42] 魏磊. 基于 NB-IOT 技术的远程抄表系统的分析与设计[D]. 吉林大学, 2020.
- [43] Parrino S, Peruzzi G, Pozzebon A. LoPATraN: Low Power Asset Tracking by Means of Narrow Band IoT (NB-IoT) Technology[J]. Sensors, 2021, 21(11): 3772.
- [44] García-Martín J P, Torralba A. Model of a Device-Level Combined Wireless Network Based on NB-IoT and IEEE 802.15. 4 Standards for Low-Power Applications in a Diverse IoT Framework[J]. Sensors, 2021, 21(11): 3718.



- 
- [45] 杨家乐. 基于 NB-IoT 技术的车位监测系统的设计[D]. 山东大学, 2021.
- [46] 王大明. 低功耗数据采集与 NB-IoT 传输系统的设计[D]. 大连理工大学, 2021.
- [47] 李梦雅. 基于 NB-IoT 海量接入方案的研究[D]. 江南大学, 2021.
- [48] 孙万里. 基于云平台 and NB-IoT 的物联网监控系统开发[D]. 浙江大学, 2021.
- [49] Sultania A K, Mahfoudhi F, Famaey J. Real-Time Demand Response Using NB-IoT[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2020, 7(12): 11863-11872.
- [50] Kumar V, Jha R K, Jain S. NB-IoT security: A survey[J]. Wireless Personal Communications, 2020, 113(4): 2661-2708.
- [51] 戴津. 基于 Spring Boot 的 EAST 实验数据存储监控系统[D]. 中国科学技术大学, 2020.
- [52] 冯瑞成. 基于 React 的设备管理系统前端框架的设计[D]. 华中科技大学, 2018.
- [53] 任肖丽, 王骥, 王昊鹏, 袁志杰. 基于 STM32 的环境监测系统的设计[J]. 集成电路应用, 2021, 38(08): 14-15.
- [54] 杨欢. 面向窄带物联网 (NB-IOT) 的低速率数传模块的设计与实现[D]. 电子科技大学, 2020.
- [55] 倪天龙. 单总线传感器 DHT11 在温湿度测控中的应用[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2010(06): 60-62.
- [56] 王建, 毛腾飞, 陈英革. 基于 BH1750 芯片的测光系统设计与实现[J]. 常熟理工学院学报, 2011, 25(02): 117-120.

## 攻读学位期间发表的论文及其他成果

### 【硕士期间发表论文】

- [1] 第一作者. 中国温室环境控制研究进展[J].中国农学通报,2021,37(27):125-131.

### 【硕士期间申请专利】

- [1] 第一作者. 一种导盲雨伞装置, 实用新型, 专利号: CN202120423391.3
- [2] 第一作者. 一种智能天气预报并模拟天气现象的水晶球装置, 实用新型, 专利号: CN202120442978.9
- [3] 第三作者. 一种用于数据采集的嵌入式单片机, 实用新型, 专利号: CN202022228329.7

### 【硕士期间获奖情况】

- [1] 2019 年 12 月, 获得南京信息工程大学研究生优秀奖学金、学业奖学金三等;
- [2] 2020 年 12 月, 获得南京信息工程大学研究生优秀奖学金、学业奖学金三等;
- [3] 2021 年 12 月, 获得南京信息工程大学研究生优秀奖学金、学业奖学金三等;
- [4] 2021 年 12 月, 获得微茗创新奖学金。