

基于LoRaWan及WiFi-Mesh技术的农场大田感知网络设计

李 倩

新疆工程学院信息工程学院, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2025年3月20日; 录用日期: 2025年4月20日; 发布日期: 2025年4月27日

摘 要

针对新疆大田规模化种植场景中传统物联网技术存在的网络覆盖不足、多源异构数据融合困难等问题, 本文提出了一种基于LoRaWan及WiFi-Mesh技术为核心的宽/窄带混合感知网络。该网络以5.8 GHz WiFi-Mesh作为骨干网, 以CN470频段LoRaWan作为窄带传输网络。这种面向大田农业的无线传输网络既能满足以局部气候、土壤、农作物为感知对象的窄带数据传输需求, 又能支撑如视觉感知等设备对宽带数据的传输需求。该网络将各类大田数据汇聚到农场边缘计算服务器, 可以为智慧农场各功能的实现提供基础通讯支撑。

关键词

智慧农场, LoRaWan技术, WiFi-Mesh技术

Design of Farm Field Perception Network Based on LoRaWan and WiFi-Mesh Technology

Qian Li

Faculty of Information Engineering, Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi Xinjiang

Received: Mar. 20th, 2025; accepted: Apr. 20th, 2025; published: Apr. 27th, 2025

Abstract

This paper proposes a hybrid broadband and narrowband sensing network based on LoRaWan and WiFi-Mesh technology to address the issues of insufficient network coverage and challenges in multi-source heterogeneous data fusion in traditional IoT technologies for large-scale farmland cultivation scenarios in Xinjiang. The network uses 5.8 GHz WiFi Mesh as the backbone network and CN470 frequency band LoRaWan as the narrowband transmission network. This wireless transmission network

for field agriculture can meet the narrowband data transmission needs of local climate, soil, and crops as sensing objects, as well as support the broadband data transmission needs of devices such as visual perception. The network aggregates diverse farmland data into the farm's edge computing server, providing basic communication support for the realization of various functions of the smart farm.

Keywords

Smart Farm, LoRaWan Technology, WiFi-Mesh Technology

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 引言

新疆是我国重要的农业产区之一，但由于农业信息化建设起步较晚，在软硬件建设、信息资源开发、农业信息技术研究、资金投入等方面与国内其他省份相比有较大的差距，其规模化农田普遍面临移动网络覆盖不健全、数据传输可靠性低等问题[1]。传统以 4G/5G 或 NB-IoT 为主要通讯技术手段的大田感知网络方案需要较好的移动网络覆盖条件，且在宽带数据传输情况下面临着通讯成本高昂的问题。本研究融合了 LoRa 低功耗广域覆盖与 WiFi-Mesh 高带宽的特性，提出了分层异构网络架构：LoRa 主要负责承载来自土壤温湿度传感器等低频窄带的数据传输；WiFi-Mesh 主要承载高清视频及无人机巡检等宽带数据，最后通过边缘计算平台实现数据的融合。该系统已应用于新疆某大型农场，并取得了一定的成效，可以为现代智慧农业的网络传输提供参考方案。

2. 系统架构设计

2.1. 整体架构

本农场大田感知骨干网络传输模式如图 1 所示。大田感知骨干网络由分布在大田的 WiFi-Mesh 网络节点构成，这些网络节点通过 5.8 GHz 频段实现无线互联。该网络能够将远处的宽带数据以多跳传输方式进行数据汇聚，同时为 LoRaWan 的从网关与网络服务器之间提供核心网传输功能，此外，这种组网方式具有灵活、维护简单等特点。

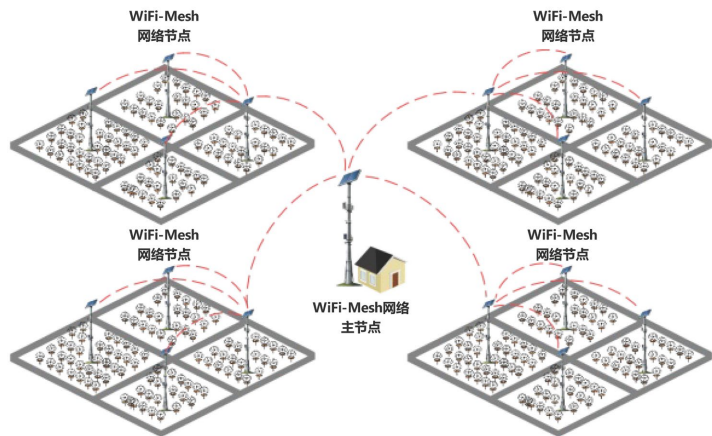


Figure 1. Schematic diagram of 5.8 GHz WiFi Mesh backbone network networking
图 1. 5.8 GHz WiFi-Mesh 骨干网络组网示意图

如图 2 所示，整个系统采用“感知层 - 传输层 - 平台层”三级架构。其中感知层由土壤、气象、农作物传感器以及摄像头、无人机、采样无人车等构成；传输层为 WiFi-Mesh 网络，该网络使用无线 AP 设备搭建而成；平台层由边缘服务器等应用构成。

从数据传输的角度来看，整个农场大田感知网络包含窄带数据传输部分和宽带数据传输两个部分。其中，窄带数据传输网络主要为分布在大田中的各类传感器提供低成本、远距、低功耗的传输服务。目前，传感器数据传输应用的主流通信方式有 2G/4G、NB-IoT、LoRa、ZigBee 等[2]，其中 LoRa 技术具备传输距离远、低成本、低功耗、障碍物穿透性较好、扩展性好的特点[3]，因此，本设计采用了 LoRa 技术实现传感器窄带数据传输。宽带数据传输网络主要为固定式无线摄像头、搭载在无人车巡视器上的图像感知设备以及搭载在无人机巡视器上的多光谱设备提供宽带传输服务。考虑到实际应用中边缘计算服务器和感知设备均位于农场内，基于 WLAN 的通信方式可满足数据传输需求，且与 4G/5G 蜂窝通讯方式相比，基于 WLAN 传输方式的传输网络尽管在初期建设上成本略高，但在长期通讯成本上更具优势。综上，本设计采用 2.4 GHz 的 WLAN 传输方案实现宽带数据传输。

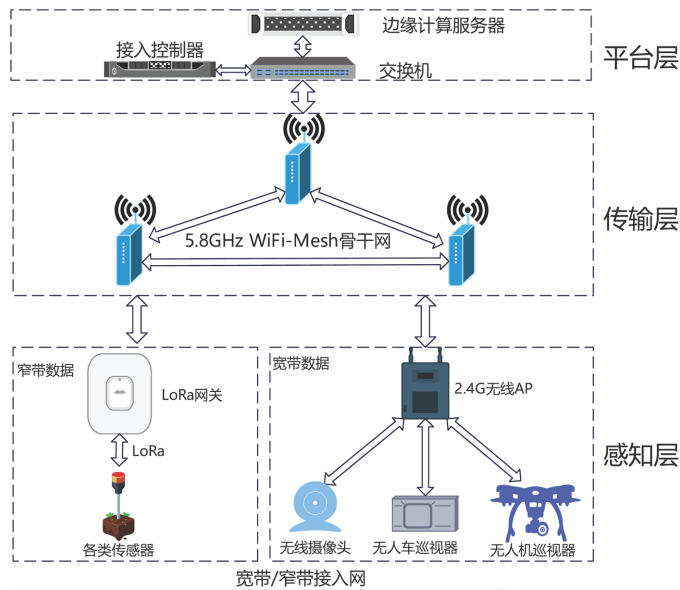


Figure 2. Three level application architecture of hybrid perception network
图 2. 混合感知网络的三级应用架构

2.2. 通信桅杆设计

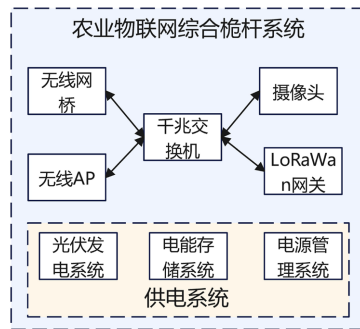


Figure 3. Composition block diagram of communication mast system
图 3. 通信桅杆系统的构成框图

通讯桅杆物理系统是农场大田感知网络系统中非常重要的部分，本设计的所有网络传输设备均通过通讯桅杆的方式部署在农场大田中，实现对宽/窄带业务的有效覆盖。

如图 3 所示，通讯桅杆系统包含基于 LoRaWan 的网关设备、基于 2.4 GHz 的无线 AP 设备、基于 5.8 GHz 的无线 Mesh 网桥、固定式高清摄像头、电源管理等多个子系统。其中，无线 Mesh 网桥主要负责与其他桅杆系统建立基于 5.8 GHz 的 WiFi-Mesh 链路，为大田感知网络的骨干网络部分；无线 AP 主要用于提供基于 2.4 GHz 的 WLAN 宽带数据传输服务；LoRaWan 网关主要负责为各类传感器提供基于 CN470 的窄带数据传输服务；固定式高清摄像头负责采集大田农作物长势图像数据，为生长状态分析提供基础数据支持。子系统之间通过千兆工业级交换机进行连接。供电子系统采用 12 V 500 W 单晶硅太阳能电池搭配 24 V 60 AH 胶体电池的电源方案，为整个桅杆系统提供电源。

3. 系统实现与部署

3.1. WiFi-Mesh 组网配置

本设计采用华为 AirEngine 8760R-XE1 型室外 AP 实现 WiFi-Mesh 骨干网络构建和 WLAN 业务覆盖，该设备的 Mesh 功能基于 IEEE802.11s 协议实现，其核心路由协议是 HWMP (混合无线网状网协议)，该协议专为无线 Mesh 网络(WMN)设计，融合了按需路由(On-Demand Routing)与主动路由机制(Proactive Tree-based Routing)，以平衡网络开销与路径效率[4]。在按需路由模式下，节点通过广播路由请求(RREQ)触发路径发现，目标节点或中间节点返回单播路由响应(RREP)构建反向路径，并采用序列号防环及链路质量度量(如 ETX、ETT)选择最优路径；主动路由模式下则依赖根节点周期性广播构建树状拓扑，优化对中心节点(如网关)的高频访问场景。HWMP 会根据网络状态动态切换模式，在动态拓扑或低流量时启用按需路由以减少控制开销，而在稳定拓扑或集中流量场景下采用主动路由降低传输时延。该设备的 WiFi-Mesh 组网是经过 Mesh 邻居发现和 Mesh 链路管理两个过程来实现[5]。

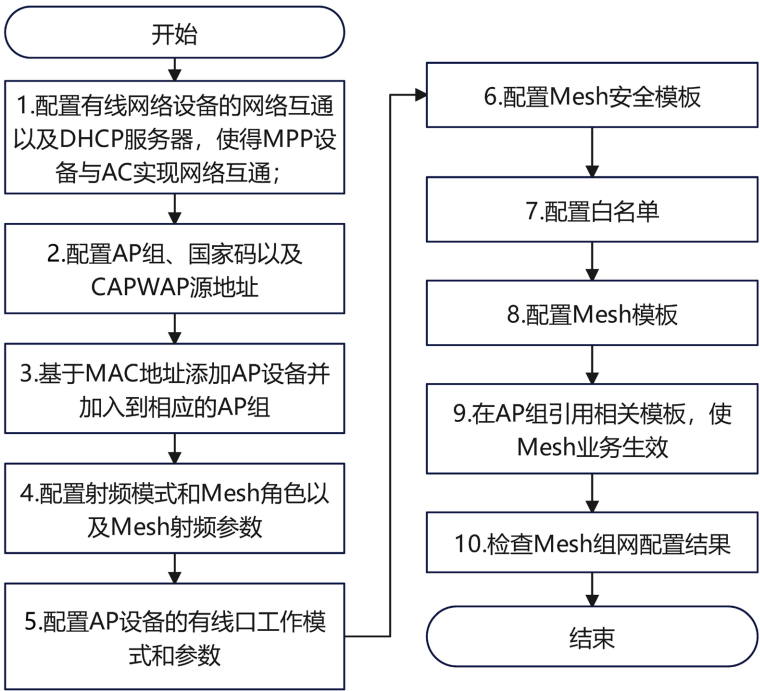


Figure 4. WiFi Mesh networking configuration process
图 4. WiFi-Mesh 组网配置流程

此外，华为 AirEngine 8760R-XE1 型室外 AP 设备支持 5 GHz 频段的高性能无线回传，最大速率可达 10.75 Gbps，每个 AP 配置 8 根 15DBi 的全向玻璃钢天线，以提高 Mesh 组网的覆盖能力。射频规划方面，华为 AirEngine 8760R-XE1 设备具备三射频功能，本设计将射频 0 用于 WLAN 无线业务覆盖，将射频 1 和射频 2 用于 5G Mesh 回传业务。

由于农场大田感知网络中的通讯桅杆相对位置固定，因此本设计参考物理拓扑来规划无线 WiFi-Mesh 链路的具体配置，将靠近边缘计算服务器的 AP 设备设置为 MPP 模式，使其能实现 Mesh 内部节点和外部网络的通信，将其余 AP 设备设置为 MP 模式。通过如图 4 的 WiFi-Mesh 组网配置流程构建 Mesh 网络，使得分布在农场各个地方的窄带、宽带数据都能够通过无线网络传输至农场边缘计算服务器中进行后续处理。

3.2. WLAN 宽带业务配置

WLAN 宽带覆盖业务实现采用 AirEngine 8760R-XE1 型 AP 设备的射频 0 来完成。由于 MPP 节点通过其 Portal 功能将宽/窄带业务数据转发至边缘计算服务器，因此该节点承担的通讯压力较大，为了保证网络性能，本设计只在 MP 节点 AP 设备的射频 0 上开放 WLAN 业务。WLAN 业务的配置流程如图 5 所示：

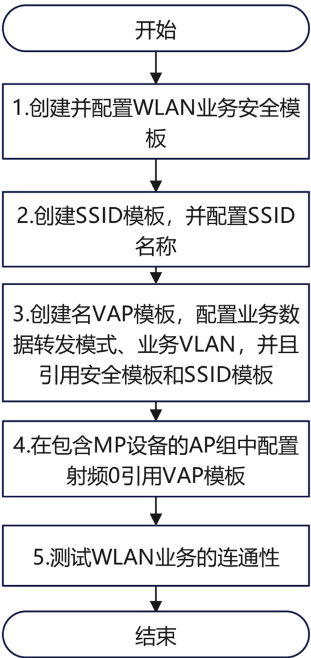


Figure 5. Configuration process of WLAN service
图 5. WLAN 业务的配置流程

3.3. LoRaWan 组网配置

LoRaWan 主要用于分布在大田各处的大量传感器节点的窄带网络接入，这种设计既满足了基于农场内部物联网的规模接入需要，又减少了类似 4G/5G 等蜂窝型网络接入的费用开销。本设计的 LoRaWan 组网采用 F8L10GW LoRaWan 室外基站设备 + ChirpStack V4.9 + Mosquitto 2.0.18 的部署方案，其中 ChirpStack 和 Mosquitto 部署在边缘计算服务器中，操作系统为 Ubuntu 20.04/22.04 LTS。LoRaWan 室外基站的上行通讯是通过 WiFi-Mesh 网络直接传输，将 LoRaWan 数据传输至部署在边缘计算服务器中的

ChirpStack 网络服务器中，ChirpStack 基于 MQTT 协议将数据推送到 Mosquitto MQTT Broker，这样应用程序就可以通过订阅的方式获取到传感器的感知数据[6] [7]。LoRaWan 应用结构图如图 6 所示：

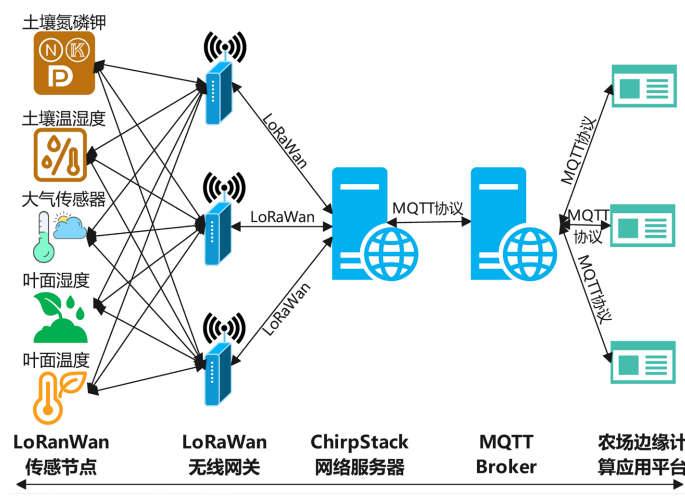


Figure 6. Application architecture diagram of farm narrowband network based on LoRaWan
图 6. 基于 LoRaWan 的农场窄带网络应用结构图

3.4. 传感器终端设计

根据数据采集需求，大田农业在传感器终端设计方面可以分为三大类要素，分别是土壤类要素、作物生理类要素以及大田小气候要素。这三大类要素的传感器部署在数量和地理位置上存在显著的差异性。因此本设计的传感器终端节点也相应地分为三大类：

- 1) 将土壤氮磷钾传感器、土壤温湿度传感器集成在一起形成土壤类的传感器组节点；
- 2) 将叶面温度传感器和叶面湿度传感器集成在一起形成植物类传感器组节点；
- 3) 将大气温湿度传感器、二氧化碳浓度传感器、光照强度传感器、降雨量传感器等 7 类传感器集成在一起形成气象传感器组节点。

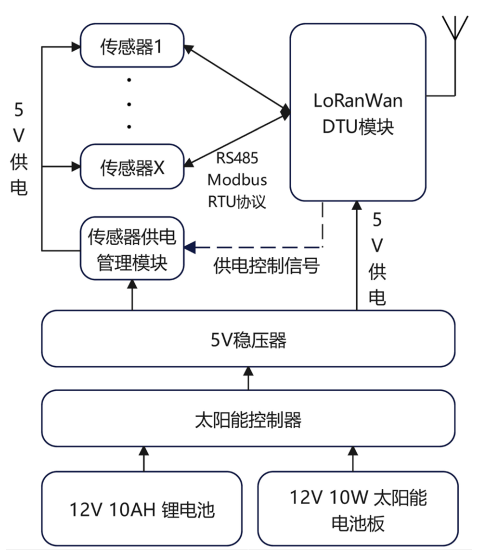


Figure 7. Hardware structure diagram of sensor node
图 7. 传感器节点硬件结构图

如图 7 所示，三种类型的传感器节点从硬件结构上采用相同的设计模式。

在数据采集方面，本设计采用以 SX1268 芯片 + GD32F103C8T6 MCU 芯片为核心的 LoRaWan DTU 作为数据采集模块，该模块采用 ModBus RTU 协议从相应的传感器中获取数据并将感知数据发送至通讯桅杆中的 LoRaWan 网关，并最终汇聚到边缘计算服务器进行处理。LoRaWan DTU 的射频参数配置如表 1 所示，节点的入网方式采用 OTTA 模式且开启 ADR(自适应速率)功能以提高数据传输质量，由于只需要进行上行通信，因此将节点配置为 Class A 模式以尽可能降低运行功耗[8]。此外还需根据网络服务器中配置的 APP ID 以及 APP KEY 等参数值，将该信息写入 LoRaWan DTU 中以实现设备的正常入网及运行。

Table 1. RF parameters of LoRaWan DTU
表 1. LoRaWan DTU 的射频参数

参数项	配置值
频段	CN470 (470~510 MHz)
扩频因子	SF7-SF12 自适应
起始信道	80~87
入网方式	OTAA
工作模式	Class A
发射功率	20 dBm

在供电方面，所有传感器节点均采用 12 v 10 W 单晶硅太阳能电池板 + 12 v 10 AH 锂电池的供能方案以减少节点的整体体积和重量。同时，为了尽可能降低传感器节点的功耗，在非数据采集时间段内，DTU 模块处于低功耗状态，且传感器断电；当需要采集数据时，DTU 唤醒并首先输出供电信号给传感器供电管理模块，经过 30 秒传感器工作稳定时再通过 RS485 接口进行数据读取。

4. 测试与总结

本设计的应用环节在示范农场内共部署了 8 套桅杆系统，其中 3 个桅杆部署了 LoRan 网关设备。LoRaWan 传感器节点共部署 110 套，覆盖小麦、棉花两种农作物共计 2100 亩。本设计最后使用 NetScout AirCheck G2 无线网络测试仪在通信桅杆周边对 2.4G WiFi 信号的强度进行测试，通过在 ChirpStack 中查看数据包内的 RSSI 值来测试 LoRa 信号情况。在计算信号的有效覆盖时，通过在 2100 亩试验地四周设置 100 个信号测试地点，然后统计 2.4G WiFi 信号强度 ≥ -75 dBm 的测试地点数以及 LoRaWan RSSI ≥ -110 dBm 的测试地点数，然后再计算满足信号强度的有效覆盖占比。结果如下：

覆盖率：WiFi 信号强度 ≥ -75 dBm 的区域占比 92%，LoRaWan RSSI ≥ -110 dBm 的区域占比 98%。

时延：Mesh 网络端到端平均延迟 183 ms，LoRaWan 数据上报周期配置为 600 秒，采样数据丢失率 $< 0.1\%$ 。

可靠性：12 个月运行期间，网络平均可用性 99.3%。

总体而言，本文提出一种基于 LoRaWan 及 WiFi-Mesh 技术为核心的宽/窄带混合感知网络设计方案，这种基于非运营商网络的数据传输方案能在保证稳定性和可靠性的前提下较大地降低农场的长期通讯成本。在面对智慧农业应用背景下，能有效支撑智慧农业应用中的各类窄带应用业务和宽带应用业务，是智慧农业感知网络的一种良好示范。

参考文献

- [1] 冯蕾. 新疆农业信息化建设研究[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2006.
- [2] 王书艳, 王红军. 农业物联网系统中测控技术的应用及性能优化研究[J]. 数字农业与智能农机, 2024(11): 47-49.
- [3] 梁德明, 鲁冰程, 夏红莉. 基于 LoRa 技术的智慧农业监控系统设计研究[J]. 农业装备技术, 2022, 48(5): 14-16+20.
- [4] Renyi, X. and Guozheng, W. (2007) A Survey on Routing in Wireless Sensor Networks. *Progress in Natural Science*, **17**, 261-269. <https://doi.org/10.1080/10020070612331343257>
- [5] 孙红雨, 宋娇, 刘霞, 等. 无线网状网络路由协议在矿山应急通信中的应用研究[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(2): 429-439.
- [6] 吴静, 吕婧, 朱文兵. LoRaWAN 网络系统平台的设计与实现[J]. 长江工程职业技术学院学报, 2024, 41(1): 28-34+39.
- [7] 严敏. 基于 LoRaWAN 技术和 ThingsBoard 平台的智慧牧场系统设计[J]. 苏州市职业大学学报, 2024, 35(3): 52-56.
- [8] Sha, K., Yang, T.A., Wei, W. and Davari, S. (2020) A Survey of Edge Computing-Based Designs for IoT Security. *Digital Communications and Networks*, **6**, 195-202. <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2019.08.006>