

基于 LoRa 的智能农业系统设计与实现

陈彪¹, 揭晶方², 张伟¹, 沈琼霞³

(1. 湖北大学 计算机与信息工程学院, 武汉 430062; 2. 湖北大学 楚才学院, 武汉 430062;

3. 烽火通信科技股份有限公司业务与终端产出线, 武汉 430073)

摘要: 针对 ZigBee 网络在智能农业系统应用中存在的单跳传输距离短、多跳组网结构复杂、信号易干扰、丢包率误码率高、实用性差等缺点, 提出一种基于 LoRa 协议智能农业系统的设计方案; 该方案以 LoRa 网络实现系统感知层设计, 基于简单的星型组网架构, 构建低功耗广域物联网智能农业系统; 从系统总体设计、网络架构、LoRa 节点和 LoRa 基站软硬件设计以及通信协议等方面阐述设计关键, 实现对农业生产现场环境数据采集及相关设备的远程控制, 并从功能和性能两方面进行实验测试与对比; 结果表明, 基于 LoRa 的智能农业系统组网简单、覆盖面广、数据传输可靠性高、功耗低, 工作周期长, 非常适合在复杂的农业生产现场中推广应用。

关键词: LoRa 网络; 智能农业系统; 数据采集; 远程控制

Design and Implementation of Intelligent Agricultural System Based on Lora

Chen Biao¹, Jie Jingfang², Zhang Wei¹, Shen Qiongxia³

(1. School of Computer Science and Information Engineering, Hubei University, Wuhan 430062, China;

2. Chucai Honors College, Hubei University, Wuhan 430062, China;

3. Service and CPE Business Unit, Fiberhome Telecommunication Technologies Co. Ltd., Wuhan 430073, China)

Abstract: In light of the shortcomings of ZigBee in the application of intelligent agricultural system, such as short transmission distance of single-hop, complex multi-hop network structure, easy signal interference, high error rate and packet losing rate, and poor practicability, a design scheme of intelligent agricultural system based on LoRa is presented; The plan realizes the system-aware layer design based on the LoRa network and a low power wide area Internet intelligent system is constructed based on a simple star network architecture; This paper sets forth design strategy from the aspects of the general layout of the system, network architecture, LoRa node and the soft-hardware design of LoRa base station, communication protocol and so on and the method to achieve agricultural production site environmental data acquisition and related equipment for remote control is also been explained in the paper, the experimentation testing and comparison with two aspects of the function and performance have been done; The experimental results show that the intelligent agriculture system based on LoRa has the advantages of simple networking, wide coverage, high reliability of data transmission, low power consumption and long working period, which is very suitable for popularization and application in complex agricultural production sites.

Keywords: LoRa network; intelligent agricultural system; data acquisition; intelligent control

0 引言

在传统农业大棚中, 农作物生长环境的参数, 以人工采集为主, 因而很难保证其数据的实时性与有效性。随着物联网的快速发展, 智能农业系统应运而生。当前, 基于 ZigBee 技术设计的智能农业系统已然出现^[1], 然而因其传输距离短、易受外界频段干扰以及网络路由复杂等缺点, 未能形成大规模推广。幸运的是, LoRa 技术的出现^[2], 解决了智能农业系统所要求的长距离通信^[3]、抗干扰能力强、

低功耗等问题。LoRa 技术, 其本质为扩频调制技术, 同时结合数字信号处理以及前向纠错编码技术, 更好地实现需求。

本文旨在设计一套基于 LoRa 技术的智能农业系统, 能够实现实时准确地采集农作物生长环境中各种参数, 并能实时精准地控制大棚中的设备, 让大棚中的生长环境保持在一个平衡的状态, 从而满足农作物生长的需求。从现实意义上看, 本系统可以提高农业生产效率与农业产量, 同时改善农业安全以及粮食安全。在智能农业系统中, 具有良好的推广前景。

1 系统总体设计

系统总体设计如图 1 所示, 智能农业系统从整体上由四部分构成, 分别是: 用户访问平台、农业云平台服务器、LoRa 基站和终端节点。其中用户访问平台指的是 PC 端和手机客户端, 通过它们来监控大棚内的环境情况。农业云平台服务器负责对整个系统的数据进行处理, 并且在其次

收稿日期: 2017-12-11; 修回日期: 2018-01-08。

基金项目: 国家自然科学基金(61301144; 61601175)。

作者简介: 陈彪(1993-), 男, 湖北省天门市人, 研究生, 主要从事物联网、嵌入式系统方向的研究。

通讯作者: 张伟(1979-), 男, 湖北省武汉市人, 博士, 讲师, 硕士研究生导师, 主要从事无线通信、物联网、嵌入式系统方向的研究。

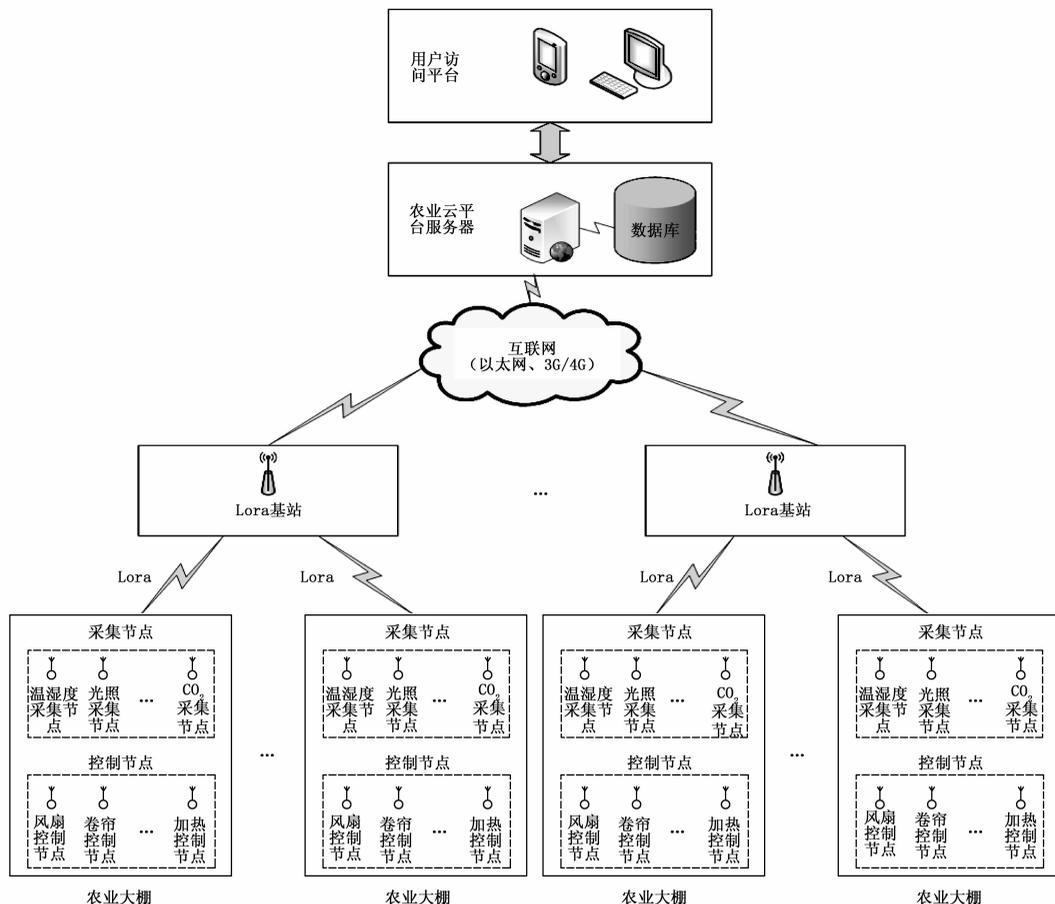


图 1 系统总体设计

数据库内进行数据保存, LoRa 基站负责对终端节点和农业云平台服务器之间数据的交互, 终端节点包括采集节点和控制节点。图 1 中, 温湿度采集节点、光照采集节点、CO₂ 采集节点等称为采集节点, 同时控制节点包括风扇控制节点、卷帘控制节点、加热控制节点等, 另外一个 LoRa 基站负责多个农业大棚的终端节点, 一个农业云平台服务器负责多个 LoRa 基站。在本系统的总体设计中支持与下双向数据传输。从下至上时, 首先通过采集节点采集到大棚内温湿度、光照强度、CO₂ 浓度等信息的数据, 经 LoRa 网络自组网方式传输到 LoRa 基站, 然后经过 3 G/4 G/有线宽带网络上传到农业云平台服务器, 实现与用户访问平台的对接。从上至下时, 用户访问平台首先通过互联网发送指令给农业云平台服务器, 然后经由 3 G/4 G/有线宽带网络发送给 LoRa 基站, 最后再经过 LoRa 无线网络发给控制节点, 通过控制风扇、卷帘、加热器的开关来调节大棚内的环境, 从而实现了控制设备的控制。

由此可见, 该系统能够实现数据上传与数据下发, 又具备组网便捷、传输距离远、抗干扰性能强等优势。同时该设计能够减少农业大棚所需成本, 也可以提高农业生产效率与产量。

2 系统网络架构设计

LoRa 技术采用 LoRaWAN 网络协议, 而 LoRaWAN 的

网络架构^[4]应用在本智能农业系统中包含终端节点、LoRa 基站、农业云平台服务器三个部分。在这个网络架构中, LoRa 基站是一个透明的中继, 连接前面的终端节点和后面的农业云平台服务器。其中终端节点采用单跳与一个或多个 LoRa 基站进行双向通信, 是一个典型的星型拓扑结构。相比以前的 ZigBee 多跳网络^[5]而言, 其具备很多优势, 其一网络复杂性较低, 其二使用电池寿命较长, 其三数据传输稳定性较高。同时由于 LoRa 采用了扩频调制技术, 可以选择不同的信道频率和数据传输速率, 这样可以有效地解决 LoRa 基站数据并发的问题。

另外, LoRa 基站能够与农业云平台服务器通过 3G/4G/有线宽带网络建立通信链路^[6], 在此过程中采用标准 TCP/IP 连接。

3 系统平台设计

3.1 系统硬件设计

根据本系统总体设计可知, 硬件部分包括终端节点和 LoRa 基站。对于终端节点, 虽然其所实现功能并不复杂, 但考虑其低功耗需求, 故终端节点选取 TI 公司出产的 MSP430F149 单片机为主控芯片^[7]。MSP430F149 是一款超低功耗、具备一定处理能力的 16 位单片机, 它具有 16 位精简指令集 MCU, 5 种省电模式, 轻易满足终端节点硬件设

计的需求。然而相对 LoRa 基站而言，除了低功耗特性外还需要满足一定复杂计算能力的芯片，因此 LoRa 基站选取 ST 公司生产的 STM32F103 为主控芯片^[6]，STM32F103 是一款 ARM Cortex-M3 内核的 32 位微处理器，它具有最高 72 MHz 的工作频率，内置高速存储器，有睡眠、停机、待机三种低功耗模式，达到了 LoRa 基站硬件设计的需求。另外 LoRa 芯片选取 Semtech 公司推出的 SX1278 扩频技术芯片，其主要特性包括：传输距离远、抗干扰能力强、低功耗等。以下分别介绍终端节点与 LoRa 基站的硬件设计。

3.1.1 终端节点设计

本系统的终端节点设计分为采集节点和控制节点两部分组成。如图 2 所示，其中采集节点由传感设备、电源模块、主控芯片、SX1278 射频模块四部分组成，主要负责把采集到大棚环境的数据信息上传给 LoRa 基站。而控制节点由控制设备^[9]、电源模块、主控芯片、SX1278 射频模块四部分组成，主要任务是响应 LoRa 基站下发的控制指令来控制大棚内的设备。

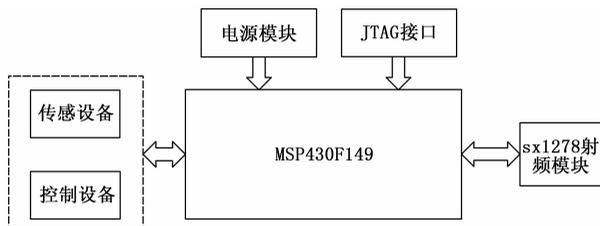


图 2 终端节点示意图

3.1.2 LoRa 基站设计

本系统 LoRa 基站设计如图 3 所示。LoRa 基站由网络接口模块、电源模块、主控芯片、SX1278 射频模块四部分组成。LoRa 基站的任任务，一方面是通过 LoRa 无线网络接收采集数据，然后由 3G/4G/有线宽带网络传输至农业云平台服务器，另一方面，LoRa 基站响应农业云平台服务器下发的控制指令，通过 LoRa 无线网络发送到控制节点执行。

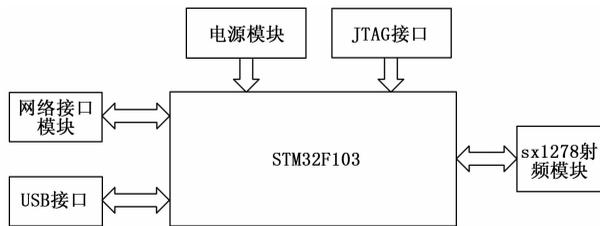


图 3 LoRa 基站示意图

3.2 系统软件设计

为保证各层间正常通信，本系统在软件部分对终端节点、LoRa 基站和通信协议三个部分进行了有效设计。对终端节点的设计实现与 LoRa 基站数据的交互，对 LoRa 基站的设计实现与农业云平台服务器的传输，对通信协议的设计保证传输数据的准确性与可靠性。以下分别介绍。

3.2.1 终端节点软件设计

终端节点上电后，首先进行系统初始化，然后开启串

口接收函数使能，并且唤醒 LoRa 模块，使之进入正常工作状态。当接收标志位尚未完成时，则继续接收数据；当接收标志位完成后，则进行数据帧类型的判断。若数据来自采集节点，将数据打包添加帧头、帧尾、数据长度以及两位 CRC 校验位，然后通过 LoRa 无线网络发送给 LoRa 基站；若数据来自 LoRa 基站，则通过 LoRa 无线网络把数据帧发送给控制节点，此时先对数据帧进行解帧，将帧头、帧尾、数据长度、两位 CRC 校验位拆除，然后通过串口把数据发送给控制模块，最终根据数据位内容进行相对应的操作。通过对终端节点软件设计的完成，从而实现了采集数据的上传与控制命令的下达。

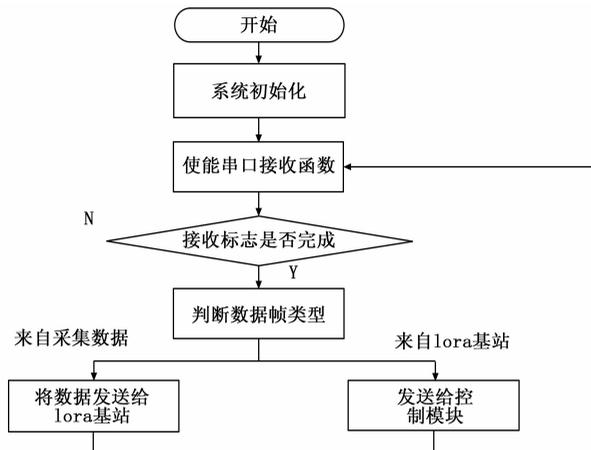


图 4 终端节点流程图

3.2.2 LoRa 基站软件设计

LoRa 基站上电后，首先进行系统初始化，然后开启串口接收函数使能。当接收标志位尚未完成时，则继续接收数据；当接收标志位完成后，进行数据帧类型的判断。若数据来自农业云平台服务器，将数据打包添加帧头、帧尾、数据长度以及两位 CRC 校验位，然后通过 LoRa 无线网络发送给终端节点；若数据来自终端节点，则 LoRa 基站把接收到的数据帧先进行拆包，将帧头、帧尾、数据长度、两位 CRC 校验位拆除，然后通过 3G/4G/有线宽带网络接口模块发送至农业云平台服务器，农业云平台服务器接收到数据后，实时地推送给用户访问平台。通过对 LoRa 基站软件设计的完成，从而实现了与农业云平台服务器数据的上传与终端节点的下达。

3.2.3 通信协议的设计

为了实现本系统中数据交互的准确性与可靠性，根据系统需求和种类设计出六种类型的数据帧，分别为上行数据帧、上行信息帧、上行应答帧、下行控制指令帧、下行配置指令帧、下行应答帧。其中，上行数据帧表示下层采集节点向上层农业云平台服务器发送大棚内环境数据信息，上行信息帧表示下层采集节点所现有的工作状态，从而上层农业云平台服务器可以得知下层采集节点是否在工作中。上行应答帧表示下层控制节点执行情况反馈帧，从而上层农业云平台服务器可以知道下层控制节点是否在执行。

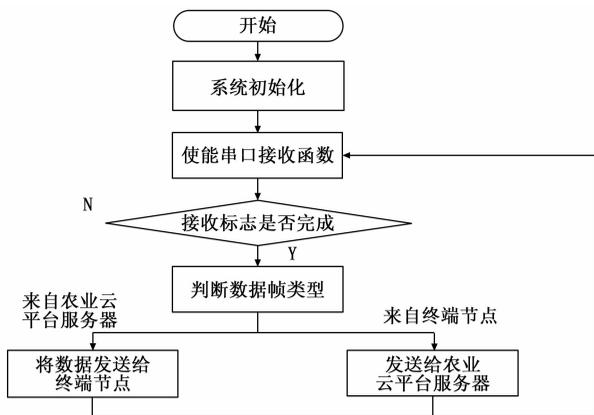


图 5 LoRa 基站流程图

下行控制指令帧表示上层农业云平台服务器给下层控制节点向下发送的控制指令, 下行配置指令帧表示上层农业云平台服务器配置下层采集节点数据采集的频率和控制节点开关控制的状态, 下行应答帧表示上层农业云平台服务器收到下层采集节点发送数据的反馈帧, 从而下层采集节点可以得知是否把数据传给了上层农业云平台服务器。通过对这 6 种类型数据帧的制定, 从而达到了整个系统中数据传输的可靠性、准确性。

表 1 通用格式数据帧

帧头	数据长度	类型	站点 ID	大棚 ID	设备类型	MAC 地址	有效数据	校验位	帧尾
0xEE	n	0xFF

另外, 通信协议根据性能需求设计出一条通用格式数据帧。帧内每一个字段的数据由十六进制方式存储。它包含帧头、数据长度、数据区、校验位和帧尾 5 个部分。其中数据区由类型、站点 ID、大棚 ID、设备类型、MAC 地址、有效数据这 6 个部分构成。如表 1 所示, 帧头表示数据帧的开始字节, 由 0xEE 表示, 占用一个字节。数据长度表示数据区的长度, 由十六进制表示, 占用一个字节。类型表示数据帧的类型, 由十六进制表示, 占用一个字节。站点 ID 表示一个站点的编号, 由十六进制表示, 占用两个字节。大棚 ID 表示一个大棚的编号, 由十六进制表示, 占用两个字节。设备类型表示大棚内的设备类型编号, 由十六进制表示, 占用两个字节。MAC 地址表示对应 LoRa 节点的 MAC 地址, 由十六进制表示, 占用八个字节。有效数据表示真正的数据, 由十六进制表示, 长度不定。校验位表示从数据长度域开始到数据区结束, 由十六进制表示, 占用两个字节。帧尾表示数据帧的结束, 由 0xFF 表示, 占用一个字节。通过对通用格式数据帧的制定, 从而更加具体地实现了 6 种不同类型的数据帧。

4 系统测试与分析

为验证本智能农业系统实现效果, 可以从功能测试和性能测试两方面展开。在功能测试方面, 根据以上理论分析, 可以基本实现系统模型。该系统包含光照传感器、温

度传感器、土壤湿度传感器、二氧化碳传感器等采集节点, 与风扇、灯、水泵等控制节点, 然后在节点附近架设一个 LoRa 基站, 最后搭建一个农业云平台服务器和用户访问平台。它的具体实现是采集节点采集到大棚内的环境数据信息, 然后通过 LoRa 无线网络发送给 LoRa 基站, 之后 LoRa 基站通过 4G 网络发送至农业云平台服务器, 最后把得到的数据显示在网页或者手机 app 界面上, 同时用户通过浏览网页或者手机 app 查看大棚内的环境数据信息, 并在其系统设置中设置各个传感器的阈值, 如果当采集到的数据超过了该阈值, 系统会发送相应的报警信息通过短信的形式发送给用户, 用户可以通过点击页面中的开关按钮把数据发送至农业云平台服务器, 再由 4G 网络发送给 LoRa 基站, 最后通过 LoRa 无线网络发送至控制节点, 从而达到了对控制设备的控制。

智能农业系统网页界面实现如图 6 所示。实现内容包括, 用户通过鼠标点击光照传感器的图标时, 页面中显示当前传感器数据, 如果光照传感器的值过低时, 则开启灯光按钮, 随之灯开; 如果光照传感器的值过高, 则开启遮阳帘按钮, 随之遮阳帘打开。经过对比实验测试, 发现基于 LoRa 的智能农业系统相比 ZigBee 方案, 抗干扰性更强, 组网更加便捷, 传输数据更加稳定, 实用性更好, 调试更加简单, 控制响应的延时更短。



图 6 智能农业系统网页界面图

在性能测试方面, 为了验证 Lora 网络实用效果, 以 ZigBee 网络作为对比, 在不同传输距离条件下测试两种网络的丢包率和误码率。测试距离分别为 100 m、200 m、350 m、500 m、750 m、900 m、1050 m、1200 m、1350 m、1500 m、1800 m, 连续收发 10000 个数据包, 分别统计 Lora 网络和 Zigbee 网络相应丢包率与误码率。实验结果如表 2、表 3 所示。

由表 2、表 3 可知, 随着 LoRa 和 ZigBee 通信传输距离的增加, 数据的丢包率和误码率逐渐增加。不同的是, 使用 LoRa 网络通信时, 距离在 1800 m 时丢包率为 10.01%, 误码率为 5.25%, 依旧能够进行基本通信; 而使用 ZigBee 网络通信过程中, 距离在 500 m 时丢包率为 100%, 误码率为 100%, 已经不能进行通信。

经过功能实验测试, LoRa 技术组网便捷, 可以实现预先需求; 经过性能测试验证, LoRa 技术与 ZigBee 相比, 传