

基于超长距低功耗数据传输技术与无线通信技术 的智能水表系统

姚俊杰, 张新晨

(华中师范大学 物理科学与技术学院, 武汉 430079)

摘要: 为了解决人工抄表数据可靠性不高、抄表不便捷、用户缴费困难等一系列问题, 现提出一种基于超长距低功耗数据传输技术调制技术的无线智能水表系统的设计方案: 该方案以 LoRa 调制技术为核心, 采用星型、链型网络进行自组织网络设计, 构建了通信距离远、功耗低、可抵抗多种干扰源等复杂网络环境下的智能水表系统; 在论述系统的过程中重点阐述了智能系统的软硬件设计方案和应用层自定义网络协议, 以及智能水表数据采集和远程管理的软件设计方法, 在方案设计的最后进行了实验结果与分析, 实验结果表明了基于 LoRa 的智能水表系统在通信距离和功耗上具有明显优势。这些优势给 LoRa 无线通信技术未来构建大规模自组织网络提供了可能, 在远程抄表领域该智能水表系统有着广泛的应用前景。

关键词: 超长距低功耗数据传输技术; 智能水表; 数据采集; 自组织网络

Smart Water Meter System Based on LoRa Wireless Communication

Yao Junjie, Zhang Xinchun

(College of Physical Science and Technology, Central China Normal University, Wuhan 430079, China)

Abstract: In order to solve a series of problems such as the artificial meter reading system with low reliability, inconvenient for reading meter and difficulty in users' pay cost, it is put forward a design scheme based on LoRa modulation technology of wireless intelligent water meter system: The project treating LoRa modulation technology as the core, adopt the self-organizing networks' design of the star network and chain network, which build a complicatedly intelligent water meter system with the long-distance communication, low power, resisting different interfering source. It is emphasized that software and hardware design project of the smart system, self-define network protocols in application layer, the software design project about data acquisition and remote management. In the end of the project, It is analysed the whole system's test property, the result of which indicates that the intelligent water meter system based on LoRa has an obvious advantages in the communication distance and power consumption. These advantages make it possible for LoRa wireless communication technique construct large-scale self-organization network in the future. And the system has a broad application prospect in the filed of automatic remote meter reading.

Keywords: LoRa; smart water meter; wireless meter reading system; self-organizing network

0 引言

物联网在中国已经发展了多年, 在智能工业、智能家居、智慧城市等方面都有着越来越广泛的应用前景。但诸如 WiFi、蓝牙、ZigBee 网络等一些主流的物联网技术不能很好解决距离和低功耗之间的矛盾^[1]。

为较好的解决这样的矛盾。2013 年 8 月, Semtech 公司发布了一种新型的基于 1 GHz 以下的超长距低功耗数据传输技术 (Long Range, 简称 LoRa) 的芯片, LoRa 的优势主要体现在远距离、低功耗、低成本、覆盖容量大等优点, 适合于在长距离发送小数据量且使用电池供电方式的物联网设备^[2-3]。越来越多的企业与城市采用 LoRa 作为构建物理网的基本单元。

随着城市化的高速发展, 水表作为反馈居民用水信息的直接设备成为了几乎所有小区、写字楼 (商区) 必须安装的基础设备之一。如何对庞大且分散的用水信息进行准确、实时、有

效的抄表成为水务公司及相关部门急需解决的问题。传统的人工抄表需要挨家挨户的抄读水表, 抄表人员繁琐的将数据录入水务系统后才能生成账单^[4]。其弊端也变得越来越明显, 主要表现为: 针对抄表员劳动强度过大、用户居住条件限制 (偏远地区不利于抄表)、错超、漏超情况严重, 耗费巨大人力与物力、用水信息不能及时反馈、用户缴费不方便等问题, 在智能化逐渐普及的今天, 传统的人工抄表已经不能适应社会的发展, 智能水表将成为未来的趋势。

在对一个片区甚至一座城市的用户进行数据的互联与转发的设计过程中存在以下问题: 其一, 与智能电表的设计方案不同, 水表表盘空间只能安置电池, 功耗问题是智能水表领域需要优先解决的问题。其二, 小区的障碍物众多以及各式电子设备以及雷雨天气引起的电磁干扰严重, 急需一种通信能力强劲的无线组网方式。为了解决传统水表方案设计上的不足, 本文设计出一套基于 LoRa 无线通信技术的智能抄表系统。

1 系统概述

基于 LoRa 的水表抄表系统主要由终端 (内置 LoRa 模块)、中继、网关 (或称基站)、服务器四部分组成。本设计方案中节点、中继与网关的组网方式采用 LoRa 组网方式, 而网关与服务器数据的交互采用 GPRS 组网方式^[5]。两种组网方式

收稿日期: 2017-08-18; 修回日期: 2017-10-18。

作者简介: 姚俊杰 (1990-), 男, 湖北武汉人, 硕士研究生, 主要从事物联网技术与网络通信方向的研究。

张新晨 (1977-), 男, 湖北武汉人, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事嵌入式系统与网络通信方向的研究。

的结合构成了如下图 1 所示的智能水表的系统总体框图。

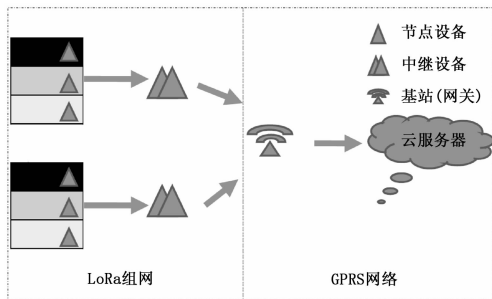


图 1 系统总体框图

系统运行如下：后台服务器要求节点设备对其性能参数进行设置时，系统将通过 GPRS 网络将指令和参数传达给基站/网关，再由基站根据数据帧中携带的设备地址信息匹配相对应的节点设备：节点模块的数据主要依靠两种方式送达服务器，方式一各节点的瞬时数据被保存在基站的存储区域内，等待服务器统一采集数据，方式二由服务器根据设备的 ID 地址指定节点模块将数据单独上传。

2 系统网络拓扑设计

与传统的网状网络相比，LoRaWAN 一般设计成典型的星型网络拓扑结构^[6]，这样可以消除同步开销和跳数，且系统简单和功耗低，因此在小区水务抄表中多采用星型、链路网络。

在信道设计上，同一级的设备统一设置 SX1278 模块为相同的通信频道。在 LoRa 组网中不同级的设备互联将 LoRa 频率设置不同，以此来降低信号间的互相干扰。同时该无线通信模块具备在线监听空中信道与无线防碰撞的机制。在对一座城市布局 LoRa 组网的情况下，可以有效的降低节点、中继、基站设备之间的通信误码率，增强系统整体网络的稳定性。

3 系统平台设计

3.1 系统硬件方案设计

系统 MCU 统一采用意法半导体的 STM32F10x 系列芯片，该芯片采用标准 Cortex-M3 内核，最高 72 MHz 工作频率^[6]，其 32 位的处理性能、丰富的外部接口、强大的数据处理能满足智能水表节点模块、中继模块以及基站模块的平台搭建。同时 STM32F10x 系列芯片也是一款高性能、低电压、低价格的产品，比较适合用于中小设备的应用，特别适合微型设备、仪表和其它电子产品的应用。MCU 同时支持睡眠、停止以及待机 3 种低功耗工作模式^[7]，方便了系统整体的低功耗设计。

3.1.1 节点设备设计思路

节点设备的硬件结构见图 2。前端摄像头采集模块主要用于图像识别表盘上的数字，以采集水表的实时数据。MCU 通过 SPI 接口配置 LoRa 的工作方式以及基本参数。该节点设备可以响应服务器下发的指令，将节点的数据信息上传中继设备以及基站设备，完成记录用水量，监控水表工作状态等功能。

初步方案设计，每月只进行一次抄表和若干次心跳连接，这样的方案设计可以降低能耗，电源模块采用两节 3600 mAh 电池供电，主控芯片与 LoRa 射频模块的低功耗模式下理论上可让节点设备工作 3~5 年。

3.1.2 中继设备设计思路

中继设备一般布置在小区的屋顶（写字楼商区顶部）或野

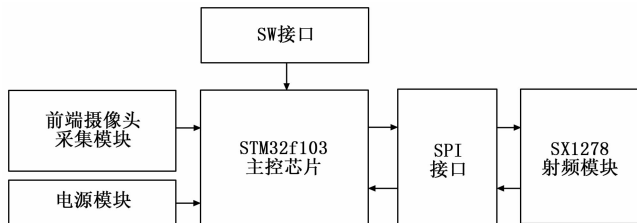


图 2 节点设备结构示意图

外空旷地区，中继设备的硬件结构见图 3。一台中继设备可互联多台节点设备。前端射频模块与该台中继设备互联的节点设备工作在同一通信频段，保证数据可以转发到中继设备，延长 LoRa 组网的通信距离。与之相对的，后端射频模块与基站（网关）工作在不同频段上。这样的设计是保证中继与多个终端通信为时分信道，中继间则为不同频率的信道。前后端射频模块的设计以降低中继设备转发数据过程中可能存在的通信碰撞问题。

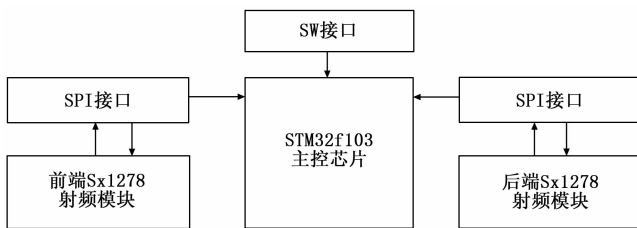


图 3 中继设备结构示意图

3.1.3 基站设备设计思路

基站设备主要负责网络通信指令的下达、数据的上传与下载、系统状态的检测以及管理功能。GPRS 模块相当于基站设备的网关，将硬件数据通过 TCP/IP 报文的方式传输给后台服务器。基站设备的硬件结构如图 4 所示。基站一般部署在一个城市的中心，用户流量较为集中的地区。当网络搭建完成后，中继设备可以自动搜索所在区域信号较好的基站设备。由于基站小范围的网络互联中扮演重要的角色，几乎系统绝大部分的功能都依赖基站来实现，现给基站设备扩展了 RS232 接口，为后期系统的维护、应急管理提供方便。

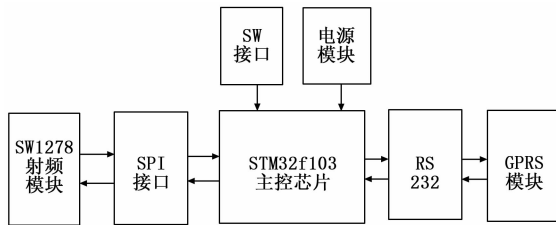


图 4 基站/网关设备结构示意图

3.2 系统件设计方案

在系统上电后调用 BSP_Init() 函数，对电路设备的硬件进行初始化。为了有效的降低系统静默模式下的功耗，前端/中继/基站的 MCU 都采取了休眠到唤醒，最后到休眠的循环工作方式。按照通信双方的约定需要可以实现 3 种通信模式。包括透明广播模式、定点传输模式以及空中唤醒模式。其中空中唤醒模式，使发送方自动添加唤醒码，定点唤醒目标模块。唤醒 Sx1278 设备后进行射频通信，完成通信后继续进入休眠

状态。

3.2.1 应用层通信协议设计

协议设计的优劣直接决定了设计方案整体的智能化水平。对应用层进行了自定义协议设计，其无线抄表方式分为定时抄表，以及单播、广播抄表。在节点设备与中继设备，中继设备与基站设备之间建立一对多的映射关系。方便远程服务器对硬件设备进行网络管理。本抄表系统报文格式为下表 1 所示，报文长度为 1 byte 定长字节。当服务器需要自上而下获取节点设备的基本信息，将这些交互指令以功能码的形式添加到通信的报文格式中。

表 1 通信报文格式

标识	帧头	帧长	ID 设备编号	功能码
占空间	1byte	1byte	2byte	2byte
数据位	时间戳	校验位	帧尾	
3byte	4byte	2byte	1byte	

如表 2 所示，节点设备与中继设备，中继设备与基站设备之间遵循主从的通信方式。本文设计了一系列指令功能码，随着系统的不断完善和功能的逐渐丰富可以不断的增加功能码的内容。主设备可以通过发送 0xffff 获取硬件设备的地址信息、发送 0x0101 获取从设备的出厂信息（出厂日期，经度纬度）、发送 0x0102 获取当前设备的时间戳，获取硬件设备的时间信息、发送 0x0103 获取水表设备的电压瞬时值，当工作电压低于阈值时，通知维护人员及时维修设备、发送 0x0201 要求从设备重发上一条通信指令。

表 2 水表数据帧部分命令及含义

主设备		从设备
发送帧命令	含义	回复帧命令
0xffff	地址广播指令	0x0000
0x0101	读取从设备的基本信息	0x0111
0x0102	校验时间/实时时间查询	0x0112
0x0103	从设备电压值状态信息获取	0x0113
0x0201	超时请求从设备返回上一条指令	0x0211

3.2.2 应用层软件设计

1) 节点设备软件设计。

现采集节点的设计流程图如图 5 所示。节点设备定时被唤醒，向服务器上传水表的数据。也需要通过 LoRa 网络以轮询的方式监听串口，在收到数据帧且校验通过后，解析数据帧中的功能码，执行对应的功能指令，向服务器反馈节点设备的数据。在成功向服务器传输数据后，定时重新进入休眠模式，以此实现低功耗。

2) 基站设备软件设计。

基站设备的主程序流程图如图 6 所示，外围设备事件都是通过中断来驱动的。

当执行一个指定目标节点设备的抄表指令时。中断向量函数监听到 LoRa 数据，根据通信协议中的数据帧格式向目标节点设备反馈通信事件。基站设备与节点设备之间建立了超时重连机制，基站设备在响应完事件后重新进入事件监听阶段。

依靠该基站设备的软件设计，可有效的管理各个任务依据中断优先级处理不同的任务，做到及时响应事件，让基站设备在系统中发挥核心作用。

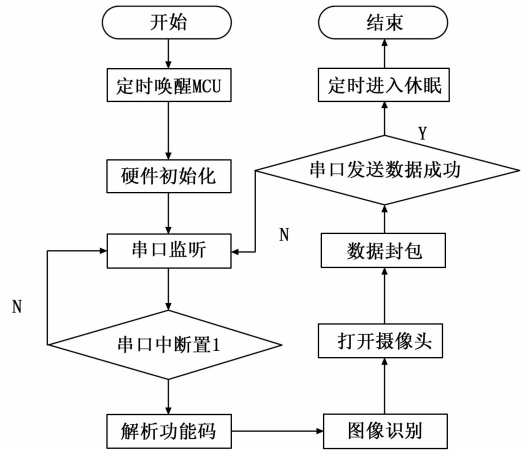


图 5 采集设备流程图

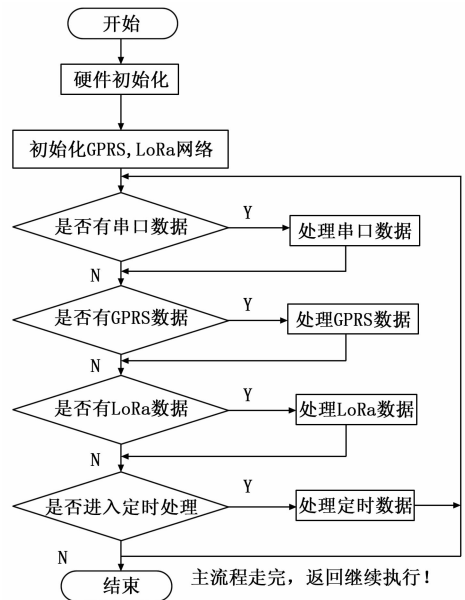


图 6 基站设备流程图

4 实验结果与分析

4.1 实时抄表实验

为了验证智能水表的通讯性能，在武汉市华中师范大学校园内教学区进行实地抄表实验，实验在如图 7 所示的教学楼进行，教学楼结构为地上 14 层，地下 2 层。实验条件如下：将节点水表设备（图 8）安置在任意楼层，基站/网关设备（图 9）固定安置在 14 层天台处。数据库部署在阿里云服务器。

实验时，实验人员手动发送 SendData，数据成功录入至数据库中即为 1 次通讯成功。实际测试结果地上 1 层到地上 14 层通信成功，地下 1 层与地下 2 层不能通信。总结可能的原因为地下两层为学校的电磁实验室且楼层结构与上 14 层存在较大不同。

4.2 有效距离测试

有效距离测试条件如图 10 所示，中继/网关与节点设备的安置在图 10 中进行标注，两地直线距离为 3.35 km。该段区域主要为校园内的林荫大道，无明显的障碍物，测试天气晴朗。



图 7 教学楼

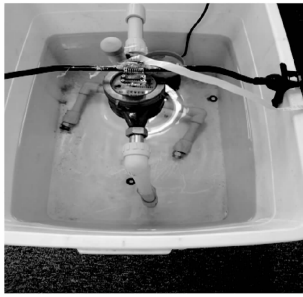


图 8 水表节点设备

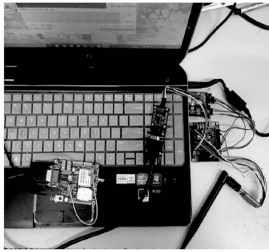


图 9 基站/网关



图 10 有效距离测试示意图

用 LoRa 设备进行的透明传输实验, 改变 LoRa 通信模块的空口传输速率, 实测最远通信距离为 4.45 km, 实验结果如表 3 所示, 随着 LoRa 模块的空中速率逐渐增大, 两模块间的通信距离逐渐降低。厂家提供的 LoRa 模块发射功率为 0.1 瓦时, 理论通信距离最大可达 3 km, 实际在华中师范大学校园内测试的最远通信距离达到 1.63 km, 几乎是在视距无遮挡条件下, 此时 LoRa 模块的空中速率为 2.4 kbps。在 1.63 km 的距离能够保证良好通信, 对 LoRa 的空速进行调节, 当速率增大到 19.2 kbps 时, 最大通信距离下降到 1.31 km。

表 3 空旷区域 LoRa 通信结果

组数	通信距离/km	LoRa 空中速率/bps
1	1.63	0.3k
2	1.63	1.2k
3	1.63	2.4k
4	1.63	4.8k
5	1.33	9.6k
6	1.31	19.2k

4.3 系统功耗测试

从功耗方面看, LoRa 模块的 SX1278 休眠电流为 1 μ A, 主芯片 STM32F103VCT6 深度休眠电流为 25 μ A, 实测为 30 μ A, 加上晶振等一些外围电路, 电流预估的休眠电流为 30 μ A, 实测电流为 35 μ A。电路在正常工作状态下的电流为 60 mA 满足了设计预算^[8]。从整个水表的功耗计算来看, 采用两节 3600 mAh 的电池, 在规定的 3~5 年的时间内可以满足实际需求, 不过这还只是一个预算值, 待后期大量的实验来验证。

4.4 长期抄表测试

为了验证采集系统的有效性。由部署在阿里云服务器负责将节点采集的数据录入数据库中。实验条件如下: 设置服务端 ip 地址“106.14.115.183”, 端口为“8080”。对节点设备编号为 17 的水表进行 30 分钟一次的数据采集工作, 其显示的采集结果可以在图 11 所示的数据库表格中直观的看到, 从下午

18:00 到凌晨 5:30 的夜间时段对水表进行了 24 次心跳测试。在保证数据上传不丢帧的情况下系统延时可控制在 1 分钟可接受范围之内, 系统整体运行状态良好。在长期测试环境下, 可以保证良好的通信, 抄表率为 98%~100%之间。

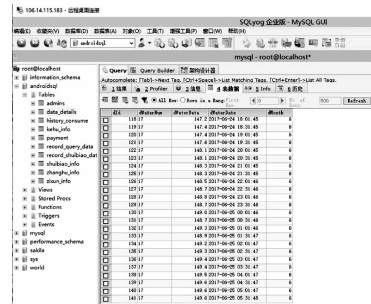


图 11 后台数据收集

5 结语

本文介绍了 LoRa 相关的技术特点, 分析了智能水表的应用场景需求, 提出一套基于 LoRa 无线通信技术的智能水表系统设计方案, 从设计方案的软硬件部分分别展开论述, 对方案的通信协议与可实施性做出了详细的论述。最后就反映系统通信能力的通信距离与低功耗性能两个重要指标做了测试分析, 并在长期抄表测试部分验证了系统的合理性与稳定性。实验主要在学校的教学楼与无障碍物的林荫道进行, 具有一定程度的适用性。

总结分析最后的实验结果验证了 LoRa 网络为智能系统整体提供了低功耗、远距离传输的特性, 实现面向用户的远程管理最终实现水表的智能互联^[9]。LoRa 组网不仅是对现有的无线网络很好的补充, 其本身也是一种高效便捷的硬件组网方案。

本文所介绍的智能水表系统仍然存在许多可以完善的地方, 在不远的将来作为智能三表^[10]中的智能水表最终会改变人们的生活方式。

参考文献:

- [1] 龚天平. LORA 技术实现远距离低功耗无线数据传输 [J]. 电子世界, 2016, 10: 115-117.
- [2] 赵静, 苏光添. LoRa 无线网络技术分析 [J]. 移动通信, 2016, 40 (21): 50-57.
- [3] 黄增波, 叶锦娇, 赵华玮. 基于 LoRa 技术的低功耗无线锚杆应力传感器设计 [J]. 煤矿现代化, 2017 (1): 39-42.
- [4] 张思满, 赵春焕, 钟晨, 丁渊明, 聂西利. 基于 LoRaWAN 的远程抄表系统 [J]. 建设科技, 2017 (6): 41-43.
- [5] 赵太飞, 陈伦斌, 袁麓, 胡小乔. 基于 LoRa 的智能抄表系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (9): 298-301.
- [6] 王昌达, 鞠时光. 无线组网技术中的安全问题 [J]. 计算机科学, 2006 (7): 121-126.
- [7] 刘火良, 杨森. STM32 库开发实战指南 [D]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [8] 罗贵英. 基于 LoRa 的水表抄表系统设计与实现 [D]. 杭州: 浙江工业大学, 2016.
- [9] 赵静. 低速率物联网蜂窝通信技术现状及发展趋势 [J]. 移动通信, 2016, 40 (7): 27-30.
- [10] 罗明凤, 周燕. 智能小区水电气三表集抄系统研究 [J]. 信息技术与信息化, 2014 (6): 125-126.