

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2018.02.009

# 基于 LoRa 的智能水表抄表系统的设计与实现

孙 晓<sup>1</sup>, 王 兴<sup>2</sup>, 杨守平<sup>2</sup>, 夏运贵<sup>2</sup>, 刘 方<sup>1</sup>

(1. 湖南工业大学 机械工程学院, 湖南 株洲 412007;  
2. 湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

**摘 要:** 针对有线抄表系统中存在大量电缆铺设、电缆暴露、通信线过长导致抗干扰能力弱的缺点, 提出了一种采用 SX1278 芯片的 LoRa 通信技术的无线智能水表抄表系统的设计方案, 以实现智能水表流量数据的采集和远程管理。介绍了系统网络的拓扑结构与系统软硬件设计, 并且对系统进行了测试分析, 实验结果证明该系统运行正常。该无线水表抄表系统在株洲市多个小区的运行测试现状均表明, 该系统达到了预期的设计效果。

**关键词:** 智能抄表; LoRa; 数据采集; 物联网

**中图分类号:** TP274+.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2018)02-0049-06

## Design and Implementation of Intelligent Water Meter Reading System Based on LoRa

SUN Xiao<sup>1</sup>, WANG Xing<sup>2</sup>, YANG Shouping<sup>2</sup>, XIA Yungui<sup>2</sup>, LIU Fang<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;  
2. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** In view of such flaws in wired meter reading system as cable laying, cable exposure and poor anti-interference performance due to long communication lines, a design scheme of wireless intelligent water meter reading system has thus been proposed on the basis of LoRa communication technology of SX1278 chips, which facilitates the collection and remote management of the flow data of the intelligent water meters. An introduction has been made to the topology of the system network and the design of the system software and hardware, followed by a test and analysis of the system. The experimental results show that the system is functionally effective. The running test of the wireless meter reading system in several districts in Zhuzhou shows that the system has been successful with its expected design effects achieved.

**Keywords:** intelligent meter reading; long range (LoRa); data acquisition; internet of things (IoT)

## 0 引言

随着近年来我国电子技术与无线通信技术的快速发展, 远距离数据传输技术被应用到了众多领域。在自动抄表系统中, 目前采用的通信技术主要包括通

用分组无线服务技术 (general packet radio service, GPRS)、无线保真 (wireless-fidelity, Wi-Fi)、紫蜂协议 ZigBee 和远程 (long range, LoRa) 等<sup>[1]</sup>。其中, LoRa 是一种新型无线通信技术, 融合了数字扩频技

收稿日期: 2017-06-13

基金项目: 湖南工业大学研究生科研创新基金资助项目 (CX1602)

作者简介: 孙 晓 (1972-), 男, 湖南株洲人, 湖南工业大学教授, 硕士生导师, 主要从事机电控制与计算机应用技术方面的教学与研究, E-mail: sxbug@163.com

术、数字信号处理以及前向纠错编码技术,增加了数据传输过程中链路预算以及抗干扰能力,因而适用于远距离数据传输、抗干扰能力强、低功耗的物联网网络。可见,将 LoRa 通信技术应用在无线抄表系统中,可以实现远距离数据传输与低功耗并存的目的。

已有水表抄表系统多为有线抄表系统,存在大量电缆铺设、电缆暴露、通信线路过长等特点,因而导致组网时耗电、抗干扰能力弱及开发困难等缺点。目前已有的 ZigBee 无线抄表技术虽然可以很好地弥补有线抄表成本高、系统不稳定等缺陷,但是其存在传输距离较短、抗干扰能力较弱等缺点,仍然无法满足如今庞大的城市水表抄表系统的需求。基于 LoRa 技术的特点,若将 LoRa 技术应用到无线抄表系统中,可以实现水表的远程抄取与远程监控,节省大量的人力与物力资源,方便居民用水的智能化管理。因此,本研究设计了一种基于 LoRa 的无线智能水表抄表系统的设计方案。实际运行结果显示,该系统能够很好地满足实际需求,可被应用于居民小区、工厂等,实现对水表的智能管理。

## 1 系统总体设计

本系统的硬件组成主要包括采集器、中继器、带

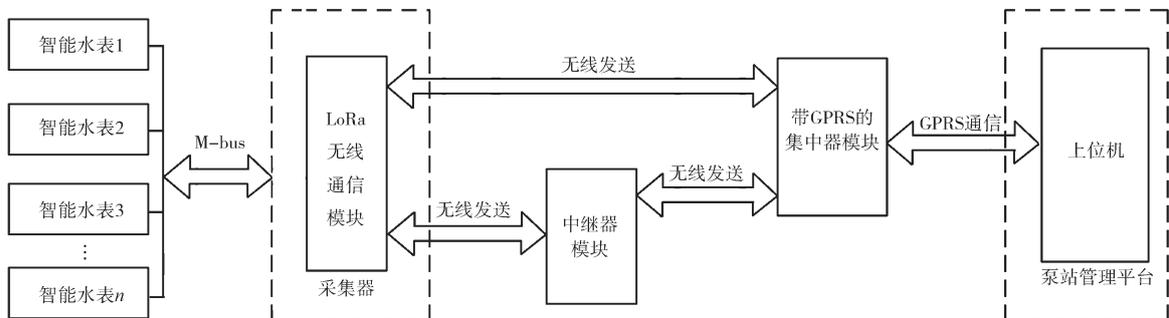


图1 系统整体框架

Fig. 1 An overall framework of the system

## 2 一区多网的星型拓扑结构设计

目前,LoRa 网络一般采用星型结构,相较于网状结构,其不需要采用复杂的多层网络结构,因而结构十分简单。在进行远距离通信时,由于其低功耗的特点也更好地保护了电池寿命。在小区的智能水表抄表系统中采用星型网络可以满足实际需求。LoRa 网络中的终端节点数可以达到数万个,但在实际使用过程中,终端节点过多会导致协调器负担过重,持久的运行工作极有可能增加误码率,甚至导致系统瘫痪。因此,可以将整个小区的 LoRa 网络分成若干个网络,形成一区多网的结构<sup>[4]</sup>。每个网络相应地设置一个父

GPRS 的区域集中器和上位机。其中,带 GPRS 的区域集中器包括 LoRa 数据接收模块和 GPRS 数据发送模块。

本研究所设计的系统智能水表与集中器之间采用 LoRa 无线一对多的通信方式;终端智能水表中带有 LoRa 通信功能的传感器;LoRa 模块的采集节点与智能水表之间,根据 Modbus 通信协议,通过 RS485 方式连接;采集节点与集中器之间的通信方式借助 LoRa 出色的穿透能力及超远的传播距离实现。若数据传输过程中遇到障碍物严重遮挡,则系统可加入中继器,将采集到的节点数据转发至集中器。所有数据到达集中器后,再经 GPRS 远程发送到上位机<sup>[2]</sup>。

上位机对 GPRS 发送到服务器的数据进行解析、处理,并转换成有价值的信息。需要抄表时,上位机通过 GPRS 发出抄表指令,集中器收到信息后再将数据发送给水表,部分水表也需要中继器进行信号中继传输,水表收到抄表指令后再通过 LoRa 模块将数据传输到集中器,集中器再将数据上传至上位机,由此实现无线抄表。该系统不仅网络结构简单、抗干扰能力强,还可以实现上电即用,为集抄管理中心提供了智能的管理与决策功能<sup>[3]</sup>。

系统整体框架如图 1 所示。

节点作为协调器,这样,各个网络的组建就得以并行进行,从而减轻了通信链路的压力。

为了避免信号间的相互干扰,本文对同一区域内的不同网络设置了不同的频道。在 LoRa 网络中,系统选择一个信道作为默认信道,协调器将在其中一个默认信道上建立自己的网络。系统中的采集节点和终端节点也选择一个默认信道加入网络,这样可以避免其他网络对其干扰。由于 SX1278 模块采用了扩频调制技术,使不同的数据传输速率之间无通信干扰,提高了设备的抗干扰能力。因此,采用一区多网的网络结构可以有效地降低误码率,提高网络运行的稳定性<sup>[5]</sup>。

### 3 系统硬件设计

#### 3.1 主控芯片与智能水表设计

本系统微控制单元 (microcontroller unit, MCU) 主控芯片采用 STM32L051, 其拥有 Corter-M0+ 内核, 相较于 STM32F103, STM32L051 的优势在于具有睡眠、停止及待机 3 种工作模式。同时, 其运行功耗更低, 主频为 32 MHz, 最大 FLASH 为 64 kB, 很容易满足智能水表无线抄表系统所需要的空间, 较适用于低功耗要求苛刻的小型产品。同时, 它具有优越的计算性能与中断响应系统。



图 2 智能水表示意图

Fig. 2 A physical map of the intelligent water meter

本方案采用的智能水表是 SCL-61D 系列的超声水表 (如图 2 所示), 相较于传统水表, 其解决了始动流量高、小流量不计量的难题。且水表采用电池供电, 一节电池可连续工作

6 a 以上; 同时, 水表具有数据存储和 RS485 与外界通信的接口功能。

#### 3.2 LoRa 模块设计

系统硬件设计中, LoRa 模块采用 SX1278 芯片, 相较于 Si4438 芯片, 其具有更远的数据传输距离、更长的电池寿命、更加稳定可靠的链路以及更低的功耗等优点。采用 SX1278 芯片, 可以减少系统中继器的数量, 节省系统成本。LoRa 模块电路结构如图 3 所示。

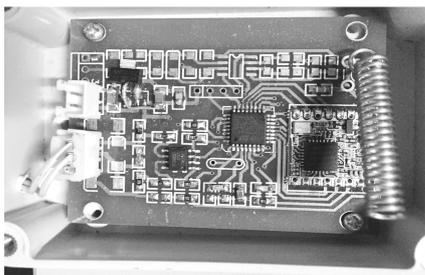


图 3 LoRa 模块电路结构图

Fig. 3 LoRa module circuit diagram

本方案设计中, LoRa 模块的采集节点与智能水表之间通过 RS485 方式连接, 因而采集节点可以对水表数据进行采集和控制。当集中器的汇聚节点下发指令时, 采集节点便会响应该指令, 并将采集的水表数据上传至汇聚节点, 再通过集中器将数据经 GPRS 远程发送至上位机, 实现对水表数据的采集与远程控制。当采集节点与汇聚节点之间的数据传输受到障碍物严重遮挡时, 中继节点便会发挥作用, 它用于转发

这些传输受阻的数据信息与相关指令, 从而扩大了无线抄表的数据传输范围。中继器也自带串口, 可以根据实际需求设置相应的参数。本设计中采集节点与中继节点硬件结构如图 4 所示。

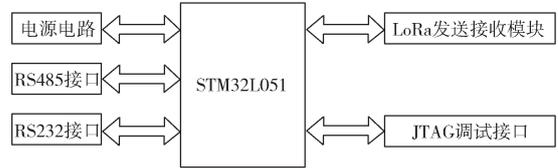


图 4 采集节点与中继节点硬件结构图

Fig. 4 Hardware structure diagram of nodes and relay nodes

#### 3.3 带 GPRS 的集中器硬件设计

本设计中集中器带有 GPRS 模块, 其硬件结构如图 5 所示。

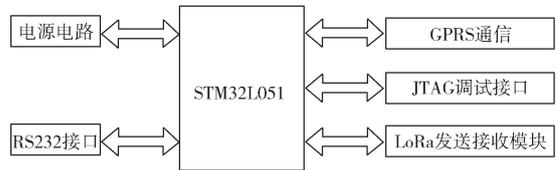


图 5 带有 GPRS 模块的集中器硬件结构图

Fig. 5 Hardware structure of concentrators with GPRS modules

在整个无线抄表系统中, 集中器负责集抄中心与水表的连接, 起到对数据的双向传输与系统的检测和管理功能。一方面, 集中器接收采集节点上传的水表数据, 并可以对其进行存储, 也可以通过 GPRS 远程上传至上位机; 另一方面, 集中器也可以下发上位机的命令至任意的采集节点。集中器本身也具有电源、工作状态与通信状态指示信号灯等功能, 从而方便了操作人员设置相应的网络参数。本设计中的集中器模块如图 6 所示。

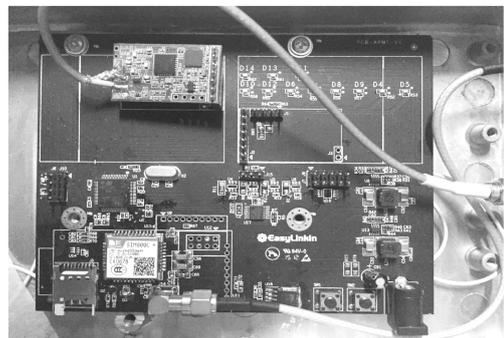


图 6 集中器模块示意图

Fig. 6 A physical map of concentrator modules

集中器自带的 GPRS 模块<sup>[6]</sup>利用用户身份识别模块 (subscriber identification module, SIM) 卡为 GPRS 网络提供服务, 将集中器接收的水表数据上传至上位机。本设计方案中, 上位机具有串行接口, 集中器



### 4.3 带 GPRS 的集中器软件设计

首先, 向服务器注册网关, 然后向服务器发送连接信号, 并等待消息确认。如果没有收到连接信号, 则需要重新发送连接信号; 当确认收到连接信号后, 则接收各节点传来的数据, 并将传来的数据进行打包、压缩; 最后, 通过 GPRS 网络自动分配, 将数据上传至上位机<sup>[9]</sup>。带 GPRS 的集中器程序设计流程如图 9 所示。

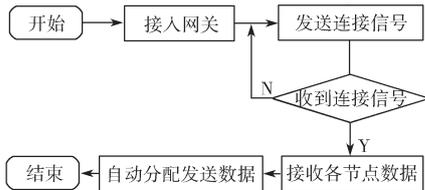


图 9 带 GPRS 的集中器程序设计流程图

Fig. 9 A flow chart of concentrator program with GPRS

## 5 系统测试结果分析

为了对本设计方案进行测试分析, 首先要搭建系统测试环境, 本方案选择了某小区作为测试点。在小区选择合适的安装有智能水表的窨井盖, 将 LoRa 模块与智能水表通过 RS485 连接, 串口波特率选择 9 600 bps, 井下设备包括智能超声水表、LoRa 模块及锂电池, LoRa 模块现场安装图如图 10 所示。



图 10 LoRa 模块现场安装图

Fig. 10 Field installation diagram of LoRa module

此外, 将带有 GPRS 的集中器安装在小区泵房里, 集中器模块中安装有太阳能充电管理模块以及蓄电池。集中器现场安装图如图 11 所示。



图 11 集中器现场安装图

Fig. 11 Concentrator installation diagram

集中器安装完毕后, 另一端的服务器连接成功,

并等待接收各节点数据<sup>[10]</sup>。测试的数据分析如图 12 所示。图 12 中显示了几条数据格式, 分别代表了瞬时流量、累计流量、累计运行时间和负累计流量, 对数据格式进行转换便可得到实际数据。



图 12 测试数据分析示意图

Fig. 12 A schematic diagram of test data analysis

由于服务器接收到 GPRS 发送的数据在不断更新变化, 则选择截取图 12 其中一条数据格式进行计算分析, 该数据格式为 FA 21 02 FF 00 0A 20 00 00 FF AA 55 00 00 00 00 45 03 EC DB 00 00 3B 83 00 00 04 4B FF FF FF F6, 对十六进制数据格式换算得到的实际数据如表 2 所示。

表 2 接收数据实际数值

Table 2 Actual numerical values of received data

十六进制	采集目标	数值类型	实际数据
45 03 EC DB	瞬时流量	浮点数	2.11 m <sup>3</sup> /h
00 00 3B 83	累计流量	整数	15 235 m <sup>3</sup>
00 00 04 4B	累计运行时间	整数	1 099 h
FF FF FF F6	负累计流量	补码取反	1 m <sup>3</sup>

从表 2 中可以精确地得到该小区水表瞬时流量、累积流量、累计运行时间以及负累计流量等数据。实验数据表明, 该方案设计切实可行, 在小区测试运行正常, 该系统可以实现智能水表数据远距离传输, 并且功耗较低、抗干扰能力较强, 系统具有较高的稳定性。目前, 该无线水表抄表系统已经被株洲市自来水公司应用到了天鹅花园小区、天台小区等多个住宅小区, 经持续 1 a 的运行测试与分析, 均达到了预期的信息采集效果。

## 6 结语

本文提出并设计了一种基于 LoRa 技术的智能水表抄表系统, 并分别从系统整体结构、网络拓扑结构、系统软硬件等方面介绍了 LoRa 网络在智能水表抄表系统中的应用。

通过 LoRa 网络与 GPRS 网络实现泵站管理平台与智能水表之间的通信, 测试数据表明, 水表与泵站管理平台之间的数据传输及时、稳定。该系统提供了一种通信距离远、功耗低、抗干扰能力强以及成本较

低的智能水表抄表方式,体现出较高的使用价值和  
经济价值,具有广泛的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 陈静琼, 张小建, 徐 慧. 基于传感网技术的无线智能抄水表系统设计 [J]. 工业控制计算机, 2011, 24(2): 57-58, 60.  
CHEN Jingqiong, ZHANG Xiaojian, XU Hui. Design of Wireless Intelligent Water Meter System Based on Sensor Net[J]. Industrial Control Computer, 2011, 24(2): 57-58, 60.
- [2] 王 瑞. 基于 LORA 通信的无线水表抄表系统的设计 [D]. 南昌: 东华理工大学, 2016.  
WANG Rui. Design of Wireless Water Meter Reading System Based on LORA Communication[D]. Nanchang: East China University of Technology, 2016.
- [3] 周 鑫, 朱向东, 于秀波. ZigBee 远程无线抄表系统的设计 [J]. 自动化仪表, 2013, 34(3): 31-33, 37.  
ZHOU Xin, ZHU Xiangdong, YU Xiubo. Design of Remote Wireless Meter Reading System Based on ZigBee Technology[J]. Automation Instrumentation, 2013, 34(3): 31-33, 37.
- [4] 郑君刚, 吴成东, 陈 彪, 等. 智能小区无线抄表系统集中器设计 [J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2009, 25(4): 808-812.  
ZHENG Jungang, WU Chengdong, CHEN Biao, et al. Design of Concentrator of Wireless Meter Reading System in Smart Home[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science), 2009, 25(4): 808-812.
- [5] 刘 颖, 王再英, 彭 倩, 等. 基于 ZigBee 和 GPRS 的远程无线抄表系统设计与实现 [J]. 科学技术与工程, 2012, 12(30): 8058-8062.  
LIU Ying, WANG Zaiying, PENG Qian, et al. Design and Implementation of Remote Wireless Meter Reading System Based on ZigBee and GPRS[J]. Science Technology and Engineering, 2012, 12(30): 8058-8062.
- [6] 葛肇隆. 微功率无线抄表系统的设计与实现 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2015.  
GE Zhaolong. The Design and Implementation of a Micro Power Wireless Meter Reading System[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2015.
- [7] 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.  
LUO Guiying. Design and Implementation of Meter Reading System Based on LoRa[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2016.
- [8] 周怡颀, 凌志浩, 吴勤勤. ZigBee 无线通信技术及其应用探讨 [J]. 自动化仪表, 2005, 26(6): 5-9.  
ZHOU Yiting, LING Zhihao, WU Qinqin. ZigBee Wireless Communication Technology and Investigation on Its Application[J]. Process Automation Instrumentation, 2005, 26(6): 5-9.
- [9] 刘 洋. 基于嵌入式的无线抄表系统的研究与实现 [D]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2012.  
LIU Yang. Research and Implementation of Embedded Wireless Meter Reading System[D]. Harbin: Heilongjiang University, 2012.
- [10] 王益祥, 牛江平. 远程无线抄表系统的研究 [J]. 自动化仪表, 2011, 32(3): 4-7.  
WANG Yixiang, NIU Jiangping. Research of Remote Wireless Meter Reading System[J]. Process Automation Instrumentation, 2011, 32(3): 4-7.

(责任编辑: 廖友媛)