

基于 LoRa 的智能电表通信方案设计

刘羽轩¹, 蔡高琰², 梁炳基², 骆德汉¹, 何家峰¹

(1. 广东工业大学 信息工程学院, 广东 广州 510000; 2. 广东浩迪创新科技有限公司, 广东 佛山 528000)

摘要: 随着建设国家智能电网概念的提出, 智能电表开始成为人们关注的焦点。为了更加方便、准确、及时地对用户用电量进行抄读与管理, 实现智能电表的自动化、网络化, 设计了一种基于 LoRa 的中继多跳组网协议, 并通过对智能电表和采集器的通信模块进行新型软硬件设计, 来实现此协议在智能电表通信方案中的移植和使用, 进行智能电表的新型通信方案设计。该方案从通信性能及适用场景出发, 在 LoRa 通信的基础上, 通过中继多跳组网协议进一步提升 LoRa 通信的性能, 实现了高容量、高可靠性的新型通信方案。

关键词: LoRa; 智能电表; 中继多跳组网; 通信方案

中图分类号: TN925+.1

文献标识码: A

DOI: 10.19358/j.issn.2096-5133.2021.03.010

引用格式: 刘羽轩, 蔡高琰, 梁炳基, 等. 基于 LoRa 的智能电表通信方案设计[J]. 信息技术与网络安全, 2021, 40(3): 54-59.

Design of intelligent meter communication system based on LoRa

Liu Yuxuan¹, Cai Gaoyan², Liang Bingji², Luo Dehan¹, He Jiafeng¹

(1. School of Information Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510000, China;

2. Hodi Technology Co., Ltd., Foshan 528000, China)

Abstract: With the concept of building national smart grid, smart meter has become the focus of people's attention. In order to read and manage the user's electricity consumption more conveniently, accurately and timely, and realize the automation and networking of smart meters, this paper designs a relay multi hop networking protocol based on LoRa, and through the design of software and hardware of smart meter and collector, completes the transplantation and implementation of this protocol in smart meter communication, and designs a new communication scheme of smart meter. This scheme starts from the communication performance and applicable scenarios, on the basis of LoRa communication, further improves the performance of LoRa communication through relay multi hop networking protocol, and realizes a new communication scheme with high capacity and high reliability.

Key words: LoRa; intelligent meter; relay multi hop networking; communication scheme

0 引言

当前新型智能电表普遍采用无线通信方案, 无线通信技术有 GPRS、ZigBee、LoRa 等。在无线通信技术中, 远程(Long Range, LoRa)是一种采用扩频技术的无线传输方案, 具有远距离传输、抗干扰能力强、低功耗等特点^[1-2], 其特性适合用于智能电表的通信。但其也存在着可靠性低、容量过少的问题^[3-5]。因此, 本文研究一种基于 LoRa 的使用新型组网协议的通信方案, 致力于消除 LoRa 的不足, 使其更加适合于智能电表通信。

1 通信方案架构及工作原理

本方案的总体构架如图 1 所示。在通信系统中分为采集器节点和电表节点, 基于 LoRa 的智能电表节点中搭载了 LoRa 功能的传感器, 电力数据通过 LoRa 无线通信单元经过中继多跳网络发送到采集器节点的接收模块, 采集器节点通过 GPRS 将数据发送至服务器^[6-7]。其中电表节点和采集器节点数据传输使用的中继多跳组网协议, 可有效解决当采集器和电表节点过远时出现的问题。

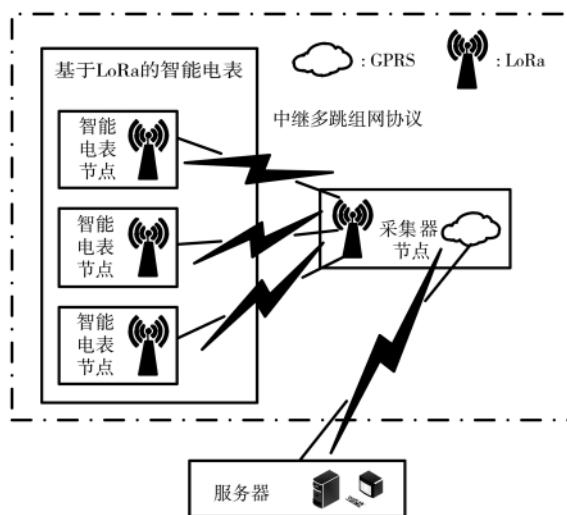


图1 总体架构

2 LoRa 中继多跳组网协议设计

LoRa 模块的传输方式分为透明传输和定向传输^[7-8]。其中透明传输采用的是 LoRa 扩频技术来进行,同时提供 RS485 和 RS232 串口,为用户提供全透明数据传输模式,也为建立中级多跳网络提供了便利。本文设计的中继多跳组网协议即在透明传输的基础上实现。

2.1 协议帧结构设计

中继多跳通信时需要两电表节点之间进行通信,所以两电表的 LoRa 模块配置也应设置相同^[9-11]。电表节点基于 LoRa 透传的数据帧结构设置见表1。

表1 数据帧结构

结构名	信号类别
帧起始符(HE)	68H
当前传输地址(CA)	xxH
传输地址列表(TL)	电表节点地址表数量 详细电表节点地址表
传输数据(DA)	电力数据长度 电表节点数据
校验码(CS)	CS

2.2 中继多跳传输协议设定

中继多跳传输协议执行步骤如图2所示。

具体步骤如下:

(1)判断电表节点接收的数据帧中的CA与其本地地址是否相同。若相同,执行第(2)步;否则执行第(5)步。

(2)判断接收的数据帧中的CA是不是为TL中

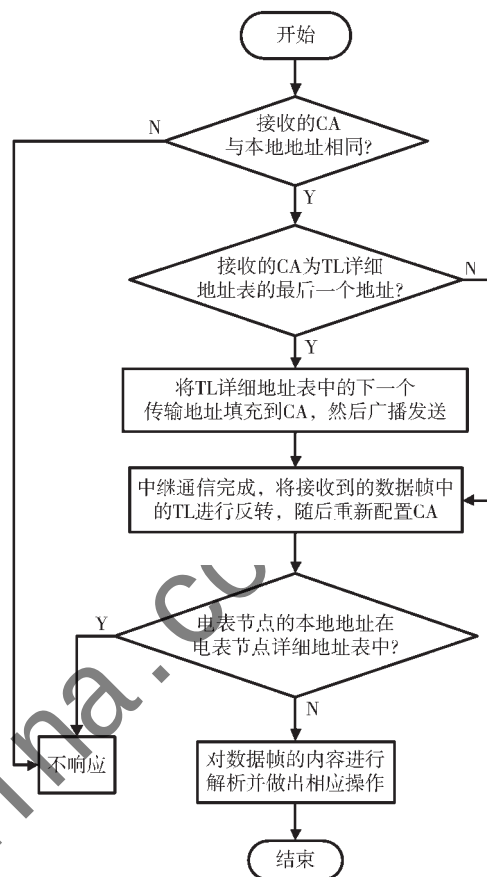


图2 协议帧执行步骤

电表节点详细地址表中最后一个地址。若不是,执行第(3)步;若是,则执行第(4)步。

(3)将TL的电表节点详细地址表中的下一个传输地址填充到传输数据帧结构中的CA,然后广播进行发送。

(4)若数据帧中的CA是电表节点详细地址表最后一个地址,则说明中继通信完成,该电表节点可以进行数据内容解析并做出相应操作。响应数据时,需要将接收到的数据帧中的TL进行反转,随后重新配置CA。

(5)若电表节点接收的数据帧中的CA与电表节点的本地地址不一致,则不响应。

(6)若电表节点接收的数据帧中的CA是十六进制,那么判断电表节点的本地地址是否在电表节点详细地址表中。如果在,则表示该数据帧被当前电表节点中继过,可以不作响应;如果不在,则表示此数据帧是广播数据帧,对数据帧的内容进行解析并做出相应操作。

2.3 中继多跳组网链路

将本协议移植到电表节点中,即可实现电表节点的数据中继多跳传输,其组网链路模型如图3所示。

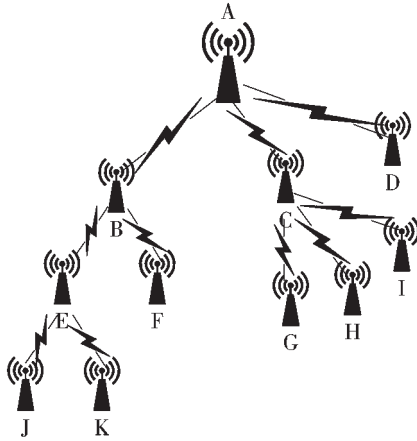


图3 组网链路模型

图3中,A表示采集器节点,B~K表示LoRa电表节点,其组网链路过程如下:

- (1)节点A通过广播发出十六进制的数据帧,对各个电表节点设备标号进行获取。
- (2)收到广播的数据帧后,B~K电表节点将自己设备标号中继发送至A,A对各电表节点的本地地址进行分配。
- (3)B、C、D即为一级电表节点设备,由A直接分配地址。
- (4)已经分配好地址的B、C、D等一级电表节点设备继续进行中继广播;E、F、G、H、I即为二级电表节点设备,通过已经分配地址的一级电表进行地址分配,如B给E、F进行分配地址,以此类推,直到整个中继多跳网络形成。

3 智能电表通信模块硬件设计

在智能电表通信系统中,为实现本文设计的基于LoRa透明传输的中继多跳网络,保证系统通信过程中的状态监测以及数据的实时处理,需要分别对电表节点和采集器节点进行硬件设计。

3.1 电表节点硬件设计

电表节点的主要功能是对用电量进行实时采集,并将采集的数据发送给采集器,实现与采集器之间的通信^[12]。其硬件框图如图4所示。

本文选取HD-TB01单相电表作为基表,使用STM32系列芯片作为LoRa模块的主控MCU,射频收发芯片选用SX1278芯片。其中,MCU电路为整个

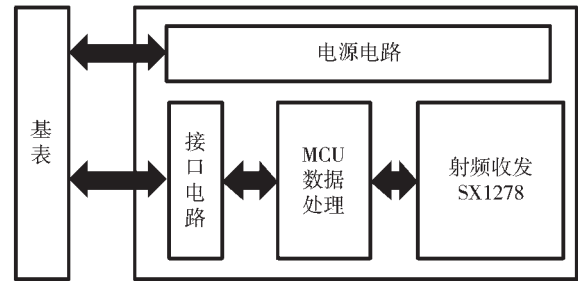


图4 电表节点硬件框图

模块的大脑,主要对射频芯片进行控制,支撑其完成数据的接收/发送;射频芯片则实现数据的无线发送和接收;接口电路完成LoRa模块与基表之间的通信,使用RS232串口通信。

3.2 采集器节点硬件设计

采集器节点是中继多跳网络与远程通信网络(GPRS)的中间环节^[13-14],主要负责采集电表节点的数据并进行数据的上传与下发。其硬件结构如图5所示。

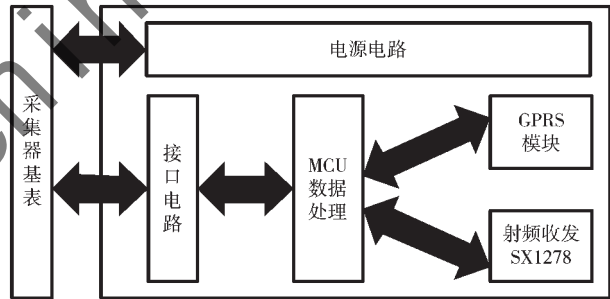


图5 采集器节点硬件框图

本文选用C121-GL云终端采集器作为采集器基表,与电表节点相同,使用STM32系列芯片作为LoRa模块的主控MCU,射频收发芯片选用SX1278芯片,采用RS232串口通信与采集器基表进行通信,其主要流程为:通过射频收发模块采集电表节点的数据,然后经过MCU模块处理,再通过GPRS模块发送至服务器。

4 智能电表通信模块软件设计

本文设计的通信协议,遵循智能电表DL/T645-2007规约以及GBDW-1375系列协议,设计基于LoRa透明传输的中继多跳组网方式来进行数据转发。其软件设计包括组网的功能设计和电表节点、采集器节点的软件设计。

4.1 LoRa组网功能设计

LoRa采集器节点使用中级多跳网络协议前必

须进行采集器节点和电表节点无线组网,其组网设计流程如下:

- (1) 采集器上电后发送启动注册的广播帧。
- (2) 电表收到广播帧后,如帧内 LoRa 参数与电表一致,则上报带表号的注册帧。
- (3) 采集器收到电表上报的注册帧后,若该电表在采集器的配置表上,则回应确认帧;如电表不在采集器配置表上,则回应拒绝注册帧。电表收到拒绝帧,且帧内 LoRa 参数与电表一致,立即跳到下一频段等待注册。
- (4) 电表收到确认帧,且帧内 LoRa 参数与电表一致,则认为是注册成功,无需再返回应答帧,保持在当前通信频率等待采集器抄读,不再响应广播帧。
- (5) 采集器 5 s 内未收到电表上报帧,则重发广播帧。
- (6) 当采集器判断配置表内所有表均已上报或已抄到过数据,或者 5 s 内无电表上报且注册流程已超过 20 s,则结束注册流程,继续抄表。
- (7) 如果采集器上一次注册流程未完成所有电表注册,因超时而结束,则等待其他抄表任务结束后继续启动注册流程。
- (8) 电表长时间(暂定 30 min)未收到采集器的广播帧或对该电表的抄读帧,则重新进入注册状态,尝试跳频以确定对应采集器的通信频率。

4.2 电表节点软件设计

基于 LoRa 的电表节点软件设计流程如图 6 所示。

在电表节点中,LoRa 模块首先会通过 RS232 串口与智能电表基表进行第一轮交互,以获取基表的自身信息并进行自身信息的初始化和网络初始化,然后请求加入由采集器节点构建的中继多跳网络。成功加入后,当电表接收到来自采集器发送的信息后,首先会使用校验来检查接收到的数据,如果确认无误,就提取数据报文中相关系列报文并进行数据记录,随后将数据通过 RS232 接口传送给智能电表基表。智能电表基表解析后,又通过 RS232 接口获取返回的响应数据,随后将数据通过中继多跳组网协议打包发送到采集器节点,至此完成了一轮数据采集。

4.3 基于 LoRa 的采集器节点软件设计

与电表节点相比,采集器节点功能更加复杂,因为其不仅需要与电表节点进行通信,还需要通过 GPRS

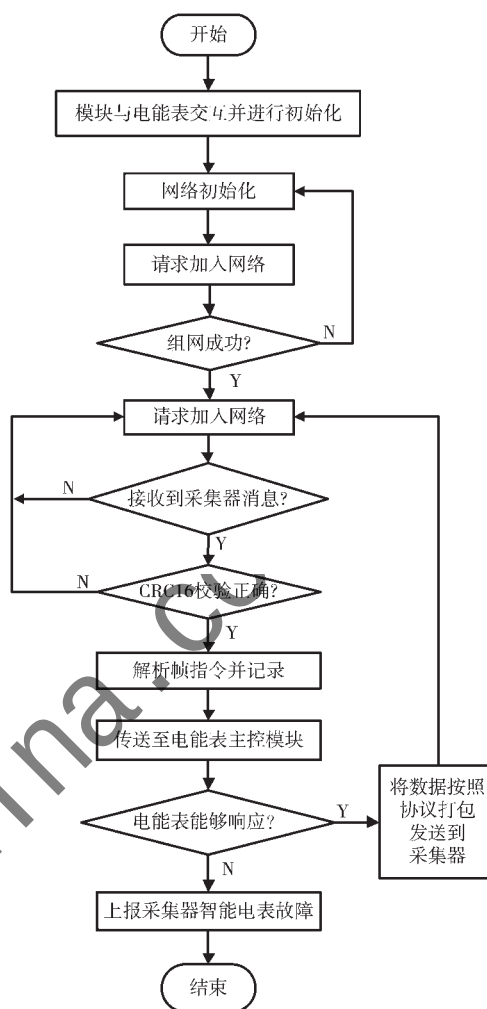


图6 电表节点软件设计流程图

网络将数据传输给服务器^[15]。采集器节点软件设计流程如图 7 所示。

在采集器节点中,LoRa 模块首先会通过 RS232 串口与采集器基表进行第一轮的交互,以获取采集器的表号等自身信息以及网络参数,并进行自身的初始化,然后扫描信道,若信道没有阻塞则建立本地通信网络即中继多跳网络。待组网成功后进入监听模式。

监听的内容分为服务器的消息和电表节点的入网请求,其处理如下:

- (1) 当监听到服务器通过 GPRS 网络传送过来的采集信息时,需要先对数据进行校验。若为正常数据,则按照协议对服务器传送的数据进行解析,通过数据内容判断采集器节点应该采取的动作,是将采集器节点本身的信息上传还是对电表节点的数据进行采集。若为上传本身数据的指令,则将数

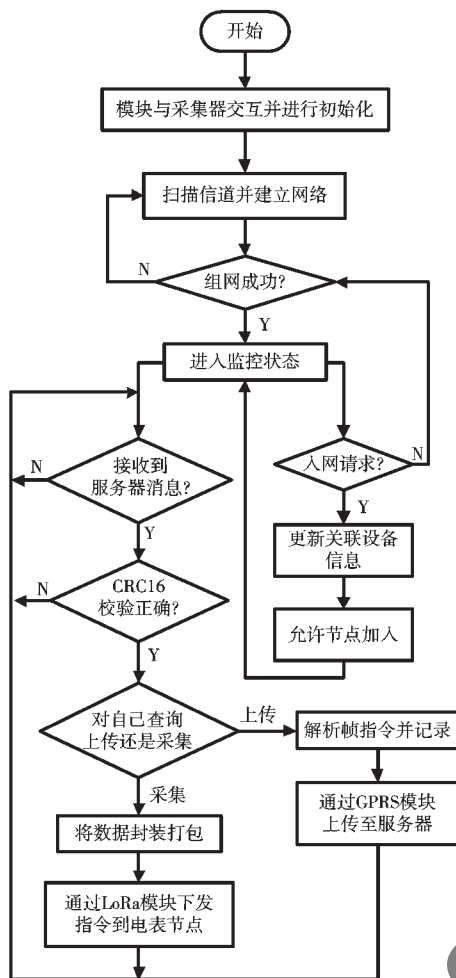


图 7 采集器节点软件设计流程图

据记录的同时通过 RS232 串口向采集器基表传送该指令,采集器基表对数据进行响应后,通过 GPRS 公网将数据传送至服务器;若接收到的信息为抄电表节点的电力数据,则首先以中继多跳协议所组成的 LoRa 网络进行索引,找到该电表,与该电表建立通信后,将数据包按照自定义的中继多跳协议进行封装和打包,并在对数据进行记录后由中继多跳网络传送给指定电表节点进行数据查询。完成操作后继续监听。

(2)当监听到的消息为电表节点入网请求时,则读取申请者的设备信息,并将其关联,允许其加入网络并继续监听。

5 整体方案测试及分析

为了验证本文设计的智能电表通信方案比普通 LoRa 网络是否有显著提升,本文根据实用场景,设计了两种测试方式,分别是空旷环境和楼房环境

下的通信测试,并与普通 LoRa 模块通信的智能电表进行对比,将采集的成功率作为衡量方案可行性的依据。

首先在服务器中对参与实验的仿真环境中的采集器节点和电表节点进行建档,然后让服务器下发指令,使得采集器对智能电表的电量信息进行轮抄,重复采集 3 次。其在空旷环境下的结果对比如表 2 所示,楼房环境下的结果对比如表 3 所示。

表 2 空旷环境下的对比

序号	最大测试距离/km	次数	中继多跳网络采集成功率/%	普通 LoRa 网络采集成功率/%
1	0.2	400	100	100
2	0.4	400	100	100
3	0.6	400	100	100
4	0.8	400	100	99
5	1	400	100	98
6	1.2	400	99	97.2
7	1.4	400	98	95
8	1.6	400	97.5	93
9	1.8	400	97	90
10	2	400	95	83

表 3 楼房环境下的对比

序号	间隔楼层	次数	中继多跳网络采集成功率/%	普通 LoRa 网络采集成功率/%
1	1	400	100	100
2	2	400	100	100
3	3	400	100	98.5
4	4	400	99	97
5	5	400	98.5	96.5
6	6	400	98	95

通过采集器对各个电表节点的电力数据进行 400 次重复采集,能够完整采集电力数据即为采集成功,通过采集成功次数获得采集成功率。

通过对比,发现本文设计的基于 LoRa 的新型通信方案在智能电表通信中有更好的表现,使用中继多跳网络时,即使楼层较高或距离较远,采集成功率仍能保持较高水平,并且随着距离和楼层的增加,成功率降低的速度也较小。因为当需要抄读更远距离的电表数据时,本文设计方案会通过中继多跳的方式将较远距离的电表数据先传输给近距离的电表,随后进行上传以保证数据采集的成功率。

6 结束语

随着智能电网的日益成熟,对更智能化的电力数据采集系统的需求也更加迫切,本文设计了智能电表新型通信方案,并进行了相关实验验证,虽由于不可控原因存在较小误差,但实验结果还是较好地证明了该方案的可行性。

参考文献

- [1] 肖勇,胡珊珊,许卓,等.智能电表通信模块可靠性评估[J].南方电网技术,2020,14(8):52-57.
- [2] 王鹏,刘志杰,郑欣.LoRa 无线网络技术与应用现状研究[J].信息通信技术,2017,11(5):65-70.
- [3] 王于波,李延,秦理想,等.基于 LoRa 技术的电力抄表模块研究[J].国外电子测量技术,2018,37(1):46-51.
- [4] 邢文.智能电表的安全需求与策略分析[J].自动化仪表,2012,33(10):42-45.
- [5] SUN H L, YE J, ZHENG K. Electric energy data acquisition communication power test research[J]. Aasri Procedia, 2013(4): 250-260.
- [6] BAI L P, BAI S. Evaluation on the quality of the beam pumping unit motor[J]. Oil Field Equipment, 2009, 38(3): 20-22.
- [7] 曹舒.采用智能电表的居民用户无线自动抄表系统[J].电气技术,2010(8):112-116.
- [8] 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.
- [9] 刘树聘,孙继炫.LoRa 调制技术及解调算法[J].电讯技术,2018,58(12):1447-1451.
- [10] 亢红波,许宏科.基于物联网的智能电表采集系统设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2015(8):15-18.
- [11] 唐小岚,杨科,吴雪雯,等.认知中继网络中的功率分配算法[J].数据采集与处理,2020,35(1):128-138.
- [12] 蔡志伟.面向林火预警的 ZigBee 与 LoRa 无线传感网络通信及覆盖研究[D].哈尔滨:哈尔滨师范大学,2020.
- [13] 蓝集明,符长友,周苗苗.基于物联网的智能电表系统设计[J].计算机测量与控制,2013,21(7):2018-2019,2026.
- [14] 资文彬,李民政,彤新伟.基于 LoRa 的无线抄表系统设计与实现[J].桂林电子科技大学学报,2018(2):106-111.
- [15] 赵太飞,陈伦斌,袁麓,等.基于 LoRa 的智能抄表系统设计与实现[J].计算机测量和控制,2016,24(9):298-301.

(收稿日期:2020-12-03)

作者简介:

刘羽轩(1996-),男,硕士研究生,主要研究方向:绿色电子设计、智能电表。

蔡高琰(1982-),男,本科,工程师,主要研究方向:信号处理。

梁炳基(1981-),男,本科,工程师,主要研究方向:嵌入式系统。

(上接第 53 页)

(收稿日期:2020-12-28)

- [15] BAR-SHALOM Y, LI X R, KIRUBARAJAN T. Estimation with applications to tracking and navigation: theory algorithms and software[M]. John Wiley & Sons, 2004.
- [16] HOGG R V, MCKEAN J, CRAIG A T. Introduction to mathematical statistics[M]. Pearson Education, 2005.
- [17] CHAN Y T, HO K C. A simple and efficient estimator for hyperbolic location[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1994, 42(8): 1905-1915.

作者简介:

赵跃新(1992-),男,博士研究生,主要研究方向:导航定位。

林杰(1993-),男,硕士研究生,主要研究方向:导航定位。

刘鹏(1981-),男,博士,副教授,主要研究方向:导航定位、计算机网络。