

PLC通信技术下远程智能电表信息采集系统设计

程伟田¹, 覃江英², 黄家宝², 廖先旭³, 卢万平⁴

(1.福州大学,福建 福州 350000;2.桂林理工大学,广西 桂林 541000;

3.北京工业大学,北京 100124,4.东北电力大学,吉林 吉林 132000)

摘要:为高效、高质量地采集智能电表信息,以PLC通信技术为基础,设计远程智能电表信息采集系统。结合智能电表信息采集实际需求,搭建远程智能电表信息采集框架。然后,设计PLC通信模块(网桥装置与Modbus RTU从站),利用组合统计模型与曲线相似度,识别并修正智能电表信息中坏数据。最后,利用RSA加密算法制定智能电表信息采集程序,实现对智能电表信息的远程采集。实验数据显示,应用该系统后,信息采集通信消耗最小值为30 GB,采集结果中坏数据占比最小值为3%,说明该系统应用效果更佳。

关键词:远程采集;智能电表;用电信息;PLC通信技术;信息采集;智能电网

中图分类号:TP391;TM93 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7241(2025)09-0119-05

Design of Remote Smart Meter Information Acquisition System Based on PLC Communication Technology

CHENG Weitian¹, QIN Jiangying², HUANG Jiabao², LIAO Xianxu³, LU Wanping⁴

(1. Fuzhou University, Fuzhou 350000, China; 2. Guilin University of Technology, Guilin 541000, China;

3. Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 4. Northeast Electric Power University, Jilin 132000, China)

Abstract: In order to collect smart meter information with high efficiency and quality, this paper designs a remote smart meter information acquisition system based on PLC communication technology. Combined with the actual demand of smart meter information acquisition, a remote smart meter information acquisition framework is built. Then, the PLC communication module (bridge device and Modbus RTU slave station) is designed, and the combined statistical model and curve similarity are used to identify and correct the bad data in the smart meter information. Finally, the RSA encryption algorithm is used to develop the smart meter information acquisition program to realize the remote acquisition of smart meter information. The experimental data shows that after applying the system, the minimum consumption of information collection and communication is 30 GB, and the minimum proportion of bad data in the collection results is 3%, indicating that the application effect of the system is better.

Keywords: remote collection; smart meter; electricity consumption information; programmable logic controller communication technology; information collection; smart grid

0 引言

经济水平的飞速增长导致能源需求在短时间内急剧攀升,能源的稳定供应是国家经济发展的基础与前提。而作为关键能源种类的电力能源,需求体量增加幅度更大,这主要是因为工业与民用电力设备种类及其数量的增多,为电网后续发展带来了较大的挑战。

智能电网是电力能源生产、供给、传输、调度与管理的综合体系,通过先进测量、传感等技术的应用,获取电力系统运行的相关数据,以此为基础,进行电力能源调度、控制与决策^[1]。智能电网建设目标就是实现电网经济、高效、安全地运行,主要特征为激励、自愈、抵御攻击

等,并接入了多种分布式发电单元,例如光伏发电单元、水力发电单元等,为人们生产与生活提供充足、优质的电力能源支撑。

智能电表是用于采集智能电网数据的关键设备之一,承担着电能数据计量、采集与传输的任务,是电力信息集成、分析与显示的前提与基础^[2]。为了适应智能电网不断发展的需求,智能电表功能也在不断地升级,例如用户端控制功能、多种费率计量功能、防窃电功能等。自动抄表系统、高级量测体系等都是建立在智能电表基础之上,可以为用户、电力企业提供更加清晰的用电信息,帮助用户控制自身的用电量,推动电力市场价格体系的不断变革,也是智能电网电力能源调度管理的关键所在。

文献[3]中基于分布式技术设计了一种用电信息采集主站系统,从采集通信、任务调度、分布式存储及并行

*基金项目:国家电网有限公司科技项目资助(1200/2020-02003B)

收稿日期:2023-11-29

计算4个角度,实现海量数据存储及实时计算。文献[4]中基于边缘计算设计了一种用户用电信息采集系统,其将计算能力和数据存储资源下沉至靠近数据源的位置,就近为终端设备提供低时延、高效率的采集存储服务。然而,根据现有研究成果来看,现有系统由于通信技术性能的低下,致使智能电表信息采集效率与质量不理想。针对这一问题,本研究以PLC通信技术为基础,提出了一种远程智能电表信息采集系统。

1 远程智能电表信息采集系统设计

1.1 采集框架搭建模块

为了改善现有智能电表信息采集系统存在的问题,促进智能电网的可持续发展,结合智能电表信息采集实际需求,搭建远程智能电表信息采集框架,为后续研究进展奠定坚实的基础。

远程智能电表信息采集框架如图1所示。

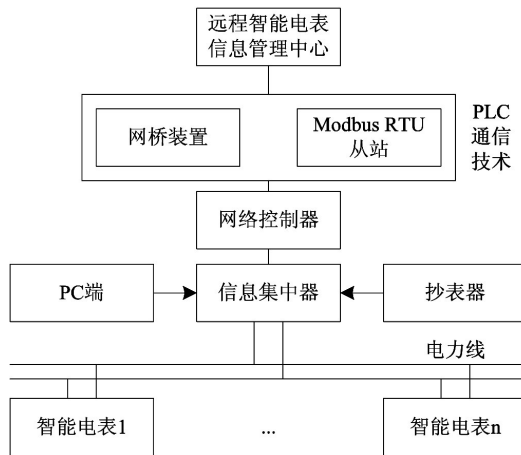


图1 远程智能电表信息采集框架示意图

图1中,搭建框架由多种硬件设备与软件程序构成,例如PLC通信技术、信息集中器、网络控制器等,在多种硬件与软件的共同协作功能下实现智能电表信息的高效、高质量采集,为智能电网调度管理提供精准的数据支撑。

1.2 PLC通信模块

PLC通信模块是设计系统的关键所在,也是决定智能电表信息采集效率、完整度的核心所在。PLC通信技术主要由网桥装置与Modbus RTU从站构成,具体设计过程如下所示。PLC通信技术是一种用于实现PLC之间、PLC与外部设备之间数据传输和通信的技术手段。常见的PLC通信方式包括串行通信(如RS-232和RS-485)、以太网通信、总线通信(如Profibus、Modbus和CAN)以及以太网/IP通信。这些通信方式在工业自动化、智能建筑、能源管理等领域有广泛应用。通过适合的通信技术,PLC能够与其他设备进行数据交换和远程控制,从而提高生产效率、降低成本,并实现智能化管理。

网桥装置本质上是一个硬件比较电路,主要负责在多个PLC输出中选择最优结果,将其反馈给PLC从站,并对PLC工作状态进行实时监控^[5]。在网桥装置设计中,采用以太网MAC控制器实现通信数据帧的发送与接收,利用Ethernet-CAN转换器实现通信数据帧与报文之间的相互转换,并对PLC输出仲裁逻辑进行制定,从而实现了网桥装置功能的正常发挥^[6]。在网桥装置设计中,以太网MAC控制器被用来实现通信数据帧的发送和接收。以太网协议规定了数据帧的格式和传输方式。具体流程如下:

首先,在发送端,以太网MAC控制器根据数据帧的格式将要传输的数据进行封装,并加上目标MAC地址和源MAC地址等必要的控制信息。然后,以太网MAC控制器将封装好的数据帧发送到物理层,通过以太网物理介质传输到接收端。在接收端,以太网MAC控制器接收到物理层传输过来的数据帧,并解析其中的控制信息,如目标MAC地址和源MAC地址等。根据这些信息,以太网MAC控制器判断是否应该接收此数据帧。如果是,则将数据帧传递给上层的网络协议栈进行进一步处理。

其中,以太网MAC控制器发送与接收引脚配置情况如表1所示。

表1 以太网MAC控制器发送与接收引脚配置表

发送引脚		接收引脚	
名称	定义	名称	定义
eCLK	时钟信号	eCLK	时钟信号
eRST	复位信号	eRST	复位信号
Tx_Len	数据帧的长度	pinRxClk	参考的时钟信号
TxValid	数据帧的发送使能	pinRxErr	接收数据的有误信号
TxWriteEn	RAM对应写使能	RxDone	数据帧读取完成
pinTxEn	发送使能信号	RxValid	脉冲信号
pinTxData	发送数据	Rx_Len	数据帧长度
MemRdy_n	发送通信数据帧	RxReadAddr	RAM对应的地址
Tx_Des_Addr	RAM对应写地址	RxReadData	RAM对应的数据

Ethernet-CAN转换器结构如图2所示。

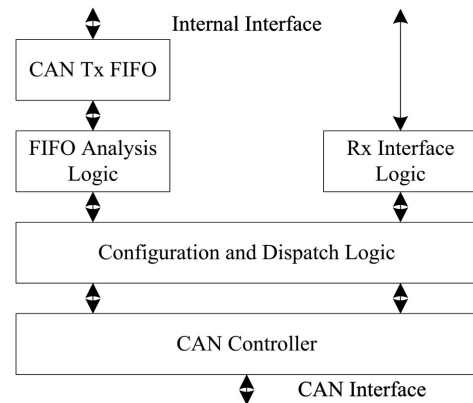


图2 Ethernet-CAN转换器结构示意图

PLC输出仲裁逻辑是网桥装置功能是否能够稳定发

挥的关键所在,依据智能电表信息采集需求,制定PLC输出仲裁逻辑,具体如表2所示。

表2 PLC输出仲裁逻辑示意表

PLC A 状态	PLC B 状态	到达顺序		处理方法	
		PLC A	PLC B	PLC A	PLC B
正常	故障	先	后	输出	比较
		后	先	输出	丢弃
故障	正常	先	后	丢弃	输出
		后	先	比较	输出
正常	正常	先	后	输出	比较
		后	先	比较	输出

Modbus RTU从站设计主要是为了改善PLC Modbus软件协议栈运行不稳定问题,为PLC通信顺畅提供支撑。Modbus RTU从站设计主要包括串口通信子模块与报文管理子模块^[7]。其中,串口通信子模块主要是对发送与接收引脚进行适当的配置,由于研究篇幅限制因素的存在,不对其进行过多的赘述。而Modbus RTU从站报文管理流程如图3所示。

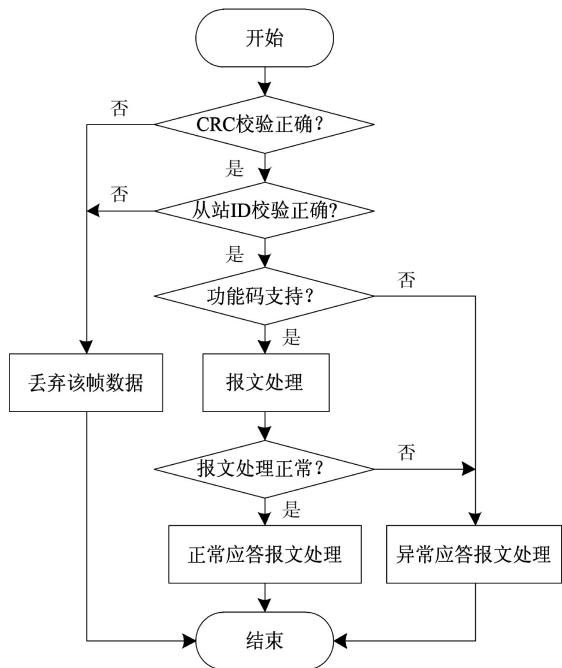


图3 Modbus RTU从站报文管理流程

对上述设计的网桥装置与Modbus RTU从站进行科学地协调控制,即可实现PLC通信模块的顺畅通信功能,为智能电表信息传输提供有效的支撑。

1.3 智能电表信息处理模块

一般情况下,智能电表信息采集过程中需要应用多种采集设备,再加之通信信道的电磁干扰等因素的存在,使得电表信息中存在坏数据^[8]。若是直接对其进行应用,会降低智能电网调度管理决策的准确性,故需要对坏数据进行识别与修正。

此研究利用组合统计模型对智能电表信息中的坏数据进行识别,具体识别步骤如下所示:

步骤1:将采集的智能电表信息进行标准化处理,表达式为

$$l_{ij} = \frac{R_{ij} - R_{ij-\min}}{R_{ij-\max} - R_{ij-\min}} \quad (1)$$

式中, R_{ij} 与 l_{ij} 分别表示标准化处理前、后的智能电表信息; $R_{ij-\max}$ 与 $l_{ij-\min}$ 分别表示智能电表信息的最大值与最小值。

以式(1)标准化处理结果为基础,将其进行整合获得智能电表信息集合,表达式为

$$L_{m \times n} = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & \cdots & l_{1n} \\ l_{21} & l_{22} & \cdots & l_{2n} \\ \vdots & \vdots & l_{ij} & \vdots \\ l_{m1} & l_{m2} & \cdots & l_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, $L_{m \times n}$ 表示智能电表信息集合; l_{ij} 表示第*i*个智能电表的第*j*个信息。

步骤2:计算智能电表信息集合 $L_{m \times n}$ 每一行的均值与标准差,分别记为 $\alpha_{m \times 1} = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m]^T$ 与 $\beta_{m \times 1} = [\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m]^T$;

步骤3:按照3sigma准则对正常智能电表数据上限数值与下限数值进行计算,表达式为

$$\begin{cases} l_i^{\text{upper}} = \alpha_i + 3\beta_i \\ l_i^{\text{lower}} = \alpha_i - 3\beta_i \end{cases} \quad (3)$$

式中, l_i^{upper} 与 l_i^{lower} 分别表示第*i*个智能电表数据的上限值与下限值; α_i 与 β_i 表示 $L_{m \times n}$ 中第*i*行智能电表数据的均值与标准差。

步骤4:以步骤3计算结果为基础,制定智能电表坏数据判定规则,具体如式(4)所示:

$$\begin{cases} l_i^{\text{lower}} \leq l_{ij} \leq l_i^{\text{upper}} & l_{ij} \text{ 为正常数据} \\ l_{ij} < l_i^{\text{lower}} \cup l_{ij} > l_i^{\text{upper}} & l_{ij} \text{ 为坏数据} \end{cases} \quad (4)$$

以上述智能电表坏数据识别结果为基础,利用曲线相似度对坏数据进行一定的修正^[9]。将某一个智能电表的信息按照时间顺序转化为曲线形式,计算待修正坏数据与典型曲线对应数据之间的关联系数^[10],表达式为

$$\chi_{ij} = \frac{\min |l_{ij} - K_{ij}| + \delta \max |l_{ij} - K_{ij}|}{|l_{ij} - K_{ij}| + \delta \max |l_{ij} - K_{ij}|} \quad (5)$$

式中, χ_{ij} 表示待修正坏数据 l_{ij} 与典型曲线对应数据 K_{ij} 之间的关联系数; δ 表示辅助计算参数,取值范围为 $[0, 1]$ 。

以式(5)计算结果为基础,计算智能电表坏数据的修正数值。表达式为

$$l'_{ij} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \chi_{ij} K_{ij} + K_{ij}}{2} \quad (6)$$

式中, l'_{ij} 表示智能电表坏数据对应的修正数值; n 表示第*i*

个智能电表信息的总数量。

将坏数据修正后的智能电表信息进行重新整合,获取新的智能电表信息集合 $L'_{m \times n} = \{l'_{ij}, i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n\}$, 为后续研究目标的实现提供一定的助力^[11]。

1.4 智能电表信息采集模块

以上述智能电表信息处理结果 $L'_{m \times n}$ 为基础,融合RSA加密算法制定智能电表信息采集程序,为智能电网调度管理提供准确的信息支撑。

智能电表信息采集程序如图4所示。

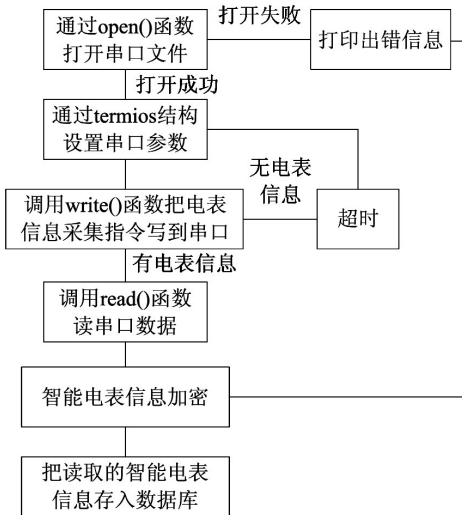


图4 智能电表信息采集程序图

智能电表信息加密也是采集过程中的关键环节,其能够保障智能电表信息的安全,防止其被篡改,以此来增加采集智能电表信息的精度^[12]。RSA加密算法采用的是欧拉函数,加密后的智能电表信息表达式为

$$\psi(l'_{ij}) = l'_{ij} \prod_{i=1}^m \left(1 - \frac{1}{p_{ij}}\right) \quad (7)$$

式中, $\psi(l'_{ij})$ 表示加密后的智能电表信息; $\psi(\cdot)$ 表示的是欧拉函数; p_{ij} 表示智能电表信息 l'_{ij} 对应的加密系数。

通过上述过程实现了智能电表信息的远程、加密、高效采集,为智能电网调度管理决策制定提供精确的数据支撑。

2 实验

为了验证本文提出的PLC通信技术下远程智能电表信息采集系统的实际应用性能,设计如下实验。

为避免实验结果的单一性,实验将基于分布式技术的用电信息采集主站系统、基于边缘计算的用户用电信息采集系统分别作为两种对比系统,与本文设计的PLC通信技术下的采集系统进行性能对比。

2.1 实验环境搭建

为了简化设计系统应用性能测试过程,设置多个智

能电表,模拟不同用户用电行为及其规律,保障每个智能电表信息之间存在着明显的差异性。单一智能电表的实验环境如图5所示。

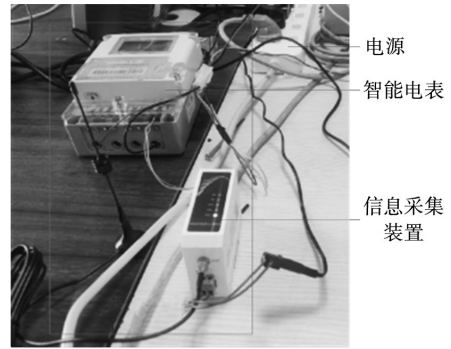


图5 单一智能电表实验环境示意图

如图5所示,单一智能电表实验环境较为简单,并且硬件设备之间的联系较为清晰,有利于设计系统应用性能的测试。

2.2 通信数据帧格式选择

不同智能电表信息采集系统的通信数据帧格式存在着一定的差异,若是不对其进行统一,获得的实验数据之间无法进行比较,经过分析得到的实验结论也不具备可信度。因此,在实验进行之前,对设计系统、对比系统1与对比系统2的通信数据帧格式进行选择与确定,为后续实验的顺利进行提供便利。

根据设计系统、对比系统1与对比系统2的通信协议规定,设置统一的通信数据帧格式如表3所示。

表3 通信数据帧格式表

代码	说明	字节数
68H	数据帧起始符	1
A0-A5	地址域	6
68H	数据帧起始符	1
C	控制码	1
L	数据域长度	2
DATA	数据域	待定
CS	校验码	1
16H	结束符	1

如表3内容所示,由于智能电表信息数量未知,故数据域(DATA)的字节数是待定的,其虽然会影响通信数据帧的长度,但不会影响后续实验数据的分析及其比较。

2.3 实验结果分析

以上述搭建的实验环境以及选择的通信数据帧格式为基础,进行远程智能电表信息采集对比实验,通过远程智能电表信息采集通信消耗与智能电表信息采集结果中坏数据占比来显示设计系统的应用效果。

通过实验获得远程智能电表信息采集通信消耗如图6所示。

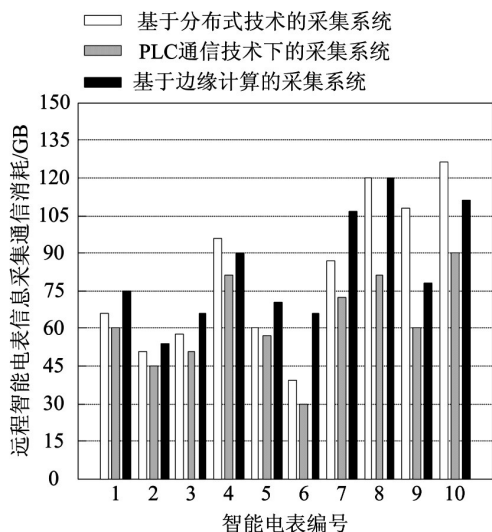


图6 远程智能电表信息采集通信消耗示意图

如图6数据所示,在同一智能电表背景下,应用PLC通信技术下的采集系统获得的远程智能电表信息采集通信消耗均低于基于分布式技术的采集系统、基于边缘计算的采集系统,其在智能电表6号背景下,获得远程智能电表信息采集通信消耗最小值为30 GB。

通过实验获得智能电表信息采集结果中坏数据占比如图7所示。

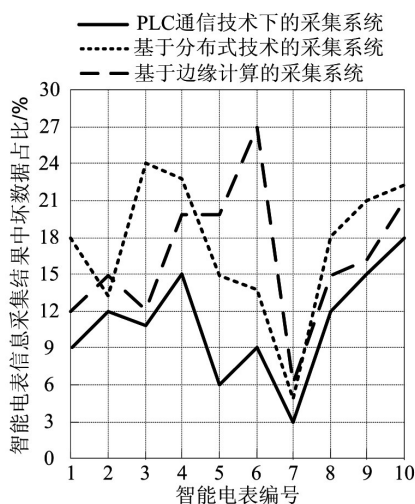


图7 智能电表信息采集结果中坏数据占比示意图

如图7数据所示,在同一智能电表背景下,应用PLC通信技术下的采集系统获得的智能电表信息采集结果中坏数据占比均低于基于分布式技术的采集系统、基于边缘计算的采集系统,其在智能电表7号背景下,获得智能电表信息采集结果中坏数据占比最小值为3%。

3 结束语

近年来,随着科学技术的不断发展与电力能源需求的不断上涨,智能电网建设步伐逐渐加快。而智能电表

是智能电网的关键设备之一,对应计量信息是智能电表调度管理决策制定的主要依据,故提出PLC通信技术下远程智能电表信息采集系统设计研究。设计系统极大地降低了远程智能电表信息采集通信消耗与智能电表信息采集结果中坏数据占比,为智能电网后续建设与发展提供一定的助力。

参考文献:

- [1] 周驰,魏巍.用电信息采集系统业务处理机的设计[J].微型电脑应用,2022,38(12):161-164.
- [2] 彭泽武,冯歆尧,谢瀚阳.基于LoRa无线技术的台区配用电物联网监测系统研究[J].自动化技术与应用,2023,42(5):166-169.
- [3] 钱奇,闫海峰,唐伟宁,等.基于分布式技术的用电信息采集主站系统设计与应用[J].电力系统自动化,2021,45(23):170-178.
- [4] 黄俊伟,陶功平,宋国壮.边缘计算在用户用电信息采集系统中的应用[J].电子技术应用,2022,48(11):74-78.
- [5] 禹鑫焱,唐权瑞,殷慧武,等.基于.NET Core架构的PLC数据采集和监控系统[J].高技术通讯,2021,31(1):93-101.
- [6] 陈生海,言小琴,黎赛,等.混合双跳PLC-FSO通信系统的性能分析[J].通信学报,2021,42(10):243-250.
- [7] 陈海.一种基于云的软PLC系统架构研究[J].电子技术应用,2021,47(4):97-100,111.
- [8] 李家东,胡正华,蒋卫平,等.基于时间序列分类任务的智能电表负荷监测技术研究[J].电测与仪表,2023,60(6):153-159.
- [9] 王登峰,李英,杨琦,等.基于自适应神经模糊推理系统的智能电表大数据分析研究[J].电子器件,2022,45(3):727-731.
- [10] 王建雄,罗心仪,闫林,等.用电采集系统停上电事件的数据质量辨识技术[J].电力科学与技术学报,2021,36(5):187-194.
- [11] 杨挺,孙兆帅,季浩,等.基于矩阵范数优化理论的用电数据质量提升算法[J].中国电机工程学报,2022,42(10):3501-3512.
- [12] 陈叶,杨正宇,朱梦梦,等.基于递归神经网络的智能电表运行误差远程估计方法[J].电子设计工程,2022,30(23):71-74,80.

作者简介:程伟田(1973—),男,本科,高级工程师,研究方向:智能电网及配网自动化技术。