

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2209904

基于嵌入式平台的电能信息采集系统研究

齐宝柱 任 帅 杜运亮 王明甲 秦浩华

(青岛科技大学自动化与电子工程学院 青岛 266000)

摘要: 针对日前电能信息采集系统存在的通信数据量大、通信费用高的问题,设计了一种基于 uC/OS 嵌入式实时操作系统的电能信息采集系统,该系统包括智能电表、电能信息采集终端、上位机软件和主站数据中心。系统根据上位机设置的参数下行采集电表中数据,数据在采集终端经过数据压缩处理后,通过远程通信技术上行传输至主站,便于工作人员监测和管理电能数据。文中结合 Lempel-Ziv-Oberhumer 无损压缩技术和游程编码技术对数据压缩方案进行改进,通过数据压缩对比实验,验证数据压缩方案的可行性。实验结果表明,系统采用的数据压缩技术有效提高了数据传输的通信效率,验证了系统的实用性和有效性。

关键词: 电能信息采集;数据压缩技术;嵌入式系统

中图分类号: TM933.4 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.4017

Research on power information acquisition system based on embedded platform

Qi Baozhu Ren Shuai Du Yunliang Wang Mingjia Qin Haohua

(College of Automation and Electronic Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266000, China)

Abstract: Aiming at the problems of a large amount of communication data and high communication costs existing in the current power information acquisition system, a power information acquisition system based on a uC/OS embedded real-time operating system is designed. The system includes a smart electricity meter, power information acquisition terminal, host computer software, and master station data center. According to the parameters set by the upper computer, the system collects the data in the electricity meter downlink. After data compression processing in the acquisition terminal, the data is transmitted to the master station through remote communication technology, which is convenient for the staff to monitor and manage the power data. In this paper, the Lempel-Ziv-Oberhumer lossless compression technology and run-length coding technology are combined to improve the data compression scheme, and the feasibility of the data compression scheme is verified by the comparison experiment of data compression. The experimental results show that the data compression technology used in the system effectively improves the communication efficiency of data transmission, and verifies the practicability and effectiveness of the system.

Keywords: electric energy information collection; data compression technology; embedded system

0 引 言

随着国民经济的高速发展,居民和工业用电需求快速增长,现代社会对于电能的使用愈发广泛,电力的供应与需求之间的矛盾越来越突出^[1-2],电能管理系统依旧面临着严峻的挑战^[3]。电能信息采集系统作为电力系统的重要组成部分,能够实现远程实时采集电能数据,并上传至主站中心,便于信息管理;主站中心工作人员可以通过分析用电数据,调整用电结构,为电能管理系统提供绿色用电决策^[4-5]。

为了实现电能数据的精确计量、电能数据的安全通信

以及通信方式的灵活性,在电能信息采集端与电能用户之间搭建交互平台的新型供电结构,全面开展对电能信息采集系统的建设工作,实现智能电网向自动化、信息化和智能化方向全面发展^[6-7]。

电能信息采集系统主要包括主站系统、远程通信、采集终端、用户电表等部分,可以实现电能数据的实时采集、在线分析和监测管理等功能,构建电能信息采集系统并完善信息采集方案对日常生活中的智能用电有着重要意义^[8]。

尽管智能电网下的电能信息采集系统已经被广泛应用于各种环境下,但在电力系统的深化发展下,电能数据类型

增多、操作也变得复杂。主站数据中心需要的实时数据量和类型比较庞大,无形中增加了用电数据的数量。在电能数据增多的情况下,传统电能信息采集系统无法实现对电力资源的合理、高效利用^[9]。为了解决现有电能信息采集系统通信数据量大、通信费用高的问题,本文在设计中,对数据压缩方案进行研究,结合 LZ0(lempeI-ziv-oberhumer)无损编码技术和游程编码技术,设计了应用于本系统的数据压缩编码技术,可以有效提高数据传输的通信效率,为高频数据采集和大规模数据传输提供可行性方案。

1 电能信息采集系统方案设计

1.1 采集系统结构设计

电能信息采集系统可以实现计量装置的在线监测和远程用户的电能数据采集,采集内容包括用电量、负荷以及基本用电信息,用电信息经处理后,通过远程通信上传至主站数据中心,方便工作人员和用户查看。电能信息采集系统主站端可以为企业经营提供决策和管理,根据用户缴费情况进行远程控制,对异常用电情况进行监测,分析用户用电负荷曲线。

本文基于嵌入式技术、远程通信技术和数据压缩技术等开发了一种电能信息采集系统,可以实现对多种类型电表数据的采集。系统主要包括采集终端、数据通信模块、主站中心和上位机等部分。系统结构如图 1 所示。

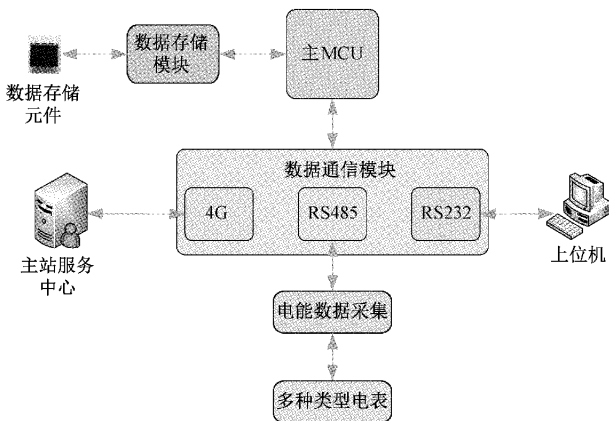


图 1 系统结构

基于图 1 结构,系统的主要工作包括以下内容:

- 1) 系统硬件电路设计,包括主 MCU 电路、电源模块、实时时钟、存储模块和通信模块等。
- 2) 基于 uC/OS 嵌入式实时操作系统,设计对应硬件模块的软件部分,其中包括对数据采集功能、远程通信模块和数据压缩技术等主要功能的设计。
- 3) 结合 LZ0 无损压缩技术和游程编码技术,对数据压缩方案进行设计并应用于采集系统。

1.2 数据压缩技术研究

1) 数据压缩的可行性

数据压缩是一个缩减不同种类大容量数据中冗余数据

的过程,由此引出了信源熵的概念,以此从理论上评判数据压缩的效果,越逼近信源熵,表示压缩效果越好^[10-11]。

假设一个离散无记忆信源 U 输出有限中符号 $\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 每一种符号的出现都是有一定的概率 $P = \{P(u_1), P(u_2), \dots, P(u_n)\}$ 。对于离散无记忆信源而言,在不同时刻各个符号 u_i 的出现是相对独立的,对于任意一个符号 u_i , 其信息量 $I(u_i)$ 可以定义为该符号出现概率的负对数。符号 u_i 含有信息量的函数为:

$$I(u_i) = -\ln p(u_i) \quad (1)$$

另外,采用离散信源熵 $H(U)$ 来定义序列中各符号平均不确定度的特征,定义式为:

$$H(U) = \sum_i p(u_i) I(u_i) = -\sum_i p(u_i) \ln p(u_i) \quad (2)$$

信息都会出现冗余,冗余大小与信息中每个符号出现的概率和不确定性有关。定义信息冗余度为符号所含有的最大信息量与实际信息量之差,定义信源 U 的冗余度 $R(U)$ 如下:

$$R(U) = H(U)_{\max} - H(U) = \ln n - H(U) \quad (3)$$

由式(3)可知,数据压缩的前提是该信源数据不是等概率分布,即存在信息冗余度。

2) 数据压缩技术

(1) 游程编码

游程编码又被称为行程编码,是一种统计编码,该种编码方式属于无损压缩技术,基本原理是使用符号值和串长代替具有相同值的连续符号,使得符号长度小于原数据长度。

在进行编码时,首先读取一个比特,如果它和上个比特值不同,保存(写入)当前计数器的值并将计数器清零;如果它和上个比特值相同,分两种情况:计数器还未到最大值,则直接增加计数器的值即可;如果计数器已经为最大值,则写入计数器的值并再写入一个 0,然后计数器归 0。游程编码不单独应用于编码技术中,常和其他编码方式组合应用到无损压缩技术中^[12]。游程编码实现的基本流程如图 2 所示。

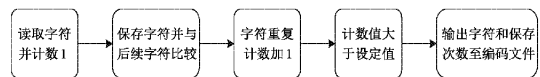


图 2 游程编码实现流程

(2) LZ0 编码

LZ0 编码是从 LZ77 到 LZSS 改进的一种基于字典的编码方式。该算法属于无损压缩技术,不仅解压简单,速度快,而且解压不需要额外的内存,算法是线程安全的。可以被应用于数据压缩方面,如 linux 内核、嵌入式设备内核中。该算法可以用于提升内核加载速度,改善用户体验^[13]。

LZ0 是一种快速无损数据压缩加解压算法,编码时根据不同的匹配长度和偏移距离选择数据压缩格式,比如当匹配长度大于 4 bits 小于 8 bits 时,压缩格式如图 3 所示。

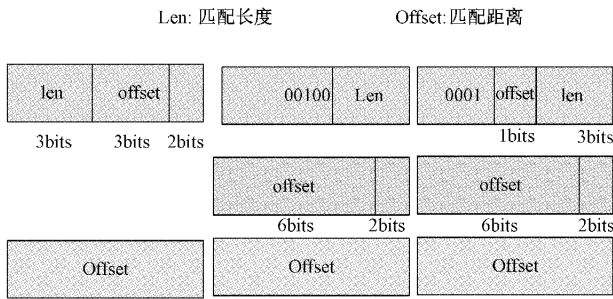


图 3 压缩格式

LZO 编码技术通过采用哈希表结构搜索最匹配字符串,然后根据新的字符更新字典,该方式可以节省大量的搜索时间。另外 LZO 的解压速度要快于压缩速度。该算法解压简单,无需内存支持,可以很好的适用于嵌入式设备^[14]。

(3)改进的 LZO 编码技术

由于 LZO 是一个开源无损压缩 C 语言库,具有压缩/解压缩迅速占用内存小的优点,在解压时也不需要占用额外的内存。minLZO 是一种轻量级的压缩/解压缩库,可以以较少的资源实现 LZO 的功能,非常适合应用于嵌入式系统。所以本文选用适用于嵌入式系统的 minLZO 无损压缩编码技术进行改进。本文针对以嵌入式平台为数据模型的电能数据压缩为基础,选用电能信息采集系统通信数据集做测试实验。如表 1 所示是在 DL/T645-2007 协议下数据集中的电表采集的一帧格式:

表 1 帧格式报文

发:6801000000000068110433333533B416
收:680100000000006891083333353333333334330516

从以上数据可以分析出,报文帧数据在传输时会出现大量冗余信息,所以为了进一步提高编码效率,结合游程编码和 minLZO 设计了一种改进的编码技术。改进的编码技术主要内容为:在进行 minLZO 编码前需要对数据模型一个预处理,把数据集进行重新排序,把每帧数据做转置处理,使其在传输时出现连续重复的特性。此时游程编码的编码效率大大提升,然后使用游程编码进行压缩处理,最后在使用 minLZO 编码进行二次编码处理,大大提升了压缩率。

2 系统通信电路设计

通过研究几种通信技术的特点,确定系统的上下行通信方式。本文在采集终端与智能电表之间采用 RS485 通信采集,采集终端与主站之间采用 LoRa(long range radio, LoRa)通信技术进行通信,实现远距离、高速稳定传输电能数据。

2.1 RS485 下行通信电路设计

系统在设计下行通信采集电表数据时,设计了以

MAX487 为核心的 RS485 串行通信电路,电路原理如图 4 所示。

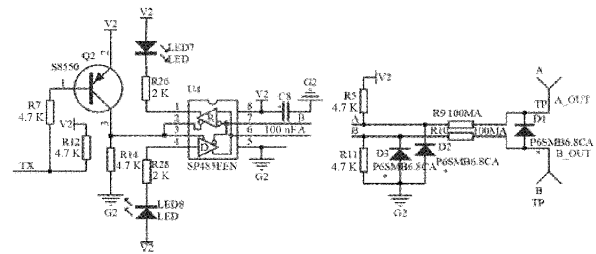


图 4 RS485 通信采集电路

2.2 LoRa 上行通信电路设计

系统在设计上行通信时,采用 LoRa 通信技术实现远程通信。LoRa 模块选用以 SX1278 为主射频芯片作为控制芯片设计射频收发电路,电路设计如图 5 所示。

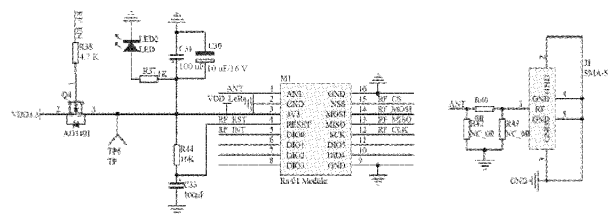


图 5 LoRa 通信电路设计

3 系统软件设计

3.1 软件系统架构

电能信息采集系统需要实现电能数据采集、采集参数设置、数据本地存储和数据远程传输等功能,除了系统硬件电路设计的支持,还需要相对应的软件设计,保证系统稳定运行,提高整个系统的可操作性。本章主要根据系统功能要求,在软件编程上实现电能数据从采集、存储到传输。系统软件架构如图 6 所示。

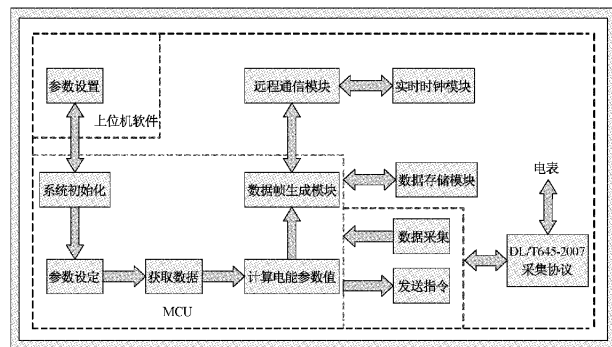


图 6 系统软件架构

3.2 数据采集实现

电能数据采集包括电压、电流和功率等数据的采集,在采集时,电压传感器或者电流传感器将电压模拟信号或电流模拟信号转换为数字信号之后,MCU 将指令通过 RS485 通信采集电路发送给电表,电表数据通过通信接口发送到

MCU, MCU 再将数据写入到 FLASH 中。为了保证数据采集不会中断, 系统设置采集心跳包, 如果没有收到回应, 则会报警处理并写入日志。数据采集功能的主要流程如下。

1) 上位机软件通过 RS232 电路与采集终端 MCU 通信, 根据电表的协议、地址和采集通道进行参数设置, 并把参数指令下发至 MCU。

2) MCU 根据设置的电表参数通过 RS485 总线向电表发送指令, 读取返回数据, 同时 MCU 接收数据。

3) MCU 接收到返回的电能数据后, 对需要校验的数据进行 CRC 校验, 计算电能参数值, 转换数据格式存入本地 FLASH 中。MCU 可以通过检测控制线状态判断是否要将数据传输至上位机软件显示。MCU 按照数据采集程序流程如图 7 所示。

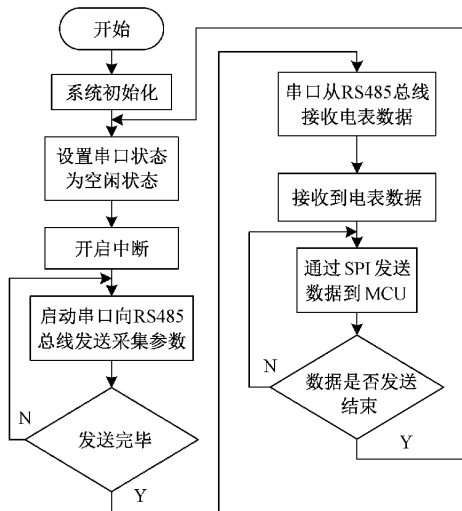


图 7 数据采集流程

3.3 数据压缩方案设计

为了解决数据传输过程中通信数据量大和通信费用高的问题, 本文结合游程编码技术和 LZO 编码两种无损数据压缩技术, 然后根据数据帧有规律重复数据的特征设计了一种改进的 minLZO 编码技术。编码的主要内容: 在编码前对报文帧数据做转置预处理, 使其在传输时出现连续重复的特性。此时游程编码的编码效率大大提升, 然后使用游程编码进行压缩处理, 最后再使用 minLZO 编码进行二次编码。编码设计流程如图 8 所示。

4 系统性能测试

4.1 硬件电路设计与实现

1) 硬件电路实现

电能信息采集终端集成了电源模块、RS232 模块、4G 模块、以太网模块、LoRa 模块、数据存储模块和 RS485 模块等。电路原理图及 PCB 在 AD19 上设计完成, 在对 PCB 设计时要注意电路中的电磁干扰问题^[15]。在立创商城上

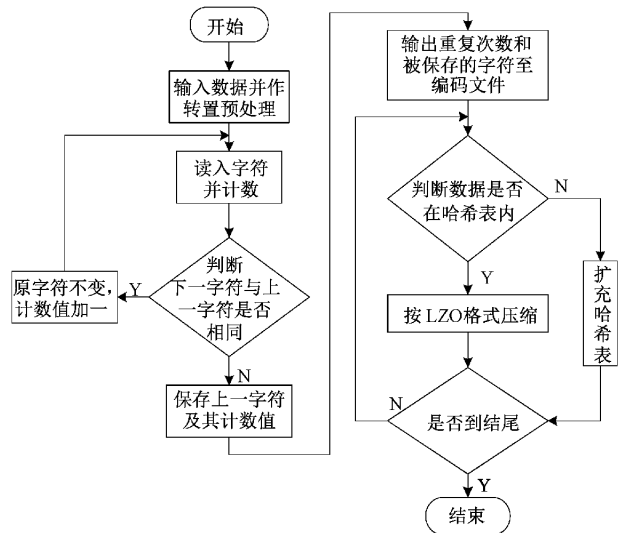


图 8 数据压缩程序编码流程

购买所需元器件并加工电路板, 然后对相应的元器件进行焊接, 实现硬件电路的设计。硬件电路设计和各个功能模块的实现如图 9 所示。

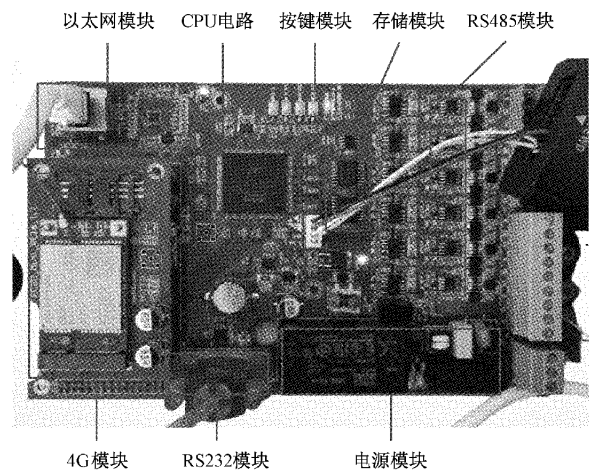


图 9 硬件电路功能模块实物图

2) 硬件电路采集调试

系统通过 JTAG 下载接口接入实验电源, PC 端上位机软件通过 RS232 接口电路对采集终端进行参数设置, MCU 根据设置的采集参数通过 RS485 电路进行电能信息采集, 在采集过程中, RS485 通信电路的 A、B 端子接入示波器, 观察数据采集波形。硬件电路实物调试图如图 10 所示。

上位机设置采集参数至采集终端电路, 采集终端使用 DL/T645-2007 协议帧格式发送电表采集指令并等待接收数据, 其中电能数据采集周期设置为 5 S, 通过示波器观察数据采集波形。示波器波形如图 11 所示。

4.2 系统功能性测试

1) 上位机测试

本文利用设计的上位机软件对电能信息采集终端的系

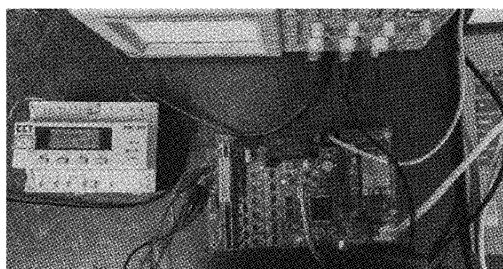


图10 硬件电路调试图

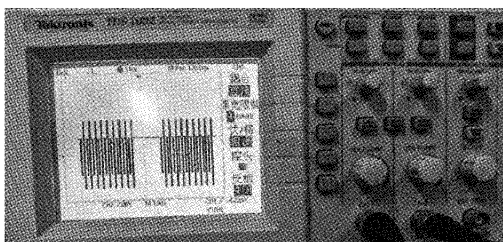


图11 数据采集波形图

统参数和基本参数进行设置,完成命令下发任务。采集表计参数设置如图12所示。

电表地址	电表协议	电表精度	时采比	CT变比	电表索引	通信地址	通信类型	波特率	数据位	校验位	停止位	超时事件	IP地址	端口
70	MODBUS	0	1	1	0	4096-1	UART	2400	8	偶校验	1	600		0
70	DL645-2007	0	1	1	0	4096-1	UART	2400	8	偶校验	1	600		0

图12 采集表计参数设置图

图12中,系统测试采用的电表为三相四线式智能电表,测试所用电表的通信地址为70,通信协议可以选择MODBUS或者DL/T645-2007,波特率为2400,校验方式为8E1。一个表计测点下最多支持50个采集方案。

2) 数据传输测试

系统上电后,采集终端会发送网络连接验证包,服务器接收数据包并回复确认信号,表示服务器连接成功。服务器连接成功之后,电表数据通过远程通信传输到服务器,此时系统会开启一个线程系统监听端口,监听网络发来的数据包,通过抓包软件Wireshark可以获取传输的数据包。试验结果如图13所示,可以看到采集终端到服务器端的数据包传输,表明远程通信正常。

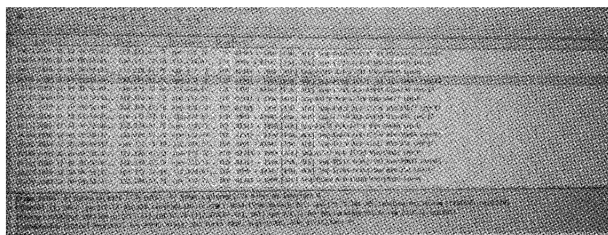


图13 数据传输测试图

3) 数据采集上报测试

采集终端会根据配置定时通过RS485总线给电表发

送报文,抄读数据,电表回复报文数据,然后MCU把回复的报文数据转换为电能数据供用户查看。用户可以使用上位机软件获取采集的本地数据,监测数据采集是否出现异常。数据上报如图14所示。

电表号	电表地址	电表协议	数据	类型	采集日期
101	70	MODBUS	12.5	正向	2022-03-13 11:40
102	70	MODBUS	98.6	正向	2022-03-13 11:40
103	70	DL645	226.9	正向	2022-03-13 11:40
104	70	DL645	0	正向	2022-03-13 11:40
105	70	DL645	95.03	正向	2022-03-13 11:40
106	70	DL645	98.6	正向	2022-03-13 11:40
107	70	DL645	0	正向	2022-03-13 11:40
108	70	DL645	258.4	正向	2022-03-13 11:40
109	70	DL645	0	正向	2022-03-13 11:40

图14 数据上报显示图

4.3 数据压缩方案测试

为了验证应用于系统的数据压缩方案的有效性,本文对比几种常见的数据压缩方式,对设计方案的有效性进行验证。

1) 数据集

实验中使用多功能通讯协议(DL/T 645-2007)下智能电表的电能数据信息作为数据集,该数据是由采集终端通过RS485下行采集智能电表所得。数据类型包括正反向有功总电能、视在电能、三相有功无功功率和功率因数等。

2) 通信协议

本文中采用DL/T 645-2007通信协议标准化上下行之间的通信格式。报文格式如表2所示。

表2 报文帧格式

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

3) 压缩指标

本文通过定义压缩性能指标,衡量数据压缩方案的有效性。首先定义压缩率(CR)表示为:

$$CR = \frac{Out_Len}{In_Len} \tag{4}$$

式(4)中 In_len 表示原始数据量大小, Out_Len 表示压缩后的数据量大小。压缩比越小,表示压缩后的数据量越小,压缩效果越好。

4) 实验结果

本文记录电表一段时间的历史数据作为数据集数据,采用不同的压缩算法对数据集数据进行压缩并对比。其中硬件资源采用的是以STM32F429芯片为核心的电能信息

采集终端和 PCM-330 三相四线式智能电表,软件使用 MATLAB 对几种数据压缩技术进行编码,输入各个数据组数据测试数据压缩率。软件压缩率(CR)表示为压缩后的数据/原始数据。结果如图 15 所示。

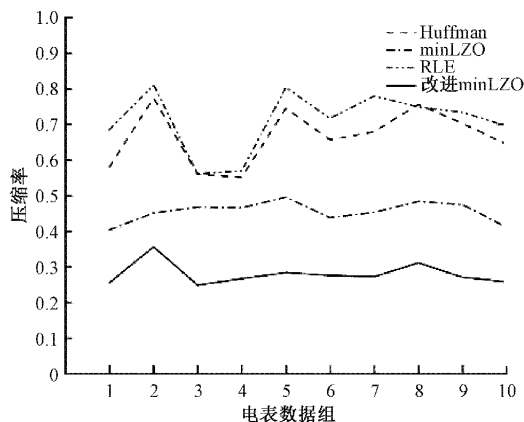


图 15 四种压缩方式的压缩率对比图

图 15 中,压缩率越小表示压缩后的编码字节量越少,压缩性能越好。从图 15 中可以直观的看到,由于不同组下的压缩率稍有波动,这是因为输入数组数据在采集时地址域与数据域上数据的差别。以一组数据为标准,观察几种编码方式的压缩率,Huffman 编码和 RLE 编码压缩率差不多,可以看出本文改进的 minLZO 数据压缩算法压缩率明显优于其他三种编码方式。

5 结 论

本文设计了一种基于 uC/OS 嵌入式实时操作系统的电能信息采集系统,能够实现电能数据的实时采集、在线分析和监测管理等功能。针对电能信息采集系统中通信数据量大和通信费用高的问题,对数据压缩方案进行研究,结合 LZ0 无损压缩技术和游程编码技术,设计了适用于本系统的压缩算法,提高了数据传输的通信效率,为高频数据采集和大规模数据传输打下坚实的基础。实验结果表明,采用数据压缩技术能够有效提高系统数据传输效率,系统性能稳定,满足设计要求,具备一定的应用价值。

参考文献

- [1] 张红亮,闫丹. 电力用户用电信息采集系统应用现状[J]. 电子技术与软件工程, 2015,(18): 200-204.
- [2] 方蕾. 低压电力线远程抄表系统后台管理软件的设计与研发[D]. 武汉:武汉理工大学, 2014.
- [3] EFREN R N, CARLOS C A, CRISTIANO U, et al. Subsystem of data acquisition using the modBus protocol in real time of the digital electro hydraulic control and its integration with the integral of process

information[J]. 17th IMEKO TC4 Symposium on Measurement of Electrical Quantities, 2014: 16-23.

- [4] 邓裕东,谢国荣,林永春,等. 基于四表集抄的用电信息采集系统研究[J]. 电子测量技术, 2019,42(1): 21-26.
- [5] 欧媛,易映萍. 单相智能电表中电能计量方法的研究[J]. 电子测量技术, 2017,40(5): 87-90.
- [6] 章泽煜. 基于嵌入式智能电网电能信息采集系统的设计与研究[D]. 赣州:江西理工大学, 2018.
- [7] LI ZH Q, RAMOS A, LI ZH, et al. An optimized JPEG-Xt-based algorithm for the lossy and lossless compression of 16-bit depth medical image[J]. Biomedical Signal Processing and Control, 2021,(64): 1-9.
- [8] 秦天柱,张伟刚,瞿少成. 基于 Modbus 协议的多路数据收集器[J]. 电子测量技术, 2017,40(11): 175-178.
- [9] 徐佳毅,李洪宇,谢子铭,等. 面向最优效率的潜标耦合电能传输系统[J]. 仪器仪表学报, 2021,42(4): 75-82.
- [10] MA Z Z, WAN Y. New lossless compression method for BMP true color images [M]. Electromechanical Control Technology and Transportation, CRC Press, 2017: 355-359.
- [11] 李谦,彭子威,伍瑞卿,等. 一种自适应量化 DPCM 的测井数据压缩方法[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(5): 47-51.
- [12] CE Z, HUI X. Design and implementation of lossless compression encoding for high-speed data acquisition and storage [C]. 2015 12th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI), 2015(1): 502-506.
- [13] MOHAMMED R B, SILFHOUT R. High bandwidth data and image transmission using a scalable link model with integrated real-time data compression[J]. e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, 2021(1): 1-17.
- [14] FU J, LIU Y P. Design of electricity information collection system based on NB-IoT [J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 677(4): 1-6.
- [15] 袁义生,兰梦罗,刘文钦. 电力电子电路 PCB 中回路间的磁场干扰研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2021, 35(8): 175-183.

作者简介

秦浩华(通信作者),副教授,硕士生导师,主要从事嵌入式系统,仪器仪表设计与开发等研究工作。

E-mail:qhh@qust.edu.cn