

基于反馈机制的用户电表信息分布式采集方法

黄家宝¹, 覃江英¹, 王玮¹, 陈应富², 朱纪翔³

(1. 桂林理工大学, 广西 桂林 541000;

2. 广西大学, 广西 南宁 530004; 3. 邵阳学院, 湖南 邵阳 422000)

摘要: 用户电表信息以往的采集方法采集时间长、无法各地联网, 不适合实施大面积的数据采集, 设计基于反馈机制的用户电表信息分布式采集方法。首先, 进行用户电表信息采集并对采集图像重建, 其次, 通过双重组网方案的设计和中继器的电路设计, 最后, 结合两种通信方案完成分布式采集的网络搭建, 实现重建数据的汇总、短距离传输与远程传输。测试结果表明, 该方法的数据采集误差始终低于0.5%, 能够实现大面积的用户电表信息采集。

关键词: 超分辨率反馈网络; CMOS线阵图像传感器; 用户电表信息; ZigBee通信模块; 分布式采集

中图分类号: TP274^{+.2} **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-7241(2025)07-0115-05

Distributed Collection Method for User Electricity Meter Information Based on Feedback Mechanism

HUANG Jiabao¹, QIN Jiangying¹, WANG Wei¹, CHEN Yingfu², ZHU Jixiang³

(1. Guilin University of Technology, Guilin 541000, China;

2. Guangxi University, Nanning, 530004, China; 3. Shaoyang University, Shaoyang 422000, China)

Abstract: The previous collection method of user's electricity meter information takes a long time and cannot be networked everywhere, which is not suitable for large-scale data collection. A distributed collection method of user's electricity meter information based on feedback mechanism is designed. First, it collects the information of user's electricity meter and reconstructs the collected image. Secondly, through the design of double networking scheme and the circuit design of repeater, finally, the network construction of distributed collection is completed by combining two communication schemes, so as to realize the collection, short-distance transmission and long-distance transmission of reconstructed data. The test results show that the data acquisition error of this method is always less than 0.5%, and it can realize large-area user meter information acquisition.

Keywords: super-resolution feedback network; CMOS linear array image sensor; user electricity meter information; ZigBee communication module; distributed collection

0 引言

近年来,随着整个社会的飞速发展,各行业的用电量飞速增长,电力企业供电压力越来越大。为更好地满足各行业对于电力能源的需求,更好地了解用户的用电行为与用电需求,电力行业需要应用一些创新性的服务与技术来应对这些问题^[1]。随着通信技术的发展,很多实时监控均能够在PC端实现,传统的人工抄表方式已经不再适用于现代化的电力信息化管理。对用户电表信息进行自动化采集能够避免人工抄表方式的繁琐,实现用户信息的高效、自动采集,大幅提升抄表效率,并实现采集数据准确性的提升^[2]。同时,为构建更加智能的电网,制定符合我国国情的交互、自动化、数字化、信息化的电

力系统,也必须实现智能的用电信息采集。实现智能化采集,不仅能够获取更加准确的用户信息数据,还可以保存用户的用电信息并对其进行分析,这对于市场预测与分析,实现与用户之间的交互,提供更高质量的服务,实现精细化管理等均有很大意义,同时还能够使资源的配置更加合理,促进节能减排,是智能电网建设中的重要环节。

对于用户电表信息自动采集问题的研究,自2020年起,智能电表将走进国外的千家万户,帮助用户更加直观地了解家庭能源使用情况。各国都在推动信息自动采集的智能化变革与应用,我国也取得了丰富的研究成果。文献[1]中提出一种基于物联网的智能电表采集系统,由监控上位机、采集终端和设备、智能电表节点构成,能够实现远程操控与双向网络传输。文献[2]中提出一种基于STM32F107的智能电表电能采集与远程监控方案,实现了参数采集与以太网通信。文献[3]提出一种基于

*基金项目:国家电网有限公司科技项目(1200/2020-02003B)

收稿日期:2023-09-25

Modbus 协议的智能电表数据采集传输系统,应用上位机软件实现了采集数据的存储和显示,提升了数据采集的可靠性与实时性。以上方法均为较集中的采集方式,不适合实施大面积的数据采集,因此设计一种基于反馈机制的用户电表信息分布式采集方法。

1 用户电表信息分布式采集方法设计

1.1 用户电表信息采集

设计电表信息采集器,实施用户电表图像数据的采集。该电表信息采集器由相机与镜头、照明光源构成。

为避免采集受到干扰同时增强数据传输能力,选用工业相机实施图像采集^[3]。选用的工业相机类型为 CMOS 线阵相机。设计一种拼接式 CMOS 线阵相机:直线排列 5 个 CMOS 线阵图像传感器,将 FPGA 作为处理和控制中心,并行驱动线阵图像传感器后,传感器输出模拟电信号,通过 AD 芯片对模拟信号实施 AD 量化处理,并将其输入 FPGA 芯片中,由 FPGA 对数据实施缓存,利用高速 USB 接口将数据输出,最终在 PC 机上显示图像^[4]。

设计的相机拼接结构如图 1 所示。

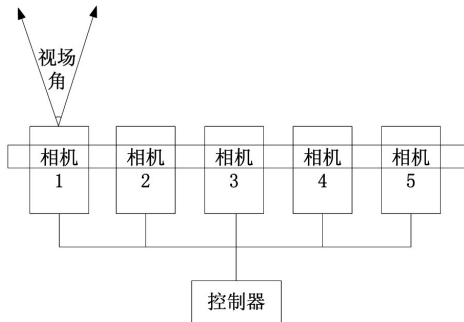


图1 相机拼接结构

此时该结构的视场宽度可以通过式(1)来计算:

$$B = 5 \times 2 \times G \cdot \sin \frac{\phi}{2} = 5K \quad (1)$$

式中, G 指的是物距; ϕ 是指视场角; K 是指单个相机的视场宽度。

选用的 CMOS 线阵图像传感器型号为 ELIS-1024,通过配置其引脚电平对其分辨率进行选择。选用的 AD 芯片为 AD9280,依据模拟信号大小配置其上下参考电压,以实现最好的转换效果^[9]。选用的 FPGA 芯片型号为 XC3S500E,USB 芯片型号为 FT2232HL,能够与 XC3S500E 连接。

CMOS 线阵图像传感器与智能电表的距离需要保持在 500 mm 以内,据此计算与相机相匹配的镜头焦距值,计算公式如下:

$$z = \mu \times \frac{\zeta}{\gamma} = 6.6 \times \frac{500}{220} = 15 \quad (2)$$

式中, μ 指的是相机成像以后智能电表的长度; ζ 是指镜头放置的位置与智能电表之间的距离; γ 指的是智能电表的

水平长度。

因此选择镜头焦距小于 15 mm 的镜头,选用的镜头型号为 M1224-MPW2,其焦距为 14.5 mm,并且与 ELIS-1024 能够对接成功^[5]。

由于智能电表上有着容易反光的液晶屏,为防止漫反射问题,选用 LED 灯作为照明光源,并选用漫射光 LED 照明作为光源照明方式。

1.2 采集图像重建

以 U-Net 网络为基础,引入反馈机制搭建一个超分辨率反馈网络,实现采集图像的超分辨率重建,解决采集图像细节信息模糊的问题。搭建的超分辨率反馈网络主要融合输入图像的特征与重建图像的特征反馈后实施循环训练,从而生成高分辨图像,实现图像分辨率的提升。

该超分辨率反馈网络由特征提取模块、特征融合模块构成。其中特征提取模块由上采样模块、PIR 模块、下采样模块构成。通过上采样模块与下采样模块能够对图像特征实施多层提取^[6]。将上采样模块设计为五层卷积网络,具体网络结构设计如下。

第一个卷积层:步长:1;卷积核大小:5×5;作用:提取图像特征;

第二个卷积层:步长:1;卷积核大小:1×1;作用:缩减图像通道数量,减少参数数量;

第三个卷积层:步长:1;卷积核大小:3×3;作用:非线性映射;

第四个卷积层:步长:1;卷积核大小:1×1;作用:扩大层;

第五个卷积层:步长:2;卷积核大小:4×4;作用:反卷积,将小尺寸的图像恢复为大尺寸的图像。

在上采样模块中,采用的激活函数为 PReLU 函数,将负值的斜率直接设为 0.25。

将上采样模块的反卷积层即第五层放置在最上层,即完成下采样模块的构建。通过这种网络结构能够放大图像,使提取特征的准确度提升^[7]。

在下采样模块中,采用的激活函数为 LeakyReLU 函数,将负值的斜率直接设为 0.01。

分别实施两次上采样与两次下采样实现特征提取,两种采样的数据表达式具体如下:

$$R_{\text{Down}} = Q_{\text{Up}}(R_{\text{in}}) \quad (3)$$

$$R_{\text{Up}} = Q_{\text{Down}}(R_{\text{Down}}) \quad (4)$$

式中, R_{Down} 指的是下采样; R_{in} 是指输入图像特征; $Q_{\text{Up}}(\cdot)$ 指的是上采样层的函数; $Q_{\text{Down}}(\cdot)$ 是指下采样层的函数; R_{Up} 指的是上采样。

PIR 模块主要利用跳跃链接的方式拼接特征,提升重建图像的精度。PIR 模块由一个卷积层、长跳跃连接 LSC

与残差组 RG 构成。其中残差组 RG 由一个卷积层、一个短跳跃连接和多个残差通道注意块构成。通过长跳跃连接 LSC 能够使图像特征传输至更深的结构中。

在特征融合模块中,首先通过小波变换对输入特征 R_m 与特征图像 R_{ext} 实施 N 层分解,使其成为一个低频分量与 3N 个高频分量^[8]。

通过加权平均实施低频分量的融合,具体如下式:

$$R_{ret-if} = \frac{E_{R_{ext}} + E_{R_m}}{2} \quad (5)$$

式中, $E_{R_{ext}}$ 指的是特征图像 R_{ext} 的低频分量; E_{R_m} 是指输入特征 R_m 的低频分量。

对于 3N 个高频分量,通过局部方差准则对其实施融合,具体如下式:

$$R_{ret-hf} = \frac{I}{\alpha\beta} \sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{j=1}^{\beta} (Y_{ij} - \bar{Y})^2 \quad (6)$$

式中, α 指的是一个像素点所处区域的行数; β 是指一个像素点所处区域的列数; \bar{Y} 指的是像素灰度值均值; Y_{ij} 是指像素灰度值^[9]。

分别融合高频分量与低频分量后,通过小波逆变换的方式融合输入特征 R_m 与特征图像 R_{ext} ,具体如下式所示:

$$R_{ext}'' = R_{IWT} (R_{ret-if}, R_{ret-hf}) \quad (7)$$

式中, $R_{IWT}(\cdot)$ 指的是小波逆变换。

最后利用卷积操作完成超分辨率图像的重建。

1.3 重建数据传输

设计一种面向用户电表信息采集的 ZigBee-TD-LTE 双重分布式组网方案,实现重建数据的汇总、短距离传输与远程传输^[10]。在该双重组网方案中,通过 ZigBee 通信模块实现本地通信,通过 TD-LTE 通信模块实现远程通信。结合本地通信方案与远程通信方案完成分布式采集的网络搭建。

该双重组网方案的设计如图 2 所示。

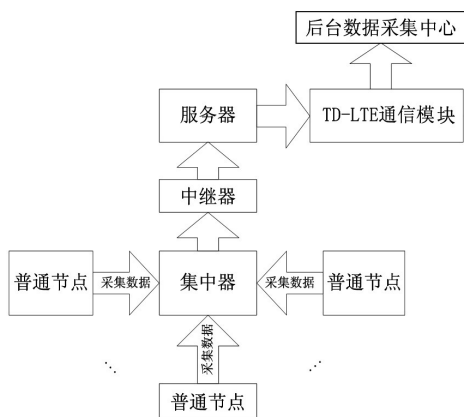


图2 双重组网方案的设计

其中普通节点选择的是 CC2530 芯片,使用 MCU 协助该芯片的数据收发工作。通过普通节点与采集器、集

中器等进行通信。

在本地通信方案中,设计集中器与中继器实现数据的转发与收集,以最大程度地发挥 ZigBee 的组网特性,保证部署的覆盖面与灵活性。其中中继器属于转发节点,具有数据临时存储与数据转发功能,该节点与集中器和采集器互相连接,当采集器无法连接集中器时,直接连接附近的中继器即可,此时中继器会进行向上转发并汇总小范围数据^[11]。集中器作为本地网络的核心节点,负责汇总一片区域内的数据采集结果。

集中器的设计如下:由电源模块、存储电路、时钟电路与主控芯片模块构成。

其中主控芯片模块选用的处理器为 MSP430F249 单片机。

在电源模块中,由于集中器需要长时间不休眠,需要稳定的电源供给,因此通过电网供电,即转化电压电流后实现集中器的供电。将电源模块分为两个单元来设计:开关单元与稳压电路单元。在稳压电路单元中,通过 RH5RE33 稳压芯片将电网电力转换为 5 V、2.5 A 的电源输出。在开关单元中,通过 MXA15 开关电源实现集中器的抗干扰输出。

在时钟电路中,将 DS1302 作为时钟芯片,并将时钟设置为秒级中断计数。

在存储电路中,选用的存储芯片为 AT24C512。

中继器的电路设计如图 3 所示。

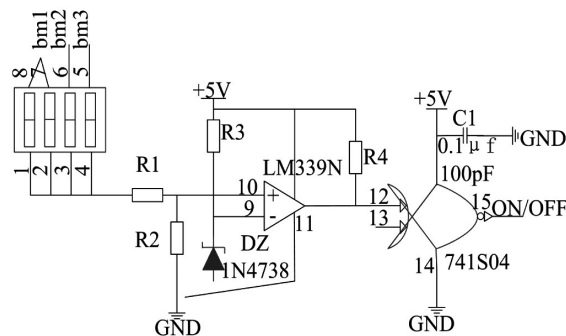


图3 中继器的电路设计

ZigBee 本地组网方案既需要考虑部署的灵活性与数据传输覆盖面,还需要确保通信的可靠性,因此选择树状的组网方式。同时在一个小范围内增设了中继器,以支持 ZigBee 网络中接入大量终端,并使网络的灵活性与覆盖面达到预期^[12]。

TD-LTE 通信模块选用的型号为 H685,使用两种方式实现其供电,使用两个 N4007 芯片转化 5 V 电源,并使用可充电锂电池作为该模块的备用电源。

2 案例测试

2.1 实验过程

利用设计的基于反馈机制的用户电表信息分布式采

集方法对某地区用户电表信息实施分布式采集,测试其采集性能。

首先通过设计的电表信息采集器采集用户电表图像数据,具体如图4所示。



图4 采集的用户电表图像数据

如图4,由于采集的图像存在细节信息模糊的问题,通过搭建的超分辨率反馈网络对采集图像实施超分辨率重建。在超分辨率重建中,首先需要使用一部分采集图像对超分辨率反馈网络进行训练,将训练集与测试集的比例定为7:3,共训练1000轮次。通过Adam优化器优化网络参数,将初始学习率设置为0.001。

图5的超分辨率重建结果如图6所示。



图5 超分辨率重建结果

最后搭建设计的 ZigBee-TD-LTE 双重分布式组网方案,将数据传输至后台数据采集中心,从而实现数据的分布式采集。

首先测试设计方法的采集误差,接着测试设计方法的数据采集时间。在后项测试中,对该地区进行分区,分别观察设计方法对于距离较近地区与距离较远地区的数据采集时间,并观察对比方法是否能够实现较远地区的数据采集。实验地区的分区情况如图6所示。

其中后台数据采集中心位于本次测试地区的中心地区即地区⑤。

在测试中,将基于物联网的智能电表采集系统、基于STM32F107的智能电表电能采集方案、基于Modbus协议的采集传输系统作为对比方法,分别用方法1、方法2、方

法3来表示。

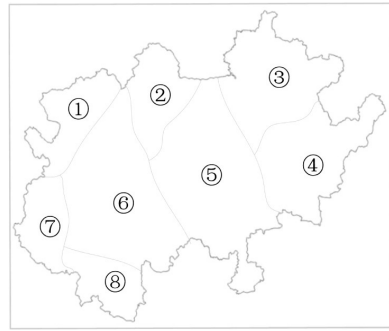


图6 实验地区的分区情况

2.2 测试结果

2.2.1 采集误差测试结果

在不同的数据采集时间下,测试四种方法的数据采集误差,测试结果如图7所示。

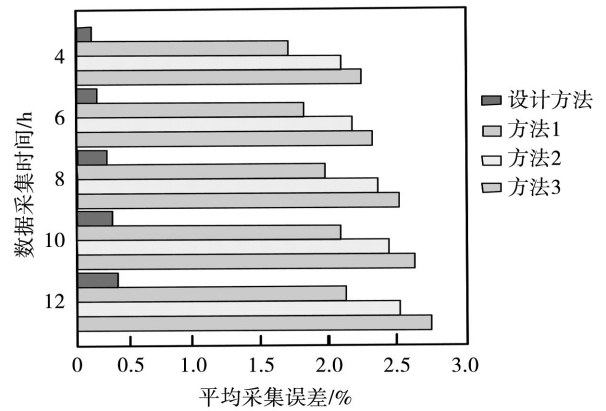


图7 数据采集误差测试结果

根据图7测试结果,设计方法的数据采集误差明显低于三种对比测试方法,同时其数据采集误差始终低于0.5%。在三种对比方法中,方法1的数据采集误差最低,方法3的数据采集误差最高。

2.2.2 数据采集时间测试结果

实验地区分区后,四种方法的数据采集时间,即传输至后台数据采集中心所需要的时间的测试结果如表1所示。

表1 数据采集时间测试结果

实验地区	数据采集时间/s			
	设计方法	方法1	方法2	方法3
①	56.87	-	-	-
②	29.30	51.20	56.30	54.20
③	27.41	50.30	52.87	53.62
④	28.32	48.63	50.36	52.74
⑤	5.25	35.20	34.20	28.63
⑥	26.98	53.01	58.32	54.52
⑦	68.52	-	-	-
⑧	59.62	-	-	-

据表1测试结果,对于距离较远的地区①、⑦、⑧,只

有设计方法能够实现其数据采集,而三种对比方法由于距离较远均无法实现这三个地区的数据采集。对于距离较近的地区,设计方法的数据采集时间低于三种对比方法,特别是中心地区的数据采集时间很短,仅为5.25 s。

3 结束语

在用户电表信息采集问题的研究中,基于反馈机制实现了采集图像的超分辨率图像重建,并设计了 Zig-Bee-TD-LTE 双重分布式组网方案,实现了用户电表信息的分布式采集,解决了大范围用户电表信息采集问题,取得了一定研究成果。

参考文献:

- [1] 陈晓杉,姚泽玮,郭尚灵. 物联网环境下通用型数据采集平台的研究与设计[J]. 长江信息通信, 2024, 37(10): 175-178.
- [2] 殷俊,巴挺杰,张建伟,等. 基于北斗短报文的智能电表数据通信方法研究[J]. 电子设计工程, 2023, 31(17): 159-163.
- [3] 董健平,杨成佳,韩成浩,等. 基于虚拟仪器技术的智能小区电能采集系统设计[J]. 建筑电气, 2023, 42(8): 75-78.
- [4] 王敏,郑鹏,常景景. 基于 Halcon 的智能电能表显示屏信息缺失的检测[J]. 电测与仪表, 2021, 58(1): 189-195.

(上接第50页)

3 结束语

基于改进的不确定度测量模型的抽水蓄能电站实验检测档案数据识别方法,通过引入新的不确定性测量指标和算法优化,实现了对复杂、多源实验检测档案的精确识别。通过本研究的实施,有望推动抽水蓄能电站实验检测档案数据识别技术的发展,为电力系统的安全、稳定、高效运行提供有力保障。

参考文献:

- [1] 张林,吴蕾,李峰,等. 基于深度学习的天气雷达异常数据识别技术[J]. 应用气象学报, 2023, 34(6): 694-705.
- [2] XIAO R, LI Z, MIAO X, et al. GuidedMix: An on-the-fly data augmentation approach for robust speaker recognition system[J]. Electronics Letters, 2022, 58(2): 82-85.
- [3] 杨青,钟爽. 基于神经网络的高比例异常数据识别仿真[J]. 计算机仿真, 2023, 40(10): 487-490, 495.
- [4] LIU Y, YAN X, HAO X, et al. Automatic modulation recognition of radiation source signals based on data rearrangement and the 2D FFT[J]. Remote Sensing, 2022, 35(11): 56-58.
- [5] HAN Y, XU Y. The research of emotion recognition based on multi-source physiological signals with data fusion[J]. ITM Web of Conferences, 2022, 45(000): 9.
- [6] 肖碧涛,赖晓路,郭鹏,等. 高斯混合模型风电机组异常数据识别方法研究[J]. 可再生能源, 2023, 41(8): 1051-1056.
- [7] 吴永斌,张建忠,邓富金,等. 基于方差变化率判据-四分位

[5] 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.

[6] 荆臻,王莉,杨梅,等. 基于超状态隐马尔可夫模型的智能电表非侵入式故障远程检定[J]. 电测与仪表, 2023, 60(2): 196-200.

[7] 廖家威,周勇,方夏,等. 基于关联系数网络的电表异构信息提取方法[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(2): 665-673.

[8] 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.

[9] 马妙明. 多式联运信息集成平台的构建[J]. 微型电脑应用, 2022, 38(3): 52-54.

[10] 雷明阳,陈静杰,欧晓勇,等. 基于张量分解的智能电表电压数据缺失填补算法[J]. 电网与清洁能源, 2021, 37(12): 8-15.

[11] 熊尉辰,宋国兵,李洋,等. 利用智能电表量测数据的三相四线制配电线路参数辨识[J]. 电力系统自动化, 2022, 46(20): 155-166.

[12] 夏卓群,张一超,谷科,等. 基于雾计算的智能电表用户虚拟隐私保护方案[J]. 电子与信息学报, 2023, 45(3): 819-827.

作者简介:黄家宝(1984—),男,高级工程师,研究方向:电能计量技术,智能电网。

的风电场功率异常数据识别[J]. 电力工程技术, 2023, 42(4): 141-148.

[8] 甘雨,郭鹏,林立栋. 基于变分贝叶斯推断的DPGMM风电机组异常数据识别研究[J]. 动力工程学报, 2023, 43(7): 885-892.

[9] 黄公跃,付婷婷,林思远,等. 用电信息采集系统电能计量数据异常识别研究[J]. 电网与清洁能源, 2023, 39(4): 25-30, 46.

[10] 杨茂,张书天,王天硕,等. 基于IKLIEP-四分位模型的风电场异常数据识别算法[J]. 高电压技术, 2023, 49(7): 2952-2960.

[11] 陈江雨,李培强,钟吴君. 基于多模型并行集成框架的风电功率异常数据识别[J]. 电力系统及其自动化学报, 2023, 35(11): 133-142.

[12] 李阳,沈小军,张扬帆,等. 基于速度-关联约束的风电机风速感知异常数据识别方法[J]. 电工技术学报, 2023, 38(7): 1793-1807.

[13] 曹南华,张家坤,杨香迪,等. 基于无线网络的抽水蓄能电站安全作业远程指挥系统[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(2): 183-186.

[14] 洪德华,刘翠玲,赵林燕,等. 基于多域特征分析与选择的电力数据识别方法[J]. 水电能源科学, 2023, 41(9): 211-215.

[15] 宋湘辉,周霖轩. 基于HMI及PLC的抽水蓄能电站自动化值守联动系统设计[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(1): 46-50.

作者简介:岳媛(1996—),女,硕士,初级工程师,研究方向:档案管理。