

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2005413

基于图像识别的交流充电桩误差检定方法研究

邹大中¹ 李勋¹ 黄建钟²

(1.南方电网电动汽车服务有限公司 深圳 518000; 2.深圳市星龙科技股份有限公司 深圳 518052)

摘要: 为了改变常规技术中被检电能量化误差大,交流充电桩工作容易发生故障的问题,设计了图像识别的交流充电桩误差检定方法,并构建出新型的交流充电桩误差检定装置,通过图像差异突变量,检测出的被检充电桩的电度变化,使用余弦相似度算法比较两帧图像差异 $T(n)$,并计算本帧 $f(n)$ 和上一帧 $f(n-1)$ 图形差异值以及上一帧 $f(n-1)$ 和上上一帧 $f(n-2)$ 的图形差异值的变化。结果表明通过上述设计,降低了交流充电桩检定的误差,平均误差低于 5%。因此,本研究的方案提高了检定精度。

关键词: 图像识别;交流充电桩;图形差异值;余弦相似度算法;检定

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4010

Research on error verification method of AC charging pile based on image recognition

Zou Dazhong¹ Li Xun¹ Huang Jianzhong²

(1. China Southern Power Grid Electric Vehicle Service Co., Ltd., Shenzhen 518000, China;

2. Shenzhen Xinlong Science and Technology Co., Ltd., Shenzhen 518052, China)

Abstract: In order to change the problem of large quantification errors of the detected electric energy in the conventional technology and easy failure of AC charging piles, to design an AC charging pile error verification method with image recognition and constructed a new type of AC charging pile error verification device, through the sudden change amount of the image difference, the electrical power change of the checked charging pile was detected, the residual selection similarity algorithm was used to compare the difference $T(n)$ between the two frames, and the difference between the current frame $f(n)$ and the previous frame $f(n-1)$ was calculated. Value and the change of the graphic difference value between the previous frame $f(n-1)$ and the previous frame $f(n-2)$ was also calculated. The result show that through the above design, the verification error of the AC charging pile was reduced, and the average error was less than 5%. Therefore, the scheme of this study improved the verification accuracy.

Keywords: image recognition; AC charging pile; figure difference value; cos similarity algorithm; verification

0 引言

新能源汽车充电桩 2020 年列入国家新基建的重点领域,未来 10 年,中国充电桩建设预计存在 6 300 万的缺口,电动汽车交(直)流充电桩/非车载直流充电机已经列入《实施强制管理的计量器具目录》的强制目录里面,充电桩的有功电能将作为每年的强制检定项目^[1]。但是,目前大部分的交直充电桩都没有硬件的脉冲检测输出,对没有脉冲输出的充电桩使用电能比较法测量有功电能准确度,测量速度非常慢。

国内外技术对该方面也进行了相关技术,文献[1]采用图像识别技术实现无人机输电线路绝缘子故障检测方法研

究,该技术采用的技术手段是图像色彩转换、最大熵值分割法分割技术,虽然能够实现故障检测,但是该技术无法动态检测充电桩的电度变化。文献[2]采用红外图像识别实现输电线路的故障识别和诊断,该技术采用的技术手段是深度卷积神经网络模型,通过该模型提取数据信息,进而获取温度和发热点,该技术也能够实现故障、误差诊断,但是该过程对分析方法并不适合不发热的物体上,适用性太差。文献[3]应用运动能量模型提高检测精度和计算效率,但是精度不高,并且该方法在交流充电桩误差检定中,适用性较差。常规技术在进行交流充电桩误差检定时,尤其是在最小工作电流下,检测一个点要 30 min 或更久,所以需要快速检测充电桩的有功电能的方法,才能满足未来数以百万

收稿日期:2020-11-23

级的充电桩检测需求。目前市场上充电桩在没有脉冲的情况下,一般使用电能比较法,通过充电桩现场校验仪走的电能量值和充电桩在同一时间走的电能量值做比较,得出其误差值^[4]。该方法在检定过程中,检定的点消耗的时间长,整体检定效率底下。

针对上述问题的不足,本文提出了一种新型的检测方案,应用图像识别和时标提取算法,实现新型应用,实验设计表明本研究的结果,通过预期结果,具有很重要的研究意义。

1 检测方案设计

针对上述技术的不足,本研究利用图像识别技术读取充电桩的最小电度刻度的变化值,通过软件转换为类似硬件的虚拟硬件脉冲输出,该虚拟硬件图像识别的时间分辨率为 16.67 ms^[5],以快速实现充电桩的有功电能的比较。

本研究的创新点在于:

1)通过图像差异突变量,检测被检充电桩的电度变化

的时刻使用余选相似度算法比较两帧图像差异 $T(n)$,并计算本帧 $f(n)$ 和上一帧 $f(n-1)$ 图形差异值以及上一帧 $f(n-1)$ 和上上一帧 $f(n-2)$ 的图形差异值的变化,利用差异变化的突变量检测被检充电桩的电度变化的时刻 $(0.01 \text{ kW}\cdot\text{h})$ ^[6]。

2)用被检电能表的量化值的 $(0.01 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 变化的时刻)上升沿来控制标准电能表(充电桩误差检定装置)电能走字的启动和停止,把被检电能表的量化值变成了上升沿的检测量化值,大大减小量化的值,提高检测速度。

通过上述设计思路,本研究设计出如图 1 所示的交流充电桩误差检定装置。该装置由交流供电插座 1 和 6、电源模块 2、电流互感器 3a/3b/3c、电压分压电阻网络 4、电流电压转换模块 5a/5b/5c、电压跟踪模块 7a/7b/7c、BF609 芯片及其外设 8、显示 LCD 9^[7]、键盘 KEY 10、电源变换 11、电源变换 12、参考电压 13、USB 显微镜(摄像头)14、A/D 转换电路 15 组成。

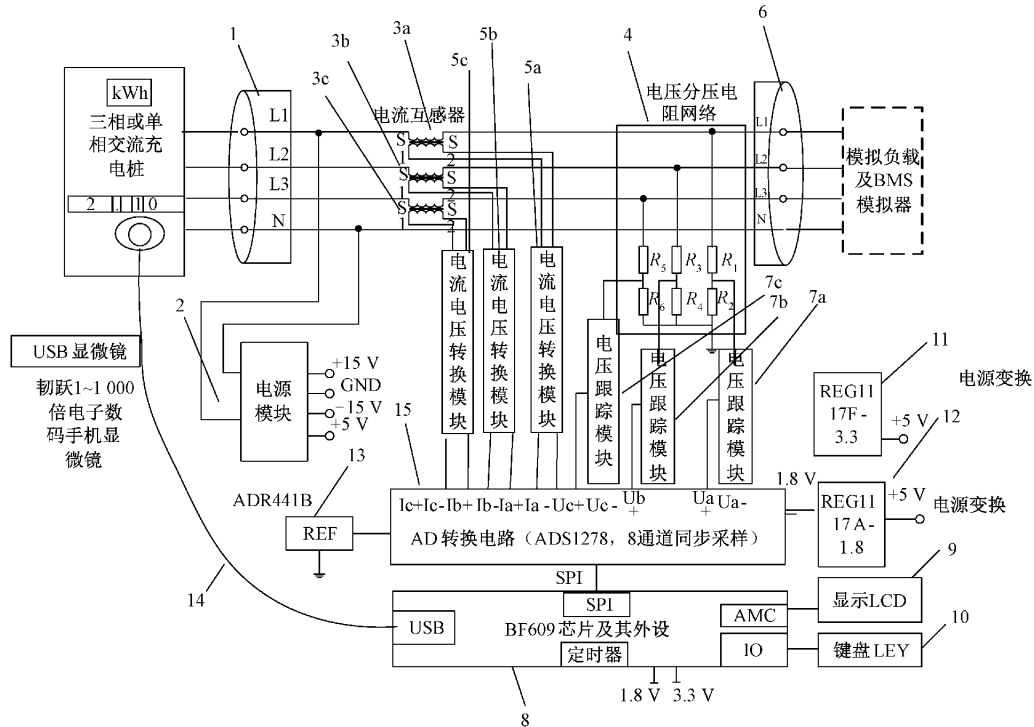


图 1 交流充电桩误差检定装置

在图 1 的技术方案设计中,交流供电插座 1、6 为串接到直流充电桩的交流回路的插座,采用的电源模块为 ±15 V 和 5 V 输出的开关小电源,电流输出 2 A。设计采用的电流互感器 3a、3b、3c 采用 0.01 级的零磁通电流互感器,零磁通电流互感器的变比为 8 000 : 1。也就是 80 A 电流输入,二次输出 10 mA。设计的电压分压电阻网络 4 采用 1×10^{-6} 温漂、0.01% 准确的高稳定电阻, $R_1、R_3、R_5$ 的值为 199 k Ω , $R_2、R_4、R_6$ 的值为 1 k Ω ^[8],分压比为 200 : 1,也就是 200 V 的电压输入,二次输出 1 V。

在本研究中,电流电压转换模块 5 由运放 OPA2277 U5 和 0.01% 准确的 RF 电阻 (1×10^{-6} 温漂) 组成、RF 电阻阻值为 100 Ω 。对于 10 mA 的电流输出转换为 1 V 电压输出。电源变换器 11 为 5 转 3.3 V 的线性稳压模块,把 5 V 的电源转换为 3.3 V 供 BF609 和 A/D 转换器使用,使用固定电压输出的芯片 REG1117F-3.3 转换。

本研究中的电源变换器 12 为 5 转 1.8 V 的线性稳压模块,把 5 V 的电源转换为 1.8 V 供 BF609 和 A/D 转换器使用,使用固定电压输出的芯片 REG1117F-1.8 转换^[9]。

其中的参考电压 13 由芯片 A/DR441B 输出 2.5 V 的电压值。A/D 转换电路 15 采用 24BIT 的 8 个通道严格同步 sigma-delta A/D 转换器 A/DS1278, 积分误差典型值为: ±0.000 3%, 最大采样率 128 KSPS。BF609 芯片及其外设 8 由 A/DI 公司的 BF609 芯片及其外设构成, 芯片内置了大量的外设, 包括 1 个 SPI 接口、USB 物理层、定时器、16 个通用 IO 口、AMC 接口(异步存储接口)等, 256 MByte DRAM、用于完成本研究的核心算法、任务调度及显示和输入等。

本研究采用的显示 LCD 9 为液晶显示模块, 直接由 BF609 芯片及其外设通过 AMC 接口驱动显示, 采用的键盘 10 为简易键盘, 共 6 个键盘输入到处理器 BF609 芯片及其外设的 6 个 I/O 上, 其中的 USB 显微镜(摄像头)14, 本研究 USB 显微镜采用的是切跃 1~1 000 倍电子数码手机显微镜, 可以手动调整焦距, 能够很好调焦到最后一个数据^[10]。

通过上设计, 本研究的电压分压电阻网络 4, 把三相交流电压信号缩小 200 倍输入到电压跟踪模块 7a/7b/7c 后输入到 AD 转换模块 15 的 3 个通道上, 三相电流通过电流互感器 3a/3b/3c 把充电桩的输出电流缩小 8 000 倍后输入到电流电压转换模块 5a/5b/5c 上, 电流电压转换模块 5a/5b/5c 的跨导放大后输出连接 AD 转换模块 15 的 3 个通道, AD 转换模块 ADS1278 以 2 KSPS 的采样率连续不断的采集电压和电流通道的波形值^[11], 同时 USB 接口连续不断接收并判断图像信号的 0.01 kW·h 的变化时标和累积数量 n , 根据图像信号的 0.01 kW·h 的变化时标 T_1 控制充电桩误差检定装置的启动以及 T_n 控制有功电能 E_b 的停止, 并计算被检充电桩的有功电能误差。

2 关键技术设计

2.1 图像识别和时标提取算法

通过图像识别和时标提取算法对本研究的检定方法进行计算。设每一帧图像的像素为 $f(n)$, 其中 $f(n)$ 表示第 n 帧的图像数据, $M \times N$ 的数组, M 为视频行点数, N 为视频的列点数。然后使用余弦相似度来计算两帧视频的相似度 $T(n)$ 。相似度公式如下:

$$T(n) = \frac{f(n) \cdot f(n-1)}{\|f(n)\|^2 \times \|f(n-1)\|^2} = \frac{\sum_{i=1}^{M \times N} f(n)_i \times f(n-1)_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{M \times N} f(n)_i^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^{M \times N} f(n-1)_i^2}} \quad (1)$$

式中: M 表示显微镜摄像的行点数; N 表示显微镜摄像的列点数; $f(n)$ 表示第 n 帧的像素数组; $f(n-1)$ 表示第 $n-1$ 帧的像素数组, $f(n)_i$ 表示当前录像帧数, 其中 $n > 1$, $T(n)$ 值的范围为 $[-1, 1]$, 值越大, 相似度就越小, 值为 0, 这种情况下, 说明两个图片完全相同, 在被检充电桩的电

字没有变化的时候, 视频的前后两张图非常相似, $T(n)$ 值接近于 0, 假如相似度突变增大^[12], 说明被检充电桩的电度值又增加了 0.01 kW·h, 通过查询 $T(n)$ 突变量值确定 0.01 kW·h 变化的上升沿时间 T_n 。

为了兼顾噪音采用如下判据判断突变量 T 。

$$T = (|T(n)| > 5 * |T(n-1)|) \parallel (|T(n)| > 0.05) \quad (2)$$

在式(2)中, n 表示当前录像帧数, 其中 $n > 2$; 当两个图像的差异达到 5%, 或比上次相似度多出 5 倍, 证明是 0.01 kW·h 的上升沿。其中 \parallel 为“或”的数学符号。当 T 为真时, 记录 T_n 的时标, 时标使用 DSP 内置的系统时钟调用函数。

下面对计算时间进行说明, 为了减少运算量, 把显微镜的像素修改为 640×480 。这样 $M=640, N=480$; 其中 BF609 的内置了双核四线程 MAC, 共有 4 个 MAC, 最大速度 500 MAC。

式(1)中, $\sum_{i=1}^{M \times N} f(n)_i \times f(n-1)_i$ 、 $\sqrt{\sum_{i=1}^{M \times N} f(n)_i^2}$ 、 $\sqrt{\sum_{i=1}^{M \times N} f(n-1)_i^2}$ 可以用 3 个 MAC 同时单周期计算, DSP 内核运算 1 个周期并行计算 2 ns, 由于 DSP 需要对 DRAM 取图像数据, 1 个周期大约 7.5 ns, 共需要 3 个周期。共需要 $640 \times 480 \times (2 + 7.5 \times 3) \text{ ns} = 7\,526\,400 \text{ ns} = 7.5 \text{ ms}$ 。

一帧的时间为 $1/60 = 16.67 \text{ ms}$, 计算需要的时间为 7.5 ms, 可以满足运算要求, 对于 DSP 速度比较慢的可以使用两种方法降低对 DSP 的速度要求, 第 1 种方法是降低像素, 计算过程只取一个数^[13], 实际上像素在 32×32 就可以了, 第 2 个方法是截取图像的一部分进行对比。

在本研究的电能计量方法中, 首先把 $U_a, I_a, U_b, I_b, U_c, I_c$ 的采样点数据按电压变比(式(1))和电流变比(式(2))折算到一次值, 按照电压单位为 V、电流单位为 A, 转存到如下的双精度浮点数组。其中 $U_a[1, n], U_b[1, n], U_c[1, n], I_a[1, n], I_b[1, n], I_c[1, n]$; n 表示 T_n 时刻对有功电能的最后一个采样点。

由式(1)还可以输出:

$$E_b = \int_{T_1}^{T_n} p(t) dt = \int_{T_1}^{T_n} p_A(t) + p_B(t) + p_C(t) dt = \int_{T_1}^{T_n} U_A(t) \times I_A(t) + U_B(t) \times I_B(t) + U_C(t) \times I_C(t) dt = \sum_{i=1}^n U_a[i] \times I_a[i] + U_b[i] \times I_b[i] + U_c[i] \times I_c[i] \times T_s \quad (3)$$

在式(3)中, 采样率为 2 KSPS, ADS1278 采样 512 倍采用过采样, 2 KSPS 完全满足要求。

通过上述描述, T_s 表示为采样时间 $1/2 K=0.5 \text{ ms}$, 当 $i=1$ 时, T_1 时刻开始对有功电能的第 1 个采样点, 当 $i=n$ 时, 表示为 T_n 时刻对有功电能的最后一个采样点。假如采样时间为 60 s, 则 $n=60 \text{ s}/0.5 \text{ ms}=120\,000$, 对于单

相交流充电桩,式(3)也同样适用,只是 B 相和 C 相的电流和电压值为 0,对应的积分值也接近 0。

2.2 控制电能计算的流程

下面对图像识别和时标提取算法的原理进行说明,假设充电桩的交流电压输入为 U_a 、 U_b 、 U_c ;电压跟踪模块的输出值入为 U_{2a} 、 U_{2b} 、 U_{2c} ,其变比为 200 倍(电压分压电阻网络 4 的分压比):

$$\begin{aligned} U_{2a} &= \frac{U_a}{200} \\ U_{2b} &= \frac{U_b}{200} \\ U_{2c} &= \frac{U_c}{200} \end{aligned} \quad (4)$$

经过变换后,220 V×1.1 的交流电压输出值为 1.21 VAC,峰峰值为-1.71~+1.71 V。

A/D 转换输入值为-2.5~+2.5 V,符合设计满足输入条件,对于电流输入,假设充电桩的交流电流输入为 I_a 、 I_b 、 I_c ,假设电流转换模块的输出值电压值为 VI_{2a} 、 VI_{2b} 、 VI_{2c} ,则有:

$$\begin{aligned} VI_{2a} &= \frac{I_a \times 100}{8\ 000} \\ VI_{2b} &= \frac{I_b \times 100}{8\ 000} \\ VI_{2c} &= \frac{I_c \times 100}{8\ 000} \end{aligned} \quad (5)$$

式中:8 000 为电流互感器变比;100 为图 2 的 RF 的电阻阻值。

经过电流互感器和电流转换模块变换后,63 A 的电流值对应的二次电压值 0.787 5 VAC,对应的峰峰值为 1.113 525 V, A/D 转换输入值为-2.5~+2.5 V,符合设计满足输入条件。

控制电能计算的流程如下:

1)BF609 芯片及其外设 8 通过 BF609 的 USB 接口,读取 USB 显微镜 14 的图像数据,获取第 1 个 0.01 kW·h 的翻转起始时刻 T_1 。

2)BF609 芯片及其外设 8,从 T_1 时刻开始对有功电能 $E_b(t)$ 进行累计,采样率是 2 KSPS,启动误差 0.5 ms(1 个采样点的时间),0.5 ms 相对于测量时间 60 s,0.5 ms/60 000 ms=0.000 8%可以忽略^[14]。

3)BF609 芯片及其外设 8 通过 USB 接口,读取 USB 显微镜 14 的图像数据读取第 n 个 0.01 kW·h 的翻转起始时刻 T_n ,当 $T_n > 60$ s 时,停止读取,USB 显微镜 14 每秒帧速度为 60 fps,这样读取的量化误差为 1/60=16.67 ms,60 s 可保证量化误差为 16.6 ms/20 000 ms=0.027%。

4)BF609 芯片及其外设 8,从 T_n 时刻停止对有功电能 $E_b(t)$ 进行累计。

首先按式(3)计算充电桩误差检定装置标准表的有功电能值,则有:

$$E_b = \int_{T_1}^{T_n} p(t) dt \quad (6)$$

式(6)中的单位为 W·s(瓦·秒), $p(t)$ 为瞬时有功功率, $p(t)$ 的量化值由电压和电流的乘积决定,由于使用 24 bit AD,去掉符号位 1 个比特其量化值为:

$$\frac{1}{2^{23} \times 2^{23}} = \frac{1}{2^{46}} = 1.42 \times 10^{-14} \quad (7)$$

可以忽略,也就是标准的有功电能的量化值可忽略。

其中 BF609 芯片及其外设 8,按式(5)计算被检交流充电桩的有功电能为:

$$E_x = (0.01) \times n \text{ kW}\cdot\text{h} = (0.01) \times n \times 3\ 600 \times 1\ 000 \text{ W}\cdot\text{s} \quad (8)$$

(1 kW·h=1 000 W×1 h=1 000 W×3 600 s)

被检的量化值为 0.01 kW·h,本研究利用被检量化的上升沿来控制标准电能表的电能计量启动和停止,实现在同样的 0.01 kW·h 的时间内,对标准电能表和被检电能表的电能进行比对,计算误差^[14],这好比 PPS(秒脉冲),分辨率只有 1 s,但是只要能精确检测其上升沿,准确度可以达到 1 ns,原理是类似的。

5)根据式(8)计算被检充电桩的有功电能误差,则:

$$\epsilon = \frac{E_x - E_b}{E_b} \times 100\% \quad (9)$$

其中, $E_x(t)$ 为被检充电桩的走字电能,量化误差为 0.01 kW·h; $E_b(t)$ 为充电桩校验仪的标准表走字电能。交流充电桩误差检定流程如图 2 所示。

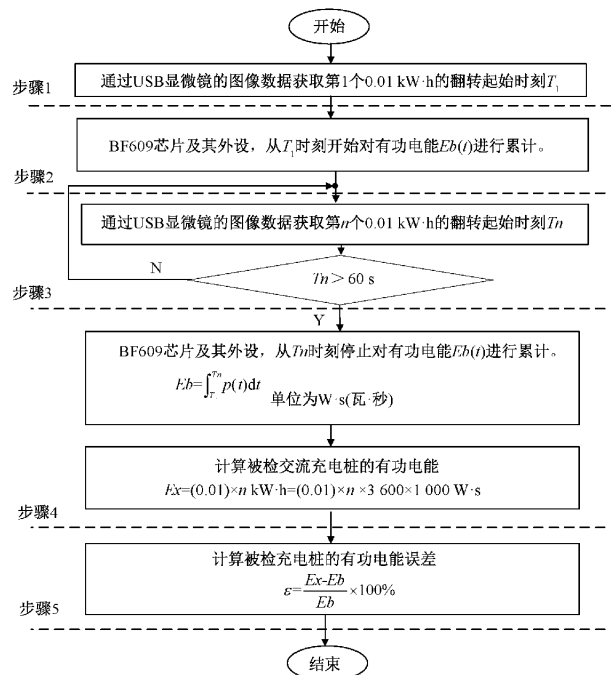


图 2 交流充电桩误差检定流程

在本研究中,把传统需要的被检充电桩电能走字的量化误差 0.01 kW·h,转换为 0.01 kW·h 的上升沿检测误差

16.67 ms 所对应的标准电能表的走字电度^[15]。

本研究方式,用被检电能表的量化值的上升沿来控制标准电能表的启动和停止,被检电能表的量化值变成了上升沿的检测量化值了,由于使用显微镜一秒钟 60 帧,其量化值固定为 16.67 ms(视频检测误差),所以,本研究把非固定值(和充电功率有关)的量化值,变成了固定值量化值,前提是必须最少要走 0.01 kW·h,为了保证能够获取较好的准确度,检测时间取 60 s 或一个 0.01 kW·h 的时间取其大值^[16]。按照 60 s,其最大量化误差为 16.67 ms/60 ms = 0.027 8%,也就是只需要 1 min 或一个被检电能表的量化值就可以达到 0.027 8% 的准确度。

在本研究模式下,交流充电桩在 0.35 kW 的功率时,0.01 kW·h 的电能需要走 0.01/(0.35) = 0.028 h,按 0.03% 的准确度比传统模式可节约时间 3 000 倍^[17]。

3 实验结果及分析

为了验证本研究检测的误差准确度,通过未采用图像识别方法(方案 1)和采用图像识别方法(方案 2)和在误差检定方面进行对比分析,在实验过程中,所用的计算机操作系统为 Windows10,64 位,计算机的开发工具为 Visual Studio 2019,OpenCV 3.0。计算机的硬件环境为 CPU: Inter(R)Core(TM)i7;主频为 2.59 GHz;内存 16 G。

通过采用两种不同的方案对交流充电桩误差继续计算,得出的误差数据,在采用方案 1 的技术方案测量时,假设输入的标准功率为 13.2 kW,通过 10 次测量,输入的电流和电压如表 1 所示。

表 1 常规方法中交流充电桩测量数据

序号	电流/A	电压/V	标准功率/kW	功率误差/%
1	59.32	213.32	13.2	4.14
2	59.46	212.65	13.2	4.21
3	59.32	208.96	13.2	6.09
4	61.42	211.32	13.2	1.67
5	60.36	209.76	13.2	4.82
6	59.38	208.96	13.2	6.00
7	58.72	215.32	13.2	4.21
8	59.32	210.76	13.2	5.29
9	62.45	201.96	13.2	4.45
10	62.87	198.32	13.2	5.54

在计算功率误差时,则可采用如下公式:

$$\eta = \frac{|\text{标准值} - \text{测量值}|}{\text{标准值}} \times 100\% \quad (10)$$

通过上述计算,平均误差低于 5%。

当采用本研究的算法时,得出的误差数据如表 2 所示。

表 2 本研究方法中交流充电桩测量误差数据

序号	电流/A	电压/V	标准功率/kW	功率误差/%
1	60.32	213.32	13.2	2.52
2	60.46	212.65	13.2	2.60
3	59.32	218.96	13.2	1.60
4	60.42	215.32	13.2	1.67
5	60.36	214.76	13.2	1.44
6	60.38	218.96	13.2	0.16
7	60.72	215.32	13.2	0.95
8	60.32	213.76	13.2	2.32
9	60.28	215.96	13.2	1.39
10	60.32	218.32	13.2	0.23

在本研究中,表 1 为常规方法中交流充电桩测量数据,表 2 为本研究方法中交流充电桩测量误差数据,由表 1、2 可以看到,通过不同计算后,本研究方法的误差计算方法较小,则汇成误差对比图,则得出如图 3 所示的误差示意图。

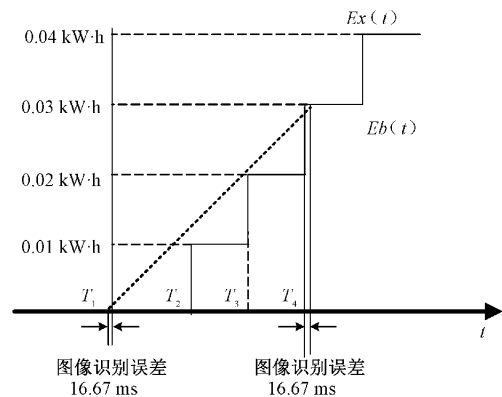


图 3 交流充电桩误差检定误差示意图

在图 3 中,误差是在不同脉冲时间段的均方根误差计算,均方误差指的是上述参数估计值与参数真值之差平方的期望值,则:

$$Ex(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{观测值} - \text{期望值})^2 \quad (11)$$

其中, N 表示测试个数,通过图 3 可以看出,在进行误差检定时,本研究的方法在刚开始时,图像识别误差为 16.67 ms,在 0.03 kW·h 时,时间为 16.67 ms,因此,本研究的方法误差较小,对没有硬件脉冲输出的充电桩的有功电能的误差检测速度提高 10~1 000 倍,这是根据曲线图进行的估计,大大节约现场的检测时间,提高检测效率。对有硬件脉冲输出的充电桩,也可以使用本研究进行检测,本研究采用非接触式方式检测,安全可靠,通用性强。

4 结 论

本研究用被检电能表的量化值的上升沿来控制标准

电能表的启动和停止,被检电能表的量化值变成了上升沿的检测量化值,由于使用显微镜一秒钟 60 帧,其量化值固定为 16.67 ms(视频检测误差),因此,本研究把非固定值(和充电功率有关)的量化值变成了固定值量化值,前提是必须最少要走 0.01 kW·h,为了保证能够获取较好的准确度,检测时间取 60 s 或一个 0.01 kW·h 的时间取其大值。按照 60 s,其最大量化误差为 16.67 ms/60 ms=0.027 8%,也就是只需要 1 min 或一个被检电能表的量化值就可以达到 0.027 8%的准确度。本研究的不足之处还在于,交流充电桩在 0.35 kW 的功率时,0.01 kW·h 的电能在理论上需要走 0.01/(0.35)=0.028 h,但是实际所走时间往往会有误差,如何将该误差计算在理论估计值内,仍需进一步研究,在电能表具体运行过程中,也难以精确控制,虽然本研究进行了一定的改进,但仍需进一步研究和探索。

参考文献

- [1] 韩正新,乔耀华,孙阳,等. 基于图像识别的无人机输电线路绝缘子故障检测方法研究[J]. 现代电子技术, 179-181,186.
- [2] 王森,杜伟,孙鸿博,等. 基于红外图像识别的输电线路故障诊断方法[J]. 红外技术, 2017, 39(4): 383-386.
- [3] CHEN T Y, HOU C P, WANG Z P, et al. Anomaly detection in crowded scenes using motion energy model[J]. Multimedia Tools and Applications, 2018, 77(11): 14137-14152.
- [4] 李京,黄良,王博禹,等. 无人机定位下绝缘子劣化状态检测系统设计[J]. 电子设计工程, 2019, 27(19): 15-18,24.
- [5] 黄新波,章小玲,张焯,等. 基于径向基概率神经网络的输电导线缺陷状态识别[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(3): 201-210.
- [6] 钱金戈,徐丹,史豪杰. 图像识别技术在变电站屏柜运检中的应用[J]. 工业控制计算机, 2021, 34(3): 7-8,11.
- [7] 黄新波,杨璐雅,张焯,等. 基于图像增强的瓷质绝缘子灰密程度检测方法[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(14): 151-157.
- [8] 张鹏,杨涛,刘亚楠,等. 基于 CNN-LSTM 的 QAR 数据特征提取与预测[J]. 计算机应用研究, 2019, 36(10): 2958-2961.
- [9] 周全,李涛. 基于远程图像识别的景观设计合理性判断方法[J]. 现代电子技术, 2018, 38(4): 154-156.
- [10] KEEGAN N, JI S Y, CHAUDHARY A, et al. A survey of cloud-based network intrusion detection analysis [J]. Human-Centric Computing and Information Sciences, 2016, 6(1): 19.
- [11] 陈志新,董瑞雪,刘鑫,等. 基于深度学习的复杂分拆图像快速识别方法研究[J]. 电子技术应用, 2020, 39(2): 77-81.
- [12] LEYVA R, SANCHEZ V, LI C T. Video anomaly detection with compact feature sets for online performance [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2017, 26(7): 3463-3478.
- [13] LIU A, SU Y, NIE W, et al. Hierarchical clustering multi-task learning for joint human action grouping and recognition[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2017, 39(1): 102-114.
- [14] 黄玲,张智华. 基于深度学习的大规模图像高效识别算法研究[J]. 机床与液压, 2019(12): 57-62.
- [15] 陈春谋. 基于机器视觉与图像分割的工件表面残胶识别算法[J]. 电子测量技术, 2019, 42(15): 74-78.
- [16] 王延年,赵朗月,刘会敏. 基于混合颜色空间的反应孔图像分割算法研究[J]. 国外电子测量技术, 2017, 36(12): 20-23.
- [17] 刘磊,王冲,赵树旺,等. 基于机器视觉的太阳能电池片缺陷检测技术的研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2018, 32(10): 47-52.

作者简介

邹大中, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电动汽车充电基础设施建设及检测技术等。

E-mail: ugwqth67@21cn.com

李勋, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为电动汽车充电基础设施建设及检测技术等。

黄建钟, 本科, 高级工程师, 主要研究方向为电动汽车充电桩检测技术、智能变电站检测技术等。