

doi: 10.7690/bgzdh.2020.11.008

# 基于时间序列提取信号特征的通用自动标检软件开发

黄 蕾<sup>1</sup>, 张冀晔<sup>2</sup>

(1. 绵阳市维博电子有限责任公司生产运营部工艺室, 四川 绵阳 621000; 2. 海军装备部, 北京 100000)

**摘要:** 为推行精益生产, 提出一种基于时间序列提取信号特征值的通用自动标检软件开发的方法。从自动标定/检验工装通用架构及基于时间序列提取信号特征值 2 方面, 阐述基于多核多线程时间片轮转调度及依据既定信号类型, 基于分段时间序列借助约简算法快速提取信号特征值。结果表明: 该方法在既定时段能可靠完成约定产品的标定、检验与功能测试, 优化生产排程, 缩减约定产品生产周期。

**关键词:** 多核多线程; 时间片轮转调度; 时间序列; 提取信号特征; 均方根值; 时效性

**中图分类号:** TP311 **文献标志码:** A

## Development of Common Software for Auto-calibration/detection Based on Extraction of Signal Characteristic Values from Time Series

Huang Lei<sup>1</sup>, Zhang Jixian<sup>2</sup>

(1. Processing Room, Department of Production &amp; Operation, Mianyang Weibo Electronics Co., Ltd., Mianyang 621000, China; 2. Navy Equipment Department, Beijing 100000, China)

**Abstracts:** In order to carry out lean production, presents a method to develop common software for automatic calibration and detection, which is based on time series to extract the characteristic values of signals. This paper describes the common software from two aspects of general architecture for auto-calibration detection and extracting the characteristic values of signals based on time series. Describes the common software based on multi-core and multi-thread time-slice round-robin scheduling and the fast extraction of the characteristic values of signals based on segmented time series and reduction algorithm according to the given signal types. The results show that the method can complete the calibration, inspection and function test of the contract product in a certain period of time, optimize production schedule, so as to reduce the whole production cycle of the contract product.

**Keywords:** multi-core and multi-thread; time-slice round-robin scheduling; time series; signal characteristic values extraction; root mean square value(RMS); timeliness

### 0 引言

为适应当前电量传感器“机遇与挑战”并存的市场形势, 满足功能多样化产品供求, 我司采用定制产品多品种随市场订单生产结合货架产品大批量稳定生产的交替模式。由于市场变化给生产排程带来不确定性, 导致为赶进度而出现生产任务极重, 作业人员劳动强度极大的情况。为提高产品标定检验效率, 减轻作业人员劳动强度, 提供制造业信息化基础数据, 优化生产排程, 缩减产品生产周期, 均衡生产任务执行, 有效推行精益生产, 笔者基于时间序列提取信号特征, 并在此基础上结合多核多线程时间片轮转调度技术架构了通用自动标检软件平台, 目前已取得初步成效。

当前, 国内外一般采用万用表或示波器其中一种设备读出检验结果, 信号特征只能提取一种或几种, 不能充分评估检验结论及做趋势分析。这样就

导致标定/检验的局限性, 特别是针对我司主打货架产品室外移频系统配套工业电流互感器性能检验, 检验线性误差(信号有效值)的同时需根据二次侧负载电压(电流)波形测试其通频带特性<sup>[1]</sup>, 如果检验设备同时接入示波器及万用表, 一是检验工装较大, 成本较高; 二是系统复杂, 较难扩展与维护。基于上述考虑, 笔者所述的通用自动标检软件基于被测波形的全采样时间序列按需获取信号特征, 并针对不同信号类型约简算法, 较为完美地解决了同时测试线性精度及幅频特性的问题, 提高了工装使用的扩展性、通用性及易维护性。

### 1 自动标定/检验工装通用架构

自动标定/检验工装由硬件平台及支撑软件构成。如图 1 所示, 硬件平台通用架构由计算机及外设、电源装置、待标/检产品阵列(包括辅助设备, 如夹紧气缸、夹具、治具等)、多路输出继电器板(各

收稿日期: 2020-06-07; 修回日期: 2020-07-10

作者简介: 黄 蕾(1981—), 女, 四川人, 硕士, 高级工程师, 从事测控技术、工业自动化研究。E-mail: hwzcjxhl@126.com。

待测产品选通开关)阵列、多路输入/输出继电器板(电源、输入信号选通开关)阵列、信号发生装置(信号源/信号发生器)和信号监测装置(万用表/多路采集板集合)构成。

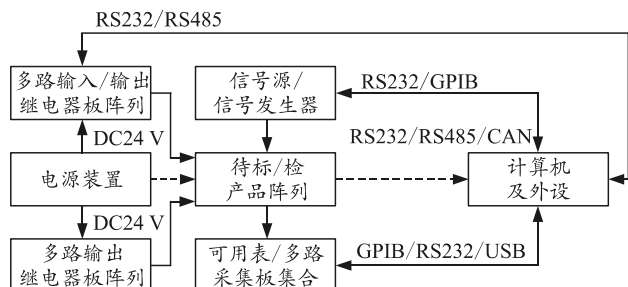


图 1 自动标定/检验工装硬件平台通用架构组成

为保证软件通用性、可扩展性与易维护性，支撑软件采用多线程技术，依据硬件平台功能模块将其划分为 Set\_SingalSource、scan\_Switch、Read\_multi、relay\_JD 及 Write\_Record 5 个线程。线程对应如表 1 所示。

表 1 支撑软件线程对应

序号	线程名称	作用硬件模块
1	scan_Switch	多路输入/输出继电器板阵列
2	Set_SingalSource	信号源/信号发生器
3	relay_JD	多路输出继电器板阵列
4	Read_multi	万用表/多路采集板集合
5	WriteRecord	计算机及外设

自动标定/检验工步的实现顺序如表 2 所示。

表 2 自动标定/检验工步实现顺序

序号	工步名称	作用线程
1	等待按下启动检验按钮	scan_Switch
2	检测尾号是否输入	WriteRecord
3	位(组)开多路输入/输出继电器板阵列相应输出通道，夹紧待标定/检验产品治具	scan_Switch
4	根据标定/检验流程设置信号源/信号发生器输出	Set_SingalSource
5	待信号稳定后，读出输入信号万用表监测示值	Read_multi
6	位(组)开多路输出继电器板阵列对应通道选通相应待标定/检验产品输出通路	relay_JD
7	读出并计算输出信号万用表/多路采集板集合监测示值	Read_multi
8	位(组)关多路输出继电器板阵列对应通道选通相应待标定/检验产品输出通路	relay_JD
9	待该只产品标定/检验结束后，记录基础数据	WriteRecord
10	待所有产品标定/检验结束后，置零信号源/信号发生器	Set_SingalSource
11	位(组)关多路输入/输出继电器板阵列相应输出通道，松开待标定/检验产品治具	scan_Switch

若选用多路采集板作为数据读出装置，表 2 中选通待标定/检验产品由单只产品位动作改为多只产品组动作。

结合图 1 可知支撑软件处理 3 类对象：相对慢速的 I/O 设备、文件系统及数据处理(算法)。目前主流计算机均为异步多核 CPU，即非阻塞处理。也就是说，操作系统不用等待操作关键 I/O 设备及文件系统完成，即可依序执行后续程序，而针对顺序执行自动标定/检验工步来说，必须人为加入触发事件来等待单次慢速操作完成，以避免重复操作关键 I/O 设备及文件系统，且慢速操作须用“临界区”(critical section)加锁保护<sup>[2-3]</sup>。触发事件一般为延时等待及信号特征值提取的算法处理。

基于时效性考虑，工步(线程)切换不能消耗过多 CPU 时间，需考虑基于多核线程调度。目前采用 Application->ProcessMessages()及 Sleep(0)语句实现时间片轮转调度<sup>[4-6]</sup>。

## 2 基于时间序列提取信号特征值

针对多只产品或多路交流电流、电压信号有效(特征)值的检测，采用万用表及多路继电器组合有以下 4 点弊端：

1) 经实测，万用表测量交流滤波时间至少为 1 s，通过 GPIB 接口获取到有效值数据至少为 2 s，继电器位动作至少为 1 s，则每个标定/检验点所费工时约为 4 s，导致时效性较差，满足不了大批量短期市场供货需求；

2) 多路继电器板位动作时伴随反向电动势产生，有可能引起被测波形失真，影响信号特征可靠提取；

3) 万用表测量待测波形真有效值，无法根据既定信号特征剔除噪声，导致信噪比较低时无法精准提取有效信号特征，从而影响自动标定/检验软件的通用性；

4) 针对幅频特性测试，通常需接入示波器，这样会导致系统庞大，局限性较大，不易扩展与维护。

基于上述 4 点考虑，笔者引入基于 USB3.0 通信协议的多路采集卡，基于时间序列提取信号的特征值。

结合我司货架产品分析知，自动标定/检验工装处理信号类型一般分为恒定直流信号、零点信号、开关量信号和正弦信号等 4 类，经由多路采集卡模数转换(analog to digital converter, ADC)后转化为时间序列，依据信号类型作合理约简，快速提取特

征值, 获得测量结果<sup>[7]</sup>。测算流程如图 2 所示。

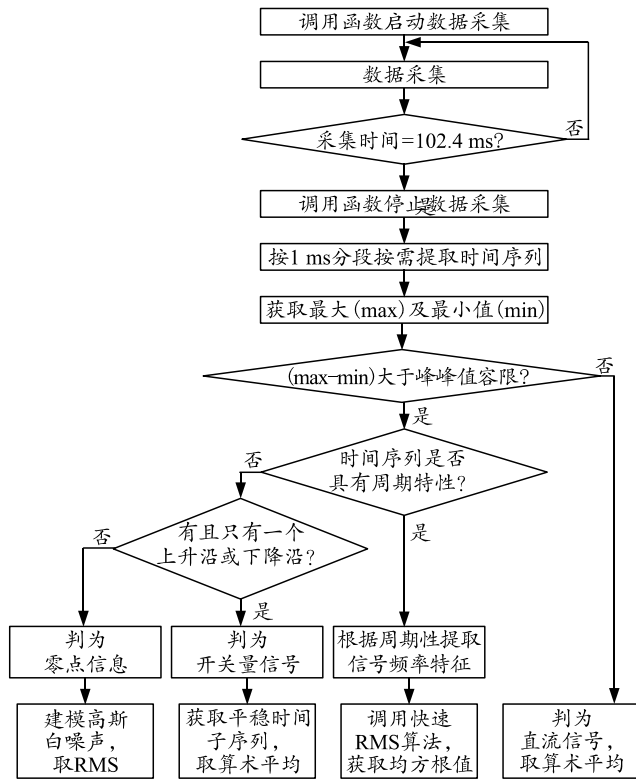


图 2 既定信号特征值测算流程

图 2 中, 因选用的 6 路 USB 接口数据采集卡 (阿尔泰科技 USB3106) 最大采样速率为 500 ksps/信号采集通道数, 采样时间间隔  $T_s$  最小为  $2 \mu\text{s} \times$  信号采集通道数, 存储器深度为 4 096 点先进先出 (first in first out, FIFO), 即时间序列长度最多为 4 096 点。若以  $T_s=2 \mu\text{s}$  计算测量时长为 8.192 ms, 结合 Windows7 系统及本软件多线程架构考虑, 时间片最小长度为 10 ms, 显然测量时长不满足多核多线程基于时间片轮转调度的最小时间间隔。由于我司货架产品处理信号的最高频率为 2 600 Hz, 根据奈奎斯特采样定理可知, 采样速率必须大于 5 200 sps, 此时  $T_s$  应小于 0.192 ms, 本软件中取  $T_s=100 \mu\text{s}$ , 采样速率取 10 ksps, 相应的测量时长取 102.4 ms。针对单通道信号采集来说, 完整时间序列长度为 1 024 个采样点, 结合存储器深度, 可同时最多测量 4 个通道 (即 4 个产品), 16 个通道可分时复用。若通过 USB 接口 1 次传输 1 024~4 096 个数据到计算机中, 数据吞吐量较大, 结合产品特征考虑, 以 3.2 ms (32~128 个采样点, 以 128 递增) 为基准分段传输, 可使软件运行效果达到最优。具体算法实现步骤为:

1) 调用库函数 DEV\_Create() 创建数据采集卡设备操作句柄。

2) 调用库函数 AI\_InitTask() 以 10 ksps 每信号采集通道数采样率, 连续采样模式初始化数据采集卡设备。

3) 调用库函数 AI\_StartTask() 启动数据采集卡设备。

4) 调用库函数 AI\_SendSoftTrig() 发送软件强制触发事件, 启动数据采集。

5) 调用库函数 AI\_WaitUntilTaskDone() 结束数据采集任务, 结合 win7 操作系统选取超时时间 fTimeout 取 102.4 ms。

6) 调用库函数 AI\_ReadAnalog() 获取由 128 个采样点构成的时间序列 fAnlgArray[128]。

7) 取时间序列中的最大 ( $V_{\max}$ ) 及最小 ( $V_{\min}$ ) 值。

8) 定义  $\Delta V_{pp}$  为峰值容限, 参照 50 Hz 零相位角度正弦信号 3.2 ms 处取值占峰值比例, 即取 0.84, 此处峰值用  $V_p = \max(\text{abs}(V_{\max}), \text{abs}(V_{\min}))$ ,  $V_p \geq 50 \text{ mV}$  近似, 则有  $\Delta V_{pp} = 0.84 \times V_p$ , 取  $V_{pp} = \text{abs}(V_{\max} - V_{\min})$ , 若  $V_{pp} > \Delta V_{pp}$ , 转 9), 若  $V_{pp} \leq \Delta V_{pp}$ , 且  $V_{\max}$  在产品准确度范围内为 0, 则判定为开关量信号, 转 6), 继续取点, 反之, 则判定为恒定直流信号, 取算术平均值为当前点标定/检验结果。

9) 求  $V = \text{abs}(V_{\max} + V_{\min})$  是否在产品准确度范围内为 0, 若为 0, 则判定信号为周期正弦波信号, 且信号频率大于 1 000 Hz, 根据正弦波有效值与峰值关系  $V_{\text{RMS}} = V_{\max} / 1.414$ , 求出信号有效值; 若不为 0, 则假定信号为周期正弦波信号, 且信号频率为 50 或 60 Hz, 转 10)。

10) 设定采集通道用 CH 表示, 且取值范围为 0~3, 则针对所有采集通道对应的分段时间序列均取序号为 14 和 15 的电压值  $V_{[14]}$  及  $V_{[15]}$ 。笔者选用的数据采集卡分辨率为 12 bit, 依据单通道以 10 ksps 最大采样速率采集模拟量输入 (AI) 信号, 可按下式求取

$$\Delta V = (V_{[14]} - V_{[15]}) / T_s, T_s = 100 \mu\text{s} > 1.55 \mu\text{s}, \quad (1)$$

若  $\Delta V < 0$ , 则选取  $V = V_{\min}$ , 反之, 则选取  $V = V_{\max}$ , 代入式 (1) 快速算出信号有效值<sup>[7]</sup>。

$$V_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{V^2 + \left(\frac{\Delta V}{2 \times \pi \times f}\right)^2}{2}}, f = 50, 60 \text{ Hz}. \quad (2)$$

再根据正弦波有效值与峰值关系  $V_{\text{RMS}} = V_{\max} / 1.414$  求出信号峰值  $V_{\max}$ , 代入式 (3) 验算  $V_{[14]}$ 、 $V_{[15]}$  及  $V$ , 若验算合格, 则输出该有效值, 反之, 转 6) 继续取点;

$$V = V_{\max} \times \sin(2 \times \Pi \times f \times t + \phi)。$$
 (3)

11) 若 102.4 ms 时间序列均分析完毕，仍无合适的结果输出，且  $V_{\max} < 50$  mV，则判定为零点信号。建模高斯白噪声，利用短时自相关函数估算功率谱以提取 RMS 值<sup>[9-10]</sup>；反之，判该点标定/检验不合格。

针对 2 000 Hz 正弦波形，该通用软件提取信号有效值准确度优于 0.2 级。与 6 位半数字万用表 Fluke 8845A 对比测试结果如表 3 所示。

表 3 与数字万用表对比测试结果

序号	数字万用表表示值/V	通用软件提取信号有效值/V	相对误差/%
1	1.025	1.024	-0.10
2	2.036	2.032	-0.20
3	3.046	3.041	-0.17
4	4.005	4.013	0.20
5	5.013	5.019	0.12
6	6.015	6.005	-0.17
7	7.089	7.098	0.13
8	8.067	8.052	-0.18
9	9.021	9.034	0.14
10	10.032	10.016	-0.16

### 3 结束语

笔者以通用自动标检软件框架为基础，阐述了基于时间序列提取信号特征，提供了一套适配我司多款模拟量货架产品自动标定/检验完备的解决方案，具有较显著的工程应用价值。该软件的开发借鉴了多核多线程时间片轮转调度及分段时间序列分

\*\*\*\*\*

(上接第 26 页)

另一方面，公司的枪弹制造历经几十年的发展，累积了大量的枪弹制造和管理经验的软实力，结合与其匹配的软件系统，才使枪弹智能化制造系统如臂使指。

### 参考文献：

[1] BORGIA, ELEONORA. The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues[J]. Computer Communications, 2014, 54: 1-31.  
 [2] KAGERMANN H, WAHLSTER W, HELBIG J. Securing the future of German manufacturing industry:

析技术，具有通用性，同样适用于大部分产品的功能测试与合格判定。

### 参考文献：

[1] 鲁彦青, 范圣韬, 李夏青. 测量工业电流互感器频率特性的新方法[J]. 北京石油化工学院学报, 2009, 2(17): 45-48.  
 [2] 武浩. 基于消息传递系统的多线程并发对象模型[D]. 武汉: 华中科技大学, 2004: 25.  
 [3] 石效存, 张鑫诚. 临界区机制剖析与自定义实现[J]. 计算机与现代化, 2014(2): 222-225.  
 [4] 高金华. 基于多核的任务调度研究与实现[D]. 长沙: 中南大学, 2010: 13-14, 23.  
 [5] 张培辉, 黄一敏. 多线程和 UDP 在等效飞行控制软件中的应用[J]. 兵工自动化, 2012, 31(2): 85-92.  
 [6] 卫洪春. 线程间一种高效的消息传递方法研究[J]. 现代电子技术, 2015, 14(38): 56-60.  
 [7] 黄蕾. 基于道岔转辙机动作功率曲线关联分析道岔故障[J]. 兵工自动化, 2017, 36(10): 29-33.  
 [8] 李元熙, 杨国华, 邹修国. 基于快速 RMS 算法的低压保护器自恢复设计[J]. 电子技术应用, 2017, 43(3): 51-54.  
 [9] 饶彬, 屈龙海, 肖顺平, 等. 基于时间序列分析的弹道目标进动周期提取[J]. 电波科学学报, 2011, 26(2): 291-296.  
 [10] 曹杨. 基于压缩感知观测序列的语音信号基音周期提取[J]. 电讯技术, 2013, 53(10): 1327-1330.  
 Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0[J]. Final report of the Industrie, 2013, 4: 1-84.  
 [3] 周济. 智能制造：“中国制造 2025”的主攻方向[J]. 中国机械工程, 2015, 26(17): 2273-2284.  
 [4] 黄群慧, 贺俊. 中国制造业的核心能力，功能定位与发展战略：兼评《中国制造 2025》[J]. 中国工业经济, 2015(6): 5-17.  
 [5] 胡玲凤, 滕兆斌. 面向企业的 CAD/CAM/CAPP/PDM/ERP 集成系统[J]. 新技术新工艺, 2001(6): 2-4.  
 [6] KUL'GA K S, GIL'FANOV R R. Integration of CAD/CAM/ PDM/MES and ERP systems[J]. Russian Engineering Research, 2008, 28(2): 169-172.