

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2019.05.012

基于 S7-1200 AD 采样的高效数字滤波算法的设计与实践

陈明方, 刘金鑫, 张永霞, 葛天佑, 臧家秀, 陈浩

(昆明理工大学机电工程学院, 昆明 650500)

摘要:针对西门子 S7-1200PLC 的 AD 采样过程中, 因外界干扰、传感器采样数据扰动等原因导致的采样数据抖动问题, 基于最小均方(LMS, least mean square)原理, 设计了一种改进型加权平均数字滤波算法。在 1200PLC 中通过 SCL 语言编制对应的滤波算法程序, 对 AD 采样的数据进行数字滤波。通过设计强干扰环境下的 AD 采样实验证明: 该数字滤波算法高效、可靠, 采样数据稳定、准确。

关键词:AD 采样; 权重; 最小均方原理

中图分类号:TP271+.4

文献标志码:A

文章编号:1000-582X(2019)05-108-11

Design and practice of an efficient digital filter algorithm based on S7-1200 AD Sampling

CHEN Mingfang, LIU Jinxin, ZHANG Yongxia, GE Tianyou, ZANG Jiaxiu, CHEN Hao

(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, P. R. China)

Abstract: In the AD sampling process of Siemens S7-1200PLC, sampling data jitter is caused by external interference and sensor sampling data disturbance. Based on the principle of Least Mean Square (LMS), an improved weighted average digital filtering algorithm is designed in this paper. In 1200PLC, the corresponding filter algorithm program is compiled by SCL language to filter the sampled data of AD. An experiment is done on the AD sampling under a strong interference environment, and the sampling data is stable and accurate, proving that the digital filtering algorithm is efficient and reliable.

Keywords: AD data acquisition; weight coefficient; principle of LMS

收稿日期:2018-11-30

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC1702503); 云南省重大科技专项(2017RA010); 昆明理工大学引进人才科研启动基金项目(KKZ3201601002)。

Supported by the National Key Research and Development Plan Project (2017YFC1702503), Major Science and Technology Project in Yunnan Province (2017RA010) and Kunming University of Science and Technology Introduces Talent Research Start-up Fund Project (KKZ3201601002).

作者简介:陈明方(1975—), 男, 副教授, 博士, 主要从事机器人控制算法与复杂机电系统集成及应用等研究, (E-mail)mfchen111@sina.com。

在工业控制中,常常会伴随大量的模拟量数据采样。模拟量采样时,由于待采量本身、传感器和传输过程中的外界干扰,特别是非稳态干扰信号等因素的影响,采样值中通常含有各种周期性和非周期性的噪声和干扰。为得到稳定、准确的测量值以便实现精确控制,必须消除被测信号中的各种噪声和干扰。在广泛使用的工业控制器 S7-1200 序列 PLC(programmable logic controller)中,可通过启用 PLC 自身 AI(analogy input)端口的滤波器功能,再配合另行设计的数字滤波,也可借助外部滤波设备以最大限度去除噪声和干扰。

数字滤波器具有以下优点:精度与准确度高;可编程性与适应性好;相位与延迟控制精确;鲁棒性好;与其他数字子系统兼容性好;成本低、功耗小;可靠性、可复用性好^[1]。常用的数字滤波算法主要有算术平均值滤波、加权平均值滤波^[2-3]、滑动平均值滤波^[4]、中值滤波^[5-7]、程序判断滤波等。对于 PLC 中的 AD(analog to digital)采样滤波需要结构简单、高效、可靠的滤波算法,其中算术平均值滤波、加权平均值滤波、中值滤波可适用。中值滤波算法最为简便,但可靠性不如前两者;算术平均值滤波较加权平均值滤波算法计算步骤少,但滤波结果可靠性不如后者。为降低成本,提高控制精度,一种高效、简单的数字滤波器设计在工业应用中是非常必要的。

1 适用于 PLC 的典型数字滤波器

数字滤波器主要有两大类:一类是有限冲激响应(FIR, finite impulse response)滤波器;另一类是无限冲激响应(IIR, infinite impulse response)滤波器^[8]。其中,FIR 滤波器结构简单,在许多情况下是最为重要的数字滤波器。常见的 FIR 滤波器设计方法有窗函数法^[9-10]、最小均方(LMS, least mean square)法^[10-13]、等波纹设计法^[14-15]等。

S7-1200 属于小型 PLC,是使用较为广泛的工业控制器,其编程语言包括梯形图(LAD, ladderlogic programming language)、函数块图(FBD, function block diagram)、结构化控制语言(SCL, structured control language)3种。其中,LAD 是图像型描述性语言,形象而直观,类似于继电器控制原理,易于掌握和开发^[16];函数块图 FBD 使用类似于数字电路的图形逻辑符号来表示控制逻辑,鲜有人使用;结构化控制语言 SCL 是一种基于 Pascal 的高级编程语言,尤其适用于数据管理、过程优化配方管理、数学计算等。

文中需在一定时间内连续采样,不宜使用梯形图编程。采用 Siemens STEP 7 编程软件中的 SCL 语言对西门子 1200PLC 进行编程,可实现一定时间内连续采样,并通过滤波计算后输出,使用更灵活、方便。

对于模拟信号,经过采样和 A/D 变换后得到的数字序列,数据处理速率要求很高,因此,需要结构简单、高效的数字滤波器。

以下几种数字滤波器设计方法适用于 PLC。

1.1 窗函数设计法

窗函数法亦称傅里叶级数法,属于一种在时域设计 FIR 数字滤波器的方法,是最简单最普遍使用的方法。

对于理想低通滤波器具有非因果脉冲响应,即:

$$h(t) = \sin\left(\frac{\pi t}{2}\right) / \pi t. \quad (1)$$

式中: $h(t)$ 为脉冲响应函数。此滤波器在时域中持续时间无限长,在物理上无法实现。式(1)所示的理想脉冲响应在有限区间可近似。利用 N 点采样矩形窗或取样函数 $\omega_N(t)$ 可从理想脉冲响应中提取并得到有限 N 点采样的近似脉冲响应。

$$\omega_N(t) = \begin{cases} 1, & |t| \leq \frac{(N-1)}{2}, \\ 0, & \text{其他。} \end{cases} \quad (2)$$

式中, $\omega_N(t)$ 为矩形窗的取样函数,可应用于定义一个有限区间的时间序列 $h_N(t) = \omega(t) \times h(t)$ 。由于 $h_N(t)$ 在时间轴的负半轴取值,因此, $h_N(t)$ 是非因果型窗口滤波器,不能应用于实时领域。为了将有限非因果型 FIR 转换为因果型 FIR,取样窗口内的脉冲响应曲线在时间轴上右移 $L = (N-1)/2$ 个采样周期,由此产生的因果脉冲响应为

$$h_c(t) = \frac{\sin\left(\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(t - \frac{N-1}{2}\right)\right)}{\pi\left(t - \frac{N-1}{2}\right)}, t = 0, 1, 2, \dots, (N-1). \quad (3)$$

式中, $h_c(t)$ 为因果脉冲响应函数。由于是对 $h_N(t)$ 进行开窗口操作, 所以这种设计方法称为窗函数法。所谓开窗口即把信号的观察时间限制在一定的时间间隔内, 对其进行分析, 取有限个数据。对信号数据截断的过程, 也就等于将信号进行加窗函数操作。窗函数不仅会影响原信号在时域上的波形, 也会影响到频域内的形状。

常用的窗函数很多, 例如矩形窗、三角窗、Hanning 窗、Poisson 窗, 等等。窗函数在光谱分析、滤波器设计以及音频数据压缩等方面有着广泛的应用。窗函数滤波器设计法可应用于频谱分析、功率谱分析等信号处理中。对于具有时变性的 AD 采样数据, 该滤波器结构过于复杂、计算量大、输出信号会有明显的滞后, 故不推荐使用此方法。

1.2 最小均方设计法

最小均方(LMS)设计准则是使误差平方最小化, 通过最小化误差信号的均方值来修正滤波器系数, 模拟所需理想滤波器, 是一种算法简单、应用广泛的自适应滤波算法。

在求解超定方程组时, 通过最小二乘法使每个方程产生的误差平方和最小。经典的最小二乘估计方法可以用于解决 FIR 滤波器设计问题。考虑按加权最小平方误差的要求, 需设计一个线性相位 FIR:

$$\sigma = \sum_{i=1}^K \{W(\omega_i)[e(\overline{\omega}_i)]\}^2 = \sum_{i=1}^K \{W(\overline{\omega}_i)[H(\overline{\omega}_i) - H_d(\overline{\omega}_i)]\}^2, \quad (4)$$

式中: $H(\overline{\omega}_i)$ 为 FIR 滤波器的复频响应; $H_d(\overline{\omega}_i)$ 为期望 FIR 滤波器的复频响应; $W(\omega_i)$ 为第 i 个频率点 $\overline{\omega} = \overline{\omega}_i$ 的误差权重, $W(\omega_i) \geq 0$ 。

误差权值 $W(\omega_i)$ 是 LMS 法区别于窗函数的特征之一。与窗函数相比, 权值能够提高重要频率段的比重, 降低非重要频率段的影响。

1.3 滑动平均滤波器

滑动平均 FIR 滤波器, 属于无乘法器 FIR 滤波器的一种, 是在时域输出 N 个连续采样的平均值。其传递函数为

$$H_{MA}(z) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} z^{-m} = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{\infty} z^m = -\frac{1}{N} \sum_{m=0}^{-\infty} z^m = \frac{1}{N} \frac{1}{1-Z^{-1}} - \frac{1}{N} \frac{Z^{-N}}{1-Z^{-1}} = \frac{1}{N} \frac{Z^{-N}}{1-Z^{-1}} = \frac{1}{N} \frac{(Z^{-N}-1)}{Z^{N-1}(Z-1)}. \quad (5)$$

滑动平均值法把 N 点采样数据看作一个队列, 队列长度固定为 N , 每进行一次采样, 把其放入队尾, 同时舍去队首数据, 这样队列中始终有 N 个“最新”数据。计算滤波值时, 把队列中的 N 个数据进行平均, 得到新的滤波值。

滑动平均值法对周期性干扰有良好的抑制作用, 平滑度高、灵敏度低, 但对非周期性的冲击干扰(如回路中有磁性负载的启停)、随机干扰抑制作用差。

文中的 A/D 采样处理时, 若采用此方法, 可使输出曲线更为平滑。但文中旨在一段时间内得到稳定、准确的输出值, 以便正确读取和模拟量换算, 因此, 不推荐使用该方法。

1.4 改进型加权平均法

基于 LMS 法, 提出一种改进型加权平均滤波算法, 相对算术平均滤波算法, 该方法增加采样值在平均值中的比重, 并且去掉若干疑似超调峰值(即将峰值权重配置为 0), 使输出有效值更接近实际值。

对于一个 N 项加权平均式为

$$Y = \sum_{K=1}^N C_K X(K), \quad (6)$$

其中加权系数 C_K 应满足:

$$\sum_{K=1}^N C_K = 1. \tag{7}$$

加权平均法适用于包含随机干扰信号的滤波,这种信号有平均值,对于温度、压力、液位等缓变量,可通过该方法快速获得稳定、准确的测量值。

文中对该算法加以改进,将在一定时间 ST 内采得的 N 个值存于数组 Y_1 中,对采样值进行排序,去除 N' 个最大值与最小值(即去掉了疑似超调的峰值),将余下采样值存储到一个新的数组 X_1 中,并计算加权系数 C_K ,计算加权平均值输出,实现在此段时间内模拟量采样值的数字滤波。依此类推进入下一次滤波循环,其滤波流程如图 1 所示。

改进后的算法整理为

$$Y = \sum_{K=1}^{N-2N'} C_K X_1(K), \tag{8}$$

式中:

$$C_k = \frac{I(k)}{\sum I(k)}, \tag{9}$$

其中, $I(k)$ 为数据 $X_1(K)$ 在采样组中出现次数。需注意,采样个数 N 应为偶数。

2 改进型加权平均滤波算法的可靠性分析

对于 S7-1200 等小型工业控制器,考虑到内存局限性及 AD 采样的时变性,所用滤波算法不宜过于复杂。可用算法有算术平均值滤波算法、加权平均值滤波算法、中值滤波算法。其中,中值滤波(即取采样值的中间值)结构最简单,但所得结果的可靠性相对较差。

2.1 各算法可靠性比较

为验证算法的有效性与可靠性,比较几种滤波算法的优劣,在 Matlab 中模拟各算法滤波效果。分别计算各算法滤波值,并根据 LMS 设计准则,计算各算法滤波值的误差平方和。

S7-1200PLC 采样模拟量为无符号型 0~27 648 的整数。在 Matlab 中随机生成元素个数为 500、范围为 [11 000,12 000]的数组,模拟一个采样周期内模拟量的连续采样值。在实际 AD 采样中,往往会有较大的随机干扰,即在采样值中会产生突变值。因此,在生成的数组中随机替代插入若干突变值。为了更清晰地比较改进型算法与未改进型原始算法、加权平均值算法与算术平均值滤波算法,另外加入一种去掉峰值的算术平均值滤波算法(改进型算术平均值滤波算法)。下面将算术平均值、加权平均值、改进型算术平均值以及文中所提出的改进型加权平均值 4 种滤波算法进行比较。

为了考虑权重因素,分别计算剔除峰值与未剔除峰值 2 组数据的加权系数,如图 2 所示。计算改进型加权平均值、算术平均值、改进型算术平均值、加权平均值,结果如图 3 所示。并将模拟数组 a1 与各滤波值绘制成线图,如图 4(a) 所示。

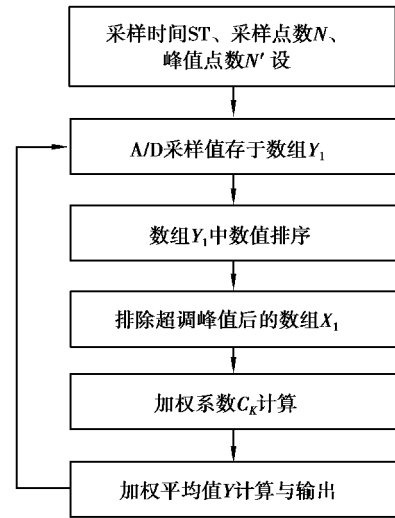


图 1 采样滤波流程

Fig. 1 The process of sampling and filtering

<pre> >>sn=0; for i=1:1:460 n(i)=0; for k=1:1:460 if ar1(k)== ar1(i); n(i)= n(i)+1; end end sn= sn+ n(i) end for m=1:1:460 C1(m)=n(m)/sn end (a) 去峰权重计算 </pre>	<pre> >>sn2=0; for i=1:1:500 n2(i)=0; for k=1:1:500 if ar2(k)== ar2(i); n2(i)= n2(i)+1; end end sn2= sn2+ n2(i) end for m2=1:1:500 C2(m)=n2(m2)/sn2 end (b) 未去峰权重计算 </pre>
--	--

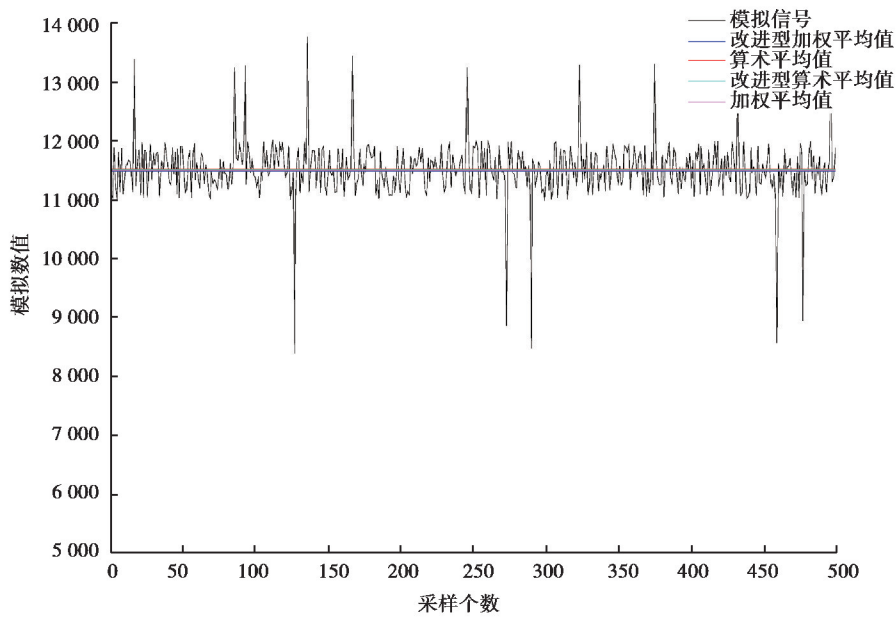
图 2 权重计算

Fig. 2 Weight calculation

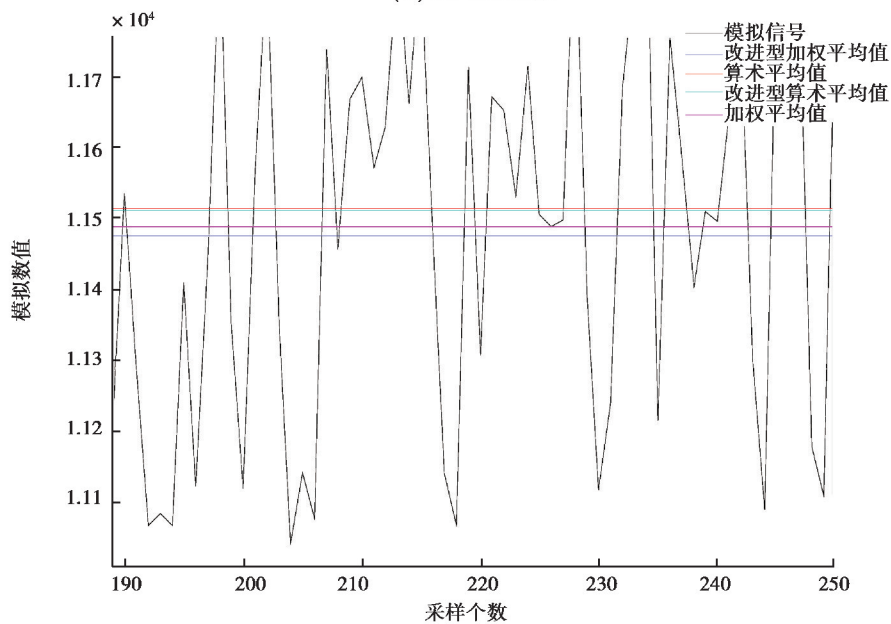
<pre>>>avg1=0; for i=1:1:460 avg1=avg1+(C1(i) × ar1(i)) end A1=round(avg1) avg1= 1.1476e+04 A1= 11476</pre> <p>(a) 改进型加权平均值</p>	<pre>>>s1=0; for i=1:1:500 s1=s1+ar2(i) end >>avg2=s1/500; >>A2=round(avg2); A2= 11514</pre> <p>(b) 算术平均值</p>	<pre>>>s2=0; for i=1:1:460 s2=s2+ar1(i) end >>avg3=s2/460; >>A3=round(avg3); A3= 11512</pre> <p>(c) 改进型算术平均值</p>	<pre>>>avg1=0; for i=1:1:500 avg4=avg4+(C2(i) × ar2(i)) end A4=round(avg4) avg1= 1.1488e+04 A1= 11488</pre> <p>(d) 加权平均值</p>
---	---	--	--

图 3 各算法计算值

Fig. 3 Calculated value of each algorithm



(a) AD模拟图像



(b) 局部放大

图 4 滤波值线图

Fig. 4 Filtered value curve

图 4(a)中,数据在一定范围内波动,且数据有较大峰值,基本符合 AD 数据采样实际情况。但各滤波数据值较为接近,需放大区分,如图 4(b)所示。从上至下依次为算术平均值、改进型算术平均值、加权平均值、改进型加权平均值。

基于 LMS 准则,需计算各滤波值误差平方和,考虑加权最小平方误差的要求,计算结果如图 5 所示。

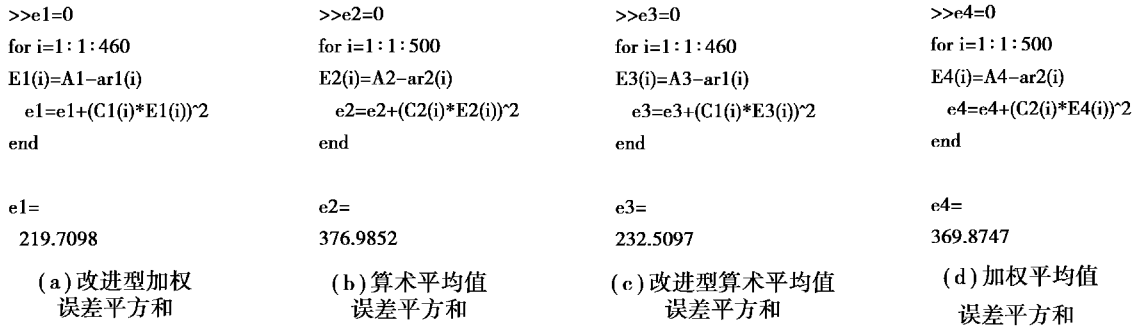


图 5 各算法误差平方和

Fig. 5 Error sum of squares for each algorithm

经验证 $e_1 < e_3 < e_2 < e_4$,改进型算法优于未改进型原始算法,加权平均值算法优于算术平均值算法,即改进型加权平均算法误差平方和最小。但由于加权平均值算法需要计算每个变量的权值,故算术平均值算法较加权平均值算法结构更为简单。在存储器空间允许的条件下,选择加权平均值更为理想,且改进后的算法去除了疑似超调的峰值,结果更为合理。

2.2 采样时间与采样个数对结果的影响

采样后对数据进行了大量运算,为验证 4 种算法的运算效率,将计算过程写成 FC(Function)块,并调用 RUNTIME 指令分别检查不同采样个数时的运算时间。4 种算法在不同采样个数时的运算时间为表 1 所示。

表 1 运算时间对比

Table 1 Operation time comparisonms

采样个数	改进型加权平均值运行时间/ms	加权平均值运行时间/ms	改进型算术平均值运行时间/ms	算术平均值运行时间/ms
50	15	3.5	12	0.9
60	24	10	17	1.0
70	40	20	23	1.1
80	58	33	29	1.3
90	80	48	35	1.5
100	110	69	41	1.8
110	130	93	49	2.0
120	180	117	56	2.3
130	210	147	67	2.4

S7-1200CPU 最大程序循环时间为 150 ms,超过其最大程序循环时间的 2 倍,即 300 ms 时,CPU 会停止运行。由于运算时间有一定范围的波动,为保证 CPU 正常运行,改进型加权平均值算法采样个数应保持在 130 个以内;加权平均值算法采样个数应保持在 160 个以内;改进型算术平均值算法采样个数应保持在 260 个以内;由于算术平均值算法无排序及计算权值过程,所用时间最少,采样个数可达 2 000 以上。

文中设计的数字滤波器在一个采样周期内其采样个数与采样周期时间均可自由设定。为比较一个周期内不同采样个数对滤波结果的影响,将 3.1 节方法中元素个数改为 300 和 100,并分别计算其滤波值以及各滤波值误差平方和,如图 6 所示。

```

e20=0
for i=1:1:260
E20(i)=ar2-a2(i)
e20=e20+(C2(i)*E20(i))^2
end

e20=333.3915
(a) 300元素误差平方和

e30=0
for j=1:1:60
E30(j)=ar3-a3(j)
e30=e30+(C3(j)*E30(j))^2
end

e30=592.3301
(b) 100元素误差平方和

```

图 6 不同元素误差平方和

Fig. 6 Error sum of squares of different element

经验证 $e_1 < e_{20} < e_{30}$, 即元素个数越多滤波值误差平方和越小, 在一个周期内滤波采样值越多所求滤波结果越准确。

综上所述,文中所提出的方法适用于存储空间足够,且模拟量变化率不是很快的时变系统。滤波周期与采样个数可根据实际情况进行设定。

3 S7-1200 PLC 中数字滤波器的设计

在程序块中建立一个 SCL 语言的 FC 块,在此 FC 块中编写滤波程序,供 main 主程序块中调用。另外,需要为其添加一个全局 DB(datablock)块,用于数据存储。

3.1 变量定义与功能分配

数字滤波器的变量定义如表 2 所示。

表 2 变量定义表

Table 2 Variable definition

变量名	变量类型	数据格式	功能说明	变量名	变量类型	数据格式	功能说明
in	Input	Int	输入点,与模拟量输入地址连接	I2	InOut	Array of Real	计算各项权重分母
N	Input	Int	模拟量采样点数	C	InOut	Array of Real	用于计算各项权值
N'	Input	Int	待去除的峰值点数	A	InOut	Array of Real	所求加权平均值
ST	Input	Time	采样周期,即每次滤波的时间段	S	InOut	Array of Real	用于计算加权平均值
avg	Output	Int	输出点,滤波后输出的模拟量	at0	Temp	Time	采样起始时间
I	InOut	Real	将采样数据转换为实数型	at1	Temp	Time	采样结束时间
array1	InOut	Array of Real	存储采样数据	B	Temp	Int	排序用中间变量
array2	InOut	Array of Real	存储采样去除峰值后的数据	n0~n9	Temp	Int	求和等循环语句用中间变量
I1	InOut	Array of Real	计算各项权重分子	K	Temp	Array of Real	计算变量重复次数用中间变量

加权平均值的计算过程可理解为一个求和过程,定义数组 $S[\#n9]$ 最后一个元素为所求加权平均值。此程序中数组限值均设置为 $0\sim 199$,即该数组元素个数为 200 个,若采样个数 $N\leq 200$,多余的元素可不计入运算;若采样个数 $N>200$,需要在编程时将此函数块对应数组限值扩大到需要值,如图 7 所示。

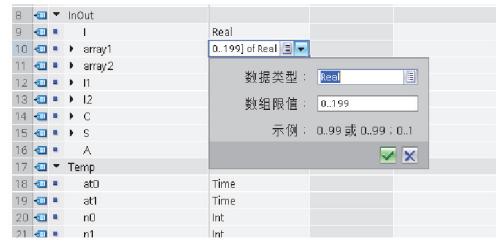


图 7 数组限值修改

Fig. 7 Array limit modification

3.2 基于 PLC 数字滤波器的关键环节

在编写程序前需在 main 主程序中调用定时器,供滤波程序使用,否则滤波程序中的定时器无法识别。此程序不可

编写为 FB(function block)函数块,在编写多个滤波程序时,需编写另一个 FC 块,并调用不同的定时器。

本程序中求和程序如下:

```
# S[0] := 0;
FOR # n9 := 1 TO # N-2 * # "N'" - 1 DO
    # S[# n9] := # S[# n9 - 1] + # C[# n9];
END_FOR;
```

本语句采用数组求和,而非实数型变量直接累加求和,若采用累加求和语句应为:

```
FOR # n9 := 0 TO # N-2 * # "N'" - 1 DO
    # S := # S + # C[# n9];
END_FOR;
```

此程序更简洁,但 PLC 中执行的求和结果数据变大,并不准确。原因在于 PLC 在执行“ $\#S := \#S + \#C[\#n9]$ ”时,会重复扫描执行多次,造成数值过大。若在指定时间段内执行该语句,所求值 S 将远超出实际所求值。文中所用数组求和的方法可避免该问题。

4 S7-1200 AD 采样实验与结果验证

4.1 程序可行性初步检验

通过 S7-12001214C DC/DC/DC PLC 自带 AI 接口接收电压信号,用直流稳压电源作为模拟量输入,手动调节来模拟采样时模拟量的变化。为方便观察,分别取 $N=10, N'=2, ST=5\text{ s}$,即在 5 s 内采样 10 个数据,分别剔除最大、最小值各 2 个,剩余 6 个数据求平均值输出。滤波程序设计流程如图 8 所示。

为检验采样数据是否排序以及选取情况,在该函数块 TEMP 变量中添加 REAL 实数型变量“1~10”“11~16”“21~26”。“1~10”记录与显示所采样数据排序后情况;“11~16”记录与显示排除疑似超调值后所选取数据情况;“21~26”记录与显示各项加权系数计算情况。

PLC 在线状态下,监视变量的赋值情况。表 3 为采样的变量由软件按升序排列的结果。表 4 为表 2 剔除最大、最小值后的结果。表 5 为各项加权系数设置,加权系数之和为 1。

经验证,此程序对采样数据排序情况正常,去除峰值结果正常,权重计算正常。达到此程序对计算上的要求。

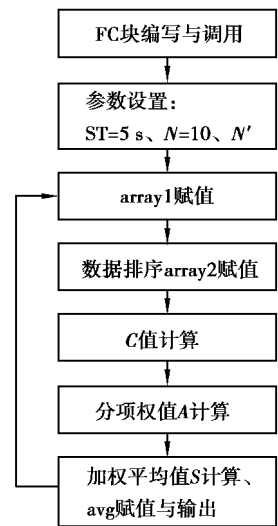


图 8 滤波流程

Fig. 8 Filtering process

表 3 排序检查

Table 3 Sorting check

变量名	数组名	变量值	变量名	数组名	变量值
1	array1[0]	5 618.0	6	array1[5]	6 403.0
2	array1[1]	5 627.0	7	array1[6]	6 485.0
3	array1[2]	5 900.0	8	array1[7]	6 924.0
4	array1[3]	5 972.0	9	array1[8]	7 218.0
5	array1[4]	5 972.0	10	array1[9]	7 235.0

表 4 数据选取检查

Table 4 Data selection check

变量名	数组名	变量值	变量名	数组名	变量值
11	array2[0]	5 900.0	14	array2[3]	6 403.0
12	array2[1]	5 972.0	15	array2[4]	6 485.0
13	array2[2]	5 972.0	16	array2[5]	6 924.0

表 5 权重计算

Table 5 Weight calculation

变量名	数组名	变量值	变量名	数组名	变量值
21	C1[0]	0.125	24	C1[3]	0.125
22	C1[1]	0.25	25	C1[4]	0.125
23	C1[2]	0.25	26	C1[5]	0.125

4.2 AD 采样实验与结果验证

课题组研制的一套温度调控装置,装置中含压缩机、变频器等强干扰负载,如图 9 所示。为检验此函数在实际 AD 采样的效果,此装置将温度传感器 PT100 检测到的实时温度值,经变送器模块转换成 4~20 mA 的电流信号,通过模拟量输入模块 SM1231 送给 1214PLC。将此滤波程序写入到 PLC 中,分别取 $N=100$, $N'=20$, $ST=2$ s,将 20 s 所采样数据与滤波值导入到 Matlab 中,生成图像便于观察与比较。如图 10 为所生成图像,红线为滤波前曲线,蓝线为滤波后曲线。

在实际工程应用中,为使传感器所测工程量在上位机中准确显示,需要对传感器进行标定。标定过程中读取模拟量时,数据抖动会给操作人员带来很大不便。一些环境下干扰较大,而通过自身 AI 端口滤波一般仅能滤除周期性的高频信号干扰,显然无法满足其稳定性要求。如果回路中存在大功率三相异步电机或伺服电机时,以及开关电源、电机启停等随机干扰情况下,仅靠 PLC 自身端口滤波器均无法滤除全部干扰信号。

图 10 为滤波前后模拟量采样值,从图上不难发现:经过文中的数字滤波器滤波后的曲线相比滤波前的曲线更为平稳,有效地解决了此过程数据抖动的问题。



图 9 温控设备

Fig. 9 Temperature control device

分别将滤波前后的模拟量计算为实际温度后导入到 Matlab 中,并生成实际温度滤波线图,如图 11 所示,其中红线为滤波前曲线,蓝线为滤波后曲线。

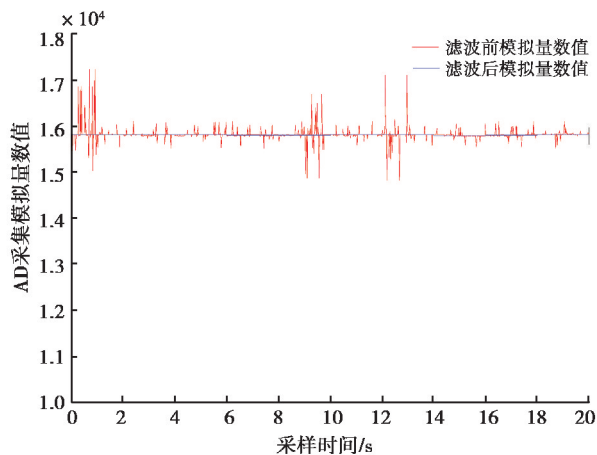


图 10 模拟量滤波曲线

Fig. 10 Analog filter curve

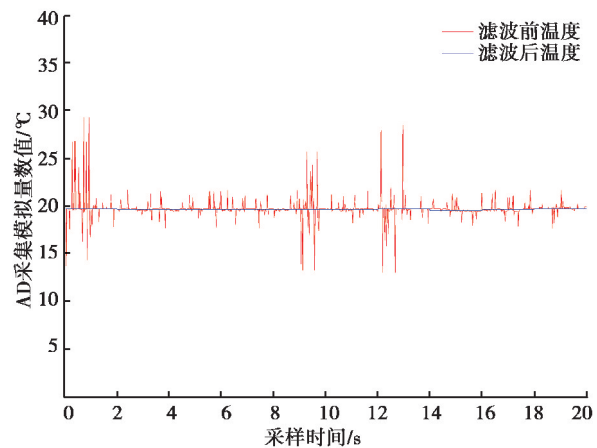


图 11 实际温度曲线

Fig. 11 Actual temperature curve

在实际工程应用中所测工程量一般在上位机显示,或程序内进行逻辑判断。以文中温度为为例,抖动过大不宜操作人员读取,而在比较精准的控制程序中,亦不利于程序判断,特别在临界温度判断有可能造成程序判断上的错误。经滤波后曲线更为平稳,从读取上更直观,也可避免程序判断上的错误。

5 结束语

针对西门子 1200 序列等工业控制器 PLC,在模拟量 AD 采样与数据处理过程中,针对外界干扰所引起的扰动,设计了一种新型数字滤波器。由于控制器自身 AI 端口滤波无法确保采样数据平稳的要求,增加外部滤波器时又提高了设备的成本、电路变得复杂。采用的滤波算法使用 SCL 语言编程,解决了常用梯形图方法采样与处理多个模拟量过于繁琐的问题;使用数组求和方法,解决了累加求和由于程序重复扫描无法求出正确值的问题。该方法中数据采样点数与滤波周期可调,为工业上模拟量的采样提供了一种简单、可靠、高效、实用而灵活的方法,又无需增加外部设备,节约了成本。由于剔除了若干最大与最小值,对于干扰多、波动大的模拟量提供了更为稳定可靠的数据。

但文中的算法有以下几点不足:

- 1) 滤波周期内采样数据量不宜过大,否则在周期时间内 PLC 无法完成数据运算,会发生运行错误;
- 2) 因算法采用数组存储采样和运算数据,考虑 PLC 存储空间限制,所以总体数据量不宜过大。
- 3) 因算法程序调用了定时器,故而无法编写为 FB 块,在多路 AD 采样时需编写多个 FC 块并调用不同的定时器。
- 4) 由于该算法需连续采样多个值后进行加权运算,有一定滞后,在实时性要求较高的场合不宜使用,比如振动、速度、加速度信号的采样等。

因此,下一步研究工作重点在于寻求一种更为简便的方法,以节省更多的存储空间;为统一滤波时间的程序寻求一种可以编写为 FB 块的方法,应用将会更为简便;寻求一种新的采样与计算方法,以便适于变化频率较快的数据采样。

参考文献:

- [1] 泰勒. 数字滤波器原理及应用(借助 MATLAB)[M]. 程建华, 袁书明, 译. 北京: 国防工业出版社, 2013.
Fred J. Digital filters principles and applications with MATLAB[M]. CHENG Jianhua, YUAN Shuming, translate. Beijing: National Defense Industry Publishing House, 2013.
- [2] Panetta K, Bao L, Aгаian S. Sequence-to-sequence similarity-based filter for image denoising[J]. IEEE Sensors Journal,

- 2016, 16(11): 4380-4388.
- [3] Hong Y, Shi T L, Wang X, et al. Weighted adaptive spatial filtering in digital holographic microscopy[J]. Optics Communications, 2017, 382: 624-631.
- [4] 程兰,王志远,陈杰,等.基于粒子滤波和滑动平均扩展 Kalman 滤波的多径估计算法[J].电子与信息学报,2017,39(3): 709-716.
CHENG Lan, WANG Zhiyuan, CHEN Jie, et al. An improved multipath estimation algorithm using particle filter and sliding average extended kalmanfilter[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2017, 39(3): 709-716. (in Chinese)
- [5] Erkan U, Gökrem L, Enginoğlu S. Different applied median filter in salt and pepper noise[J]. Computers & Electrical Engineering, 2018, 70: 789-798.
- [6] Kang X G, Stamm M C, Peng A J, et al. Robust median filtering forensics using an autoregressive model[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2013, 8(9): 1456-1468.
- [7] 胡妍,王柯俨,许宁,等.利用分割中值滤波和透射率补偿的图像去雾[J].西安电子科技大学学报(自然科学版),2018,45(4):99-105.
HU Yan, WANG Keyan, XU Ning, et al. Image dehazing by thesegmenting median filter and transmission compensation[J]. Journal of Xidian University (Natural Science), 2018, 45(4): 99-105. (in Chinese)
- [8] 常乃超,刘思旭,余高旺,等.动态条件下同步相量测量装置的数字滤波器及计算优化[J].电力系统自动化,2017,41(20): 92-96.
CHANG Naichao, LIU Sixu, YU Gaowang, et al. Digital filter and computational optimization of synchronized phasor measurement unit under dynamic conditions [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(20): 92-96. (in Chinese)
- [9] Wang J, Meng X H, Liu H, et al. Optimization of finite difference forward modeling for elastic waves based on optimum combined window functions[J]. Journal of Applied Geophysics, 2017, 138: 62-71.
- [10] 曹磊,赵庆生,王旭平,等.基于改进泰勒加权最小二乘法的相量测量算法[J].电力系统保护与控制,2018,46(7):24-30.
CAO Lei, ZHAO Qingsheng, WANG Xuping, et al. A phasor measurement algorithm based on improved Taylor weighted least squares[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(7): 24-30. (in Chinese)
- [11] Jin D Q, Chen J, Richard C, et al. Model-driven online parameter adjustment for zero-attracting LMS[J]. Signal Processing, 2018, 152: 373-383.
- [12] 赵知劲,金明明.基于块自适应滤波的核最小均方算法[J].计算机工程,2017,43(9):162-166.
ZHAO Zhijin, JIN Mingming. Kernal least mean square algorithm based on block adaptive filtering[J]. Computer Engineering, 2017, 43(9): 162-166. (in Chinese)
- [13] Tobar F A, Kung S Y, Mandic D P. Multikernel least mean square algorithm[J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2014, 25(2): 265-277.
- [14] Falissard F. Chebyshev-like generalized Shapiro filters for high-accuracy flow computations[J]. Journal of Computational Physics, 2017, 336: 595-607.
- [15] 刘佳,唐小明,宋洪良.基于分布式协同模式的 MTI 滤波器设计与仿真[J].现代电子技术,2017,40(17):79-82.
LIU Jia, TANG Xiaoming, SONG Hongliang. Design and simulation of MTI filter based on distributed cooperation mode[J]. Modern Electronics Technique, 2017, 40(17): 79-82. (in Chinese)
- [16] 邱盛成,蔡启仲,李克俭,等.PLC 梯形图转化为多操作数逻辑指令的设计与实现[J].计算机测量与控制,2016,24(6):202-205,217.
QIU Shengcheng, CAI Qizhong, LI Kejian, et al. Design and realization of transformation from PLC ladder diagram to multiple operands logic instruction[J]. Computer Measurement & Control, 2016, 24(6): 202-205,217. (in Chinese)