

文章编号: 1674-8085(2016)01-0001-05

数控机床能耗多通道监测系统的数据处理研究

*兰 宇¹, 张为民^{1,2}, 刘朝晖^{2,3}

(1. 同济大学中德学院, 上海 201804; 2. 同济大学机械与能源工程学院, 上海 201804; 3. 井冈山大学机电工程学院, 江西, 吉安 343009)

摘 要: 针对使用多通道监测系统监测数控机床能耗信息时存在的信号干扰、采样率不同等问题, 提出了一种基于软件编程的数据预处理方法。通过设计低通滤波器, 对采集信号进行滤波处理, 消除数控机床加工过程中采集信号振动较大、干扰噪声较多的问题。对于个别系统的采样率不同, 利用重采样技术改变其采样频率, 获得新的采样序列。根据数控机床切削和空载转换时采集信号的突变, 运用多阈值分割算法, 基于 Matlab 编程获取其突变特征点, 并以此为基准实现不同采集系统之间的数据同步。研究表明, 运用上述方法对采集信号数据进行预处理, 为后续分析数控机床能耗信息带来了极大的便利。

关键词: 多通道; 滤波; Matlab; 重采样; 数据同步

中图分类号: TG659

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1674-8085.2016.01.001

DATA PROCESSING RESEARCH OF MULTI-CHANNEL ENERGY CONSUMPTION MONITORING SYSTEM FOR CNC MACHINE TOOL

*LAN Yu¹, ZHANG Wei-min^{1,2}, LIU Zhao-hui^{2,3}

(1. Sino-German School for Postgraduate Studies, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. School of Mechanical Energy Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China; 3. School of Mechanical and Electrical Engineering, Jinggangshan University, Ji'an, Jiangxi 343009, China)

Abstract: Aiming at problems such as signal interference and different sampling rates using a multi-channel monitoring system to monitor the energy consumption information of CNC machine tools, we propose a data preprocessing method based on the software programming. Through the design of a low-pass filter for filtering the signal, we eliminate some problems caused by vibration and interference noise in the CNC machining process. For the different sampling frequency of individual acquisition system, we adopt resampling technology to change its sampling frequency and gain new sampling sequence. According to the signal mutation by the conversion of cutting and no-load process of CNC machine tools, we apply multi-threshold segmentation algorithm and Matlab programming to obtain the feature point of the signal mutation, and taking it as a benchmark to realize data synchronization between different acquisition systems. Research indicates that the above methods for data preprocessing can bring great convenience for analyzing the energy consumption information of the machine tool.

Key words: multi-channel; filtering; Matlab; resampling; data synchronization

0 引 言

随着能源的日益短缺, 节能减排的重要性显得尤为突出。我国机床量大面广, 能耗总量巨大, 且

机床有效能量利用率低, 大约只有 30%^[1]。因此, 提高数控机床的能量利用率^[2]可以很好的推动其节能减排。数控机床能耗信息的有效监测是评估其能量利用率的一个重要手段。因此, 在制造业中, 为

收稿日期: 2015-08-13; 修改日期: 2015-12-14

作者简介: *兰 宇(1990-), 男, 安徽芜湖人, 硕士生, 主要从事机械加工技术研究(Email: Daniellan0911@126.com);

张为民(1965-), 男, 上海人, 教授, 博士生导师, 主要从事机械加工工艺研究(Email: iamt@tongji.edu.cn);

刘朝晖(1979-), 男, 江西安福人, 副教授, 博士生, 主要从事机械加工工艺研究(Email: jgsucad@126.com)。

研究数控机床能量利用率,实现数控机床节能减排的目标,就需要对机床切削加工过程中的能耗进行监测。

如图1所示,数控机床电能(E_i)从电网接入后,一部分用于冷却系统(E_{cool})、数控系统(E_{sys})等外围设备,另一部分用于机床伺服驱动系统(E_{iPSM})。伺服驱动系统输出电能(E_{oPSM})用于伺服模块(E_{iSVM})和主轴模块(E_{iSPM})分别驱动伺服电机(E_{oSVM})和主轴电机(E_{oSPM}),从而实现进给运动和主轴运动(E_{SP})。

在数控机床加工过程中,采用Fanuc公司的SERVO GUIDE软件,通过专用的PCMCIA网卡读

取主轴伺服控制器的TCMD和SPEED值,并由此计算出电机的伺服名义功率 P_{ST} ;采用HIOKI 3390-10功率分析仪测量主轴模块(SPM)的输入功率 P_{iSPM} 与输出功率 P_{oSPM} ,以及伺服模块(SVM)的输入功率 P_{iSVM} ;采用霍尔元件和电压夹钳测量机床输入功率 P_i 和电源模块(PSM)输入功率 P_{iPSM} ;采用Kistler 9129A测量仪测量切削力,并由此计算出切削功率 P_{SP} 。对比计算分析各通道采集的数据,即可获得数控机床的能耗信息。然而,由于多通道多系统监测,信号数据多且杂,同时会受到外界干扰。因此,有必要对采集的数据进行预处理,以方便后续的数据分析工作。

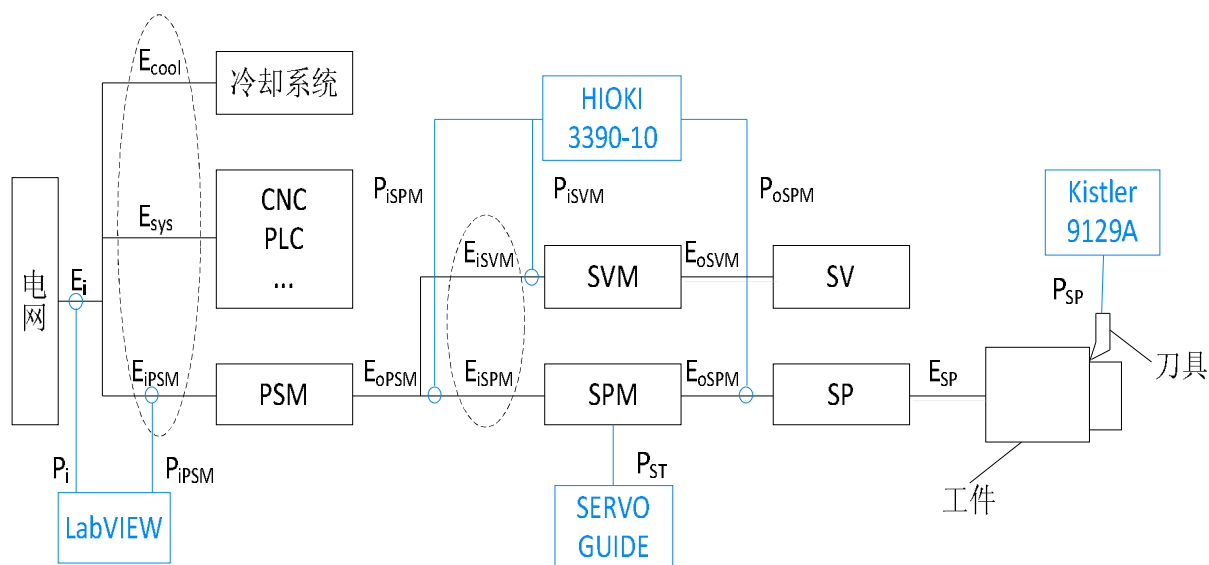


图1 数控机床能耗监测示意图

Fig.1 Energy consumption monitoring diagram of CNC machine tool

1 数据处理方案设计

大多数传统的信号监测系统包括多传感器装置,它基于同一数据采集平台,使用不同的传感器及其组合采集多路不同的信号。通过前期一系列的信号调理,将采集到的各种模拟信号转变成数据采集卡可以接收的电压信号,数据采集卡则把各路模拟信号转变成计算机可处理的数字信号^[3]。由于在同一采集平台下完成多路不同信号的采集工作,各信号的采样频率一般是相同的。此外,当监测系统开始工作时,各通道传感器同时采集信号,即同步采集,因此各路信号采集的时间起始和结束点是一致的。在后续的数据分析与处理时,只是运用滤波

算法消除干扰信号,而不涉及某一信号的采样频率改变以及各路信号采集时间同步处理的问题^[4]。但是,遇到需要多系统多通道采集不同物理量的其他复杂情况时,例如研究数控机床的能耗,这类采集系统及数据处理方法将不能满足要求。因此,针对多通道多系统数据采集与数据处理问题,本文提出一种数据处理方案。

数控机床在进行金属切削加工过程产生的振动和噪声会干扰信号的采集;而不同信号的多通道多系统采集存在着采样率不同和采集不同步的问题。针对上述问题,以数控机床的能耗监测为例,现提出如下数据处理方案(图2)。

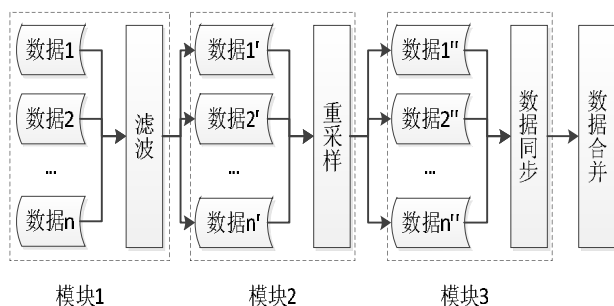


图2 数据处理方案

Fig.2 Data processing scheme

上述方案中有3个模块：模块1：滤波。针对信号中的噪声干扰，设计合适的滤波器进行滤波处理；模块2：重采样。针对采集系统间采样率的不一致，选择重采样算法，改变其采样率，获得新的采样序列；模块3：数据同步。解决所采集的信号在时间上的不同步问题。经过上述3个模块处理后，将所得的新数据合并绘图，并进行后续分析。

2 数据处理模块设计

2.1 信号滤波

系统采集的数据信号为低频信号，其干扰信号为系统及环境噪声（单位为dB），需要使用低通滤波器进行滤波。实际使用的低通滤波器有巴特沃斯滤波器^[5]、切比雪夫滤波器^[6]和椭圆滤波器^[7]。其中，巴特沃斯滤波器的频率特性在通带和阻带内部都是随频率单调变化的；椭圆滤波器在通带和阻带内均成等波纹振荡，并具有最窄的过渡带，其性质比较优越，但其传递函数不仅有极点，而且在 $j\Omega$ 轴上还有零点，因此，其设计比较复杂；切比雪夫滤波器的振幅具有等波纹特性，它有两种形式：1）振幅特性在通带内是等波纹的、在阻带内是单调的切比雪夫I型滤波器；2）振幅特性在通带内是单调的、在阻带内是等波纹的切比雪夫II型滤波器，较不常用，因为频率截止速度不如I型快，也需要用更多的电子元件^[5-7]。因此，选择切比雪夫I型滤波器对采集信号进行滤波处理。

2.2 信号重采样

在信号采集系统中，LabVIEW采集系统、SERVO GUIDE采集系统和Kistler采集系统的采样率为1000 Hz，而HIOKI 3390的采样率为200 Hz。因此，需要提高HIOKI 3390所采集信号的采样率。

重采样^[8]即将原始采样频率变换为新的采样频率以适应不同采样率的要求。

设某带限时间波形 $x(t)$ ，以采样率 f_s （在满足采样定理的条件下）进行采样，得到时间序列 $x(k)$ 。对 $x(k)$ 进行采样率变换，提高采样率 M （正整数）倍，上采样后的序列用 $y(m)$ 表示，那么上采样前后序列的关系为：

$$y(m) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)h(m-kM) \quad (1)$$

其中 $h(m) = \sin c(m/M)$ ^[9]。上式表明首先在输入序列 $x(k)$ 的相邻抽样点之间等间距插入 $M-1$ 个零得到 $v(n)$ ，然后通过截止频率为 $1/M$ （归一化频率）的低通滤波器变成 $y(m)$ ，具体过程如图3所示。

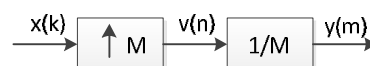


图3 上采样过程

Fig.3 Up-sampling process

2.3 数据同步

对于多通道数据采集来说，由于各独立通道间的初始相角不一致或频率变化不同，各通道间重采样后的起始周期位置各不相同，即它们采集的起始时间点是不一致的，这对于需要对多通道数据进行计算来说是不允许的，因此必须将其时间点折算到同一点，实现数据间的同步。

数控机床在实际切削过程中，各通道采集的信号相对平稳。而数控机床切削和空载时信号有明显的差别。当开始切削时，信号会发生突变。因此可以通过取阈值来区分，多阈值分割算法^[10]为：

$$g(i, j) = \begin{cases} g_0 & f(i, j) \leq T_0 \\ g_1 & T_0 \leq f(i, j) \leq T_1 \\ \dots & \\ g_n & T_{n-1} \leq f(i, j) \leq T_n \end{cases} \quad (2)$$

设某一信号的阈值为 T_k ，当所采集到的信号数据大于该阈值时，归一化值为1，小于为0。由此可以得出某一信号阈值的选取算法为：

$$g(t_i, m_i) = \begin{cases} 0 & f(t_i, m_i) < T_k \\ 1 & f(t_i, m_i) \geq T_k \end{cases} \quad (3)$$

式中：

$g(t_i, m_i)$ —信号归一化值，取0或1； $f(t_i, m_i)$ —信

号与时间函数;

t_i —第 i 点时信号对应的时间值;

m_i —第 i 点时的信号数据;

T_k —判断阈值。

由 (3) 式可推算出信号突变点的算法为:

$$\begin{cases} g_q(t_q, n_q) = 1 \\ g_j(t_j, n_j) = 1 \end{cases}, \quad t_q < t_j \quad (4)$$

式中:

$g_q(t_q, n_q)$ —突变点 q 信号归一化值;

$g_j(t_j, n_j)$ —其他点信号归一化值;

t_q — q 点信号对应的时间值;

t_j — j 点信号对应的时间值, 且 $g_j=1$ 。

运用上述算法获取各采集系统所采集信号的突变时间点, 计算出各系统开始采集信号的时间差 Δt_i 。通过把系统由开始至 Δt_i 时间内的数据剪切去除, 即可实现各采集系统所采集信号数据间的同步。

3 数控机床上的实例应用

数控机床的电能为从电网接入的交流电, 其频率为工频。运用切比雪夫 I 型低通滤波器对原始信号进行滤波, 通带截止频率 $\omega_p=50$ Hz 处衰减不大于 1 dB, 阻带截止频率 $\omega_r=60$ Hz 处衰减不小于 15 dB。以上参数确定后, 进行 Matlab 编程, 建立低通滤波 M 文件 lowp.m, 然后在主程序中调用 M 文件中的 lowp 函数对原始信号进行滤波: $y=\text{lowp}(x,fp,fs,rp,rs,Fs)$, 其中, x 为原始信号, y 为滤波后信号, fp 为通带截止频率, fs 为阻带截止频率, rp 为边带区衰减 DB 设置, rs 为截止区衰减 DB 设置, Fs 为采样频率。

对于 HIOKI 3390 所采集信号采用整数倍插值, 提高其采样频率。使用 Matlab 插值函数: $y=\text{interp}(x,r)$, x 为时间序列, r 为插入点的倍数, y 为插值后得到的时间序列^[11]。对经过滤波和重采样后的数据采用同步算法, 首先获取信号突变点, 然后进行数据裁剪。数据处理主程序流程如图 4 所示:

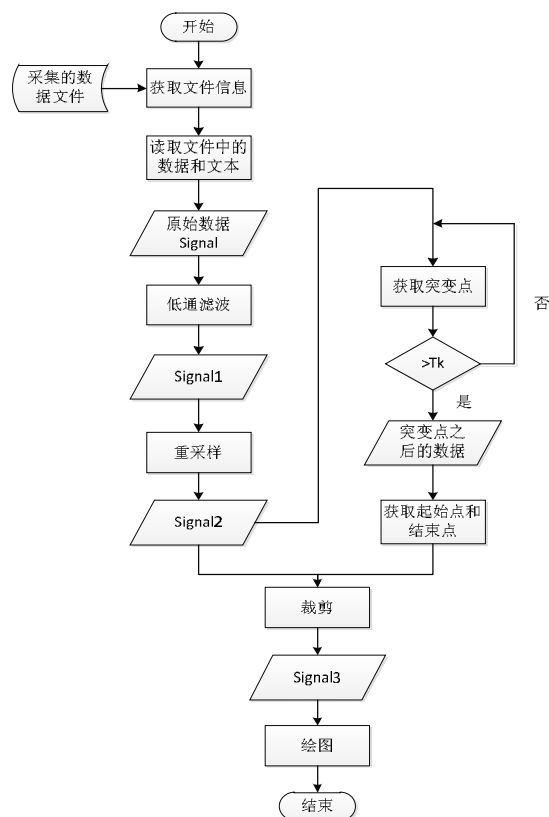


图 4 数据处理主程序流程

Fig.4 Main program flow of data processing

原始信号与处理后信号分别如图 5, 图 6 所示。

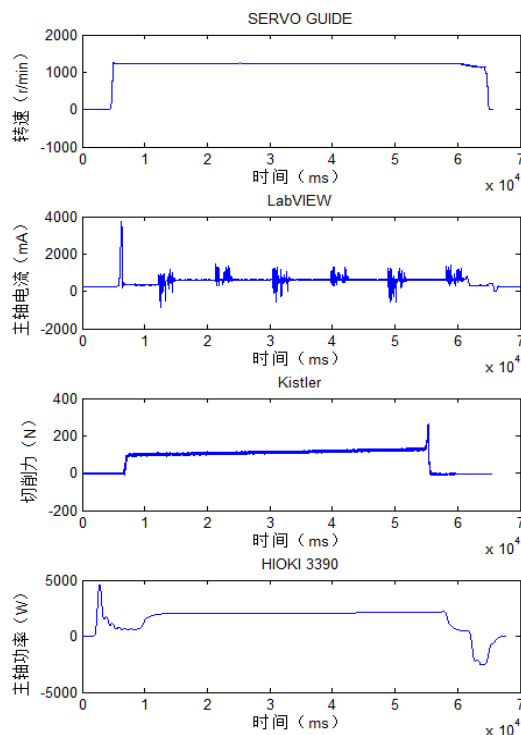


图 5 原始信号图

Fig.5 Original signal figure

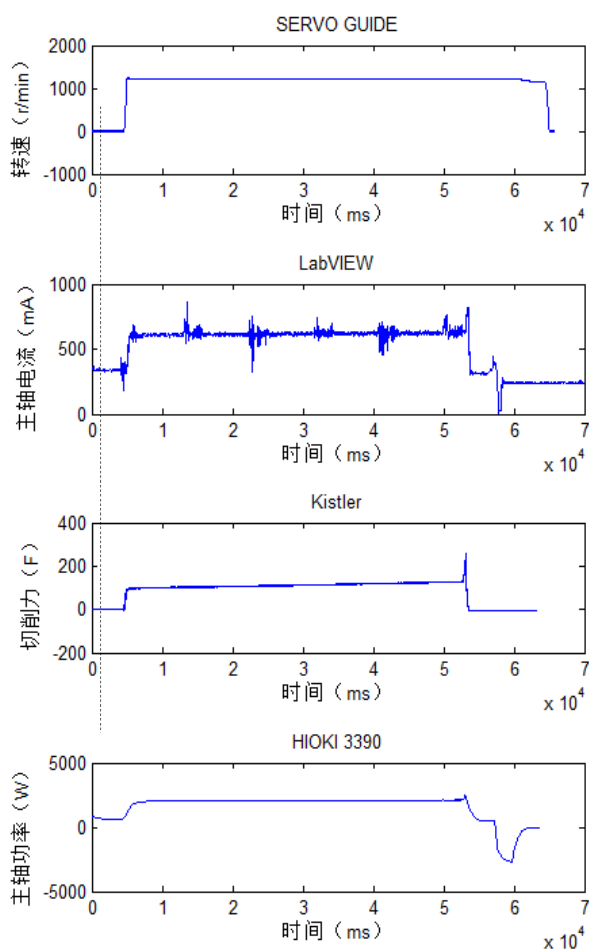


图6 处理后信号图

Fig.6 Processed signal figure

通过对比图5和图6可知,经过处理后,原始信号中的干扰被去除。同时,各采集系统所采集的信号中切削加工的起始时间点被同步到一个时刻(如图6中虚线所示),这使得切削和空载过程的区分变得很清晰。

4 结束语

数控机床是制造业的基础,也是工业领域中主要的能量消耗大户。精确地进行数控机床能耗监测,并采取有效措施提高其能效,以符合国家节能减排的政策与要求。根据数控机床实际切削加工过程中所采集信号的特点,本文提出了一种完全基于

Matlab 软件编程的数据处理方法,对所采集信号进行滤波、重采样以及同步处理。该方法不需要借助任何硬件电路,能较好的去除原始信号中的干扰,改变其采样频率,同时可以消除由于多通道多系统监测而导致的采集信号之间的时间起始点不一致的问题,为后续进一步分析数控机床的能耗信息奠定基础。对于其他多通道信号采集的数据处理问题,本文提出的方法也可起借鉴作用。

参考文献:

- [1] 王秋莲,刘飞. 数控机床多源能量流的系统数学模型[J]. 机械工程学报,2013,49(7):5-12.
- [2] Liu F, Xie J, Liu S. A method for predicting the energy consumption of the main driving system of a machine tool in a machining process[J]. Journal of Cleaner Production, 2014(105):171-177
- [3] 张华德,李蓓智,杨建国,等. 数控加工过程监测中的信号采集及其预处理方法研究[C]. 先进制造技术论坛暨第三届制造业自动化与信息化技术交流会. 北京:中国机械工程学会工业自动化分会, 2004.
- [4] 孙文. 多通道数据采集系统的设计与实现[D]. 长沙:湖南大学,2013.
- [5] 王大伟,贾荣丛,王划一. 基于 Matlab 的巴特沃斯滤波器设计[J]. 现代电子技术, 2012, 35(21): 71-72.
- [6] 王建行,姚齐国. 基于 MATLAB 的切比雪夫低通滤波器设计[J]. 新乡学院学报:自然科学版,2011,28(6):22531-533.
- [7] 王靖,李永全. 数字椭圆滤波器的 Matlab 设计与实现[J]. 现代电子技术, 2007, 6(245): 4-5.
- [8] 韩涛. 音频重采样算法设计与实现[D]. 西安:西安电子科技大学,2010.
- [9] 常文革,宋千. 重采样插值技术实现与应用[J]. 系统工程与电子技术, 2000, 22(5): 87-89.
- [10] 周璐璐. 图像的多区域分割算法[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2005.
- [11] 王正林,刘明,陈连贵. 精通 MATLAB[M]. 北京:电子工业出版社,2013.