

10 MW 高温气冷实验堆 过球计数信号实时处理方法

李华, 李富

(清华大学核能技术设计研究院, 北京 100084)

摘要:研究了基于 10 MW 高温气冷实验堆过球计数系统的过球计数信号实时处理方法。该方法采用了相对幅值的信号峰提取技术,消除了绝对幅值变化带来的不利影响,准确性高,处理速度快。滤波算法除了可加快信号峰的提取速度外,还能消除噪声干扰,并自适应地确定无球通过时的参考电平,解决了信号的零点偏移问题。该方法在信号采集的同时实现信号连续处理,且支持强大的并行运算,可同时处理多个信号通道。

关键词: 10 MW 高温气冷实验堆;过球计数系统;信号处理;实时

中图分类号: TL621 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6931(2003)05-0447-04

Real-time Processing on the Fuel Ball Counter Signals in the 10 MW High Temperature Gas-cooled Test Reactor

LI Hua, LI Fu

(Institute of Nuclear Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The paper describes the signal processing method of the digital fuel ball counting system designed for the 10 MW high temperature gas-cooled test reactor (HTR-10). The signal peak is searched by the relative amplitude instead of the absolute level, so as to reach high accuracy and speed. The special filtering algorithm not only can accelerate the searching speed for the signal peaks, but also can eliminate the random disturbance, and identify adaptively the reference level when no ball is passing. Furthermore, the real-time acquisition and on-line processing of the signals from the multiple counters are carried out parallelly and simultaneously.

Key words: 10 MW high temperature gas-cooled test reactor (HTR-10); fuel ball counting system; signal processing; real-time

准确地监测燃料装卸系统的燃料球通过数量和方向是实现 10 MW 高温气冷实验堆 (HTR-

10) 正常运行的关键环节之一。为此,设计了一套可在线处理的过球计数系统^[1],实现了对过

收稿日期:2002-07-16;修回日期:2003-02-21

作者简介:李华(1978—),女,河北邢台人,在读硕士研究生,核能科学与工程专业

球信号实时、连续、准确和高效的处理。本工作主要从信号峰的提取、干扰信号的排除和信号峰的时序分析等角度探讨过球信号的实时处理方法,这是过球计数系统的核心技术之一。

1 系统概述

过球计数系统(图1)集成现场信号采集、信号处理和结果输出等功能。在HTR-10燃料装卸系统的管道上装有13个用于燃料球计数的传感器。当1个燃料球通过管道时,监测该部位的传感器输出的信号发生变化,该信号经整形形成1个信号峰^[3]。系统需通过一定的算法处理,提取信号中有效峰的数目,进而得出通过该管道的燃料球数量。

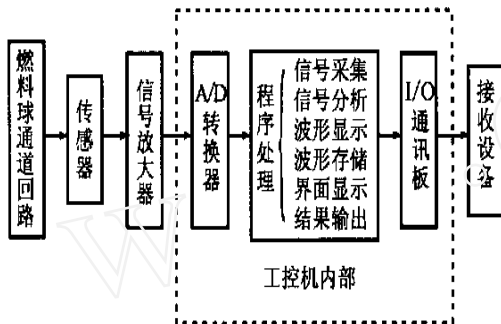


图1 过球计数系统框图

Fig. 1 Scheme of the fuel ball counting system

传感器产生的信号是模拟信号,经过A/D转换成数字信号后由应用程序完成信号的处理,并将处理结果输出到相应的接收设备。

信号分析模块是应用程序的重要部分。为实现过球计数系统的实时、连续、大数据量的处理,信号采集和分析处理采用了实时点采集和批量块处理技术。这样,每个时刻信号分析模块的当前处理对象是某个信号数据块,同时,前后数据块通过参数传递等机制相互关联,以实现信号的连续处理^[1]。

2 信号特点

理想的过球信号应是一平滑、显著、完整的波峰(图2中波形1),但因现场工况的复杂性,采集到的信号中夹杂各种干扰,有的幅值较小,有的甚至超过过球信号幅度,而且,这些干扰信号是随机产生的。根据干扰信号的幅值和方向特性,可将其大体分为随机本征干扰(幅值较小

的随机波动)、负向干扰脉冲和尖峰干扰等。图2中波形2是某一时刻的尖峰干扰信号。

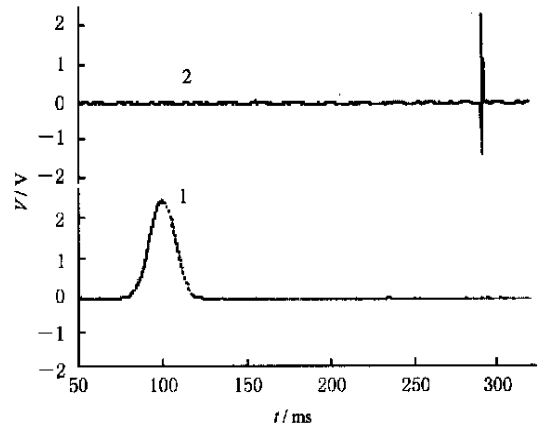


图2 过球信号和干扰信号

Fig. 2 A fuel ball signal and a peak noise

1——过球信号;2——干扰信号

当单个球通过一燃料球计数器时,过球信号表现为一完整波峰;当通道中有多个球连续通过时,因通过时间很短(每球约为10~20ms),信号波形将发生交迭。图3即为2个球连续通过某通道时的信号波形。

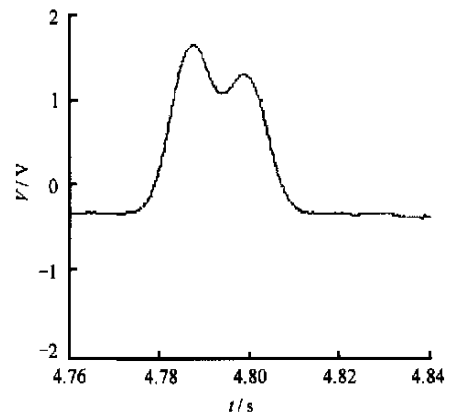


图3 2球连续通过时的信号波形

Fig. 3 Signal for 2 consecutive balls

由于传感器、信号放大和成形电路等存在多个电感、电容性环境,最终信号会出现漂移,即无球通过时的基准电平随工况而变化,甚至在传输电缆的弯曲情况发生变化时信号随之发生偏移。无球时的基准电平偏移使得过球信号峰的幅度随之偏移。

由于制造工艺的区别,同一传感器对不同燃料球的响应信号幅度可能有很大的差别。如

图3所示,第1个信号峰和第2个信号峰为两个燃料球的信号,二者的幅度差别较大。

在计数器系统中,一部分计数器只含有一个传感器,称之为单向计数器;另一些计数器内含两个传感器,通过它们不但要判断是否有球通过,还要判断球的运动方向,因此称之为双向计数器。分析信号时,既要分析信号的幅度,还需找出两个传感器产生的过球信号峰之间的时序关系(一传感器的信号比另一传感器的信号出现在前,则计数值增加,反之则减少)。

以上这些特点决定了信号处理必须解决滤波和时序分析等问题,同时由于波形交迭、零点漂移和球类型不同均将对信号的绝对幅值产生很大影响,因此,对信号处理方法提出了一些特殊要求,即信号的分析不能只依赖绝对幅值的大小。

3 方法实现

3.1 算法流程

算法的最终目标是提取信号中有效峰的数目,解决信号的噪声和时序等问题。

每个信号数据块包含所有传感器产生的一段时间内的信号数据,对所有的传感器信号通道进行扫描,可完成所有传感器信号的处理;每个传感器又可通程序循环实现信号数据点的连续处理。数据点的处理流程示于图4。

经过滤波和提取信号峰后可得出各传感器的当前信号峰数目。对单向计数器,该值即为当前的过球计数值;对双向计数器,还需根据两相关传感器的信号峰位置进一步判断计数值。

3.2 信号峰的提取

针对过球信号波形的幅度随工况变化等特点,根据某一时刻的相对信号幅值,结合前一段时间内的信号波形,判断波形的变化趋势。

一完整的信号峰波形需经历开始、峰值、结束的过程,波形结束时方能准确判断出峰的位置,但这时对很多特征的判断已迟。因此,最有价值的是波形发生转折的数据点,记录这些数据点的幅值、时刻等,可为信号峰的特征提取提供必要的参数。

算法中采用参考波形的方法。所谓参考波形,即是通过 IIR 滤波器(滤波系数为 0.95)滤波^[2]后的波形(图5)。IIR 滤波器的滤波公式为:

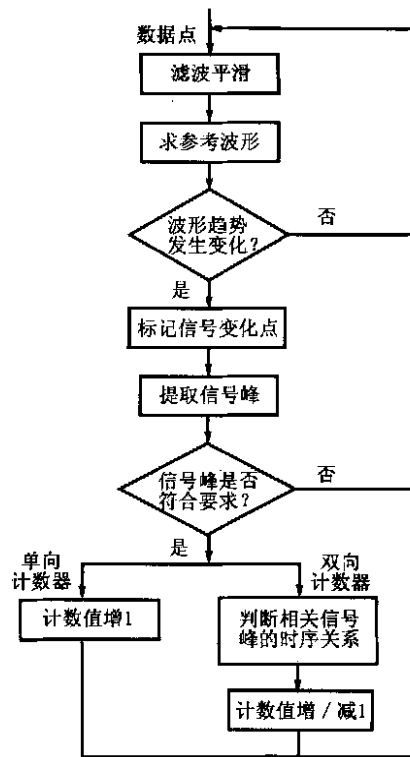


图4 信号处理流程

Fig. 4 Flow sheet for signal processing

$$y(k) = y(k - 1) \cdot a + x(k) \cdot (1 - a) \quad (1)$$
 式中: a 为滤波系数; $x(k)$ 为第 k 个数据点的信号幅值; $y(k)$ 为第 k 个数据点滤波后的信号幅值。

与原波形相比,参考波形的信号幅值变小,且波形有一定的时延。利用二者的交点和时延,可不必等到信号峰持续时间结束便可将信号峰提取出来,大大提高信号峰的提取速度。

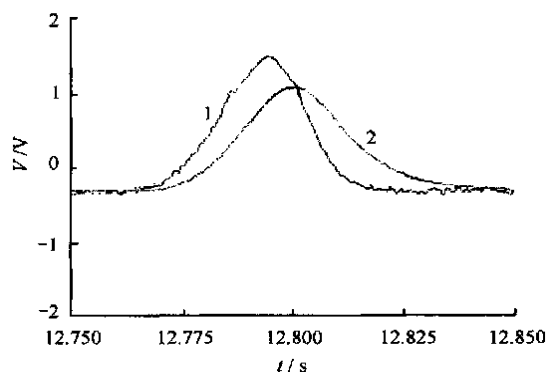


图5 原信号波形与参考波形

Fig. 5 The original signal and the comparative wave
1——原信号波形; 2——参考波形

3.3 干扰信号的排除

来自现场的信号不可避免地带有干扰,信号在分析前必须经过平滑处理。适应实时处理的原则,实践中应用滤波系数为 0.99 的 IIR 滤波器。信号的每个数据点在参与信号分析前均按式(1)进行平滑。平滑后,既滤掉了本征噪声,又保存了信号的局部特征,平滑效果可很好地满足分析处理的要求。

对幅值较大又不能忽略的干扰信号,仅用 IIR 滤波器已不能完全将其滤除,信号特征分析过程中便会把这些干扰信号峰值也提取出来,对此,必须增加判定条件将其消除。

真正的过球信号峰的持续时间为 10 ~ 20 ms,尖峰干扰信号的持续时间则短得多(< 1 ms),因而,根据持续时间可将真假信号峰区分开。

采用参考波形的方法除了可大大加快信号峰的提取速度外,还可自适应地确定无球通过(无过球信号峰)时的参考电平。不同于正向干扰,负向干扰脉冲的幅值始终比同一时段的参考电平值小,据此可消除负脉冲干扰。

3.4 双向计数器的时序分析

对于双向计数器,除了要提取信号峰,还需知道两个传感器产生的信号峰的时序先后。可在提取信号峰时记录其标志点(如出现信号最大值的时刻),通过两相关传感器的过球信号峰的时刻差进行方向判断。

同一球依次通过双向计数器的两个传感器分别产生的信号峰约相隔几十毫秒,必须将一传感器中的信号峰和另一传感器中的同一球的信号峰对应起来才能做出正确的方向判断。当

双向计数器的一传感器采集到 1 个球的信号、另一传感器并未捕捉到该球的信号时就会造成错位,即一传感器中的信号峰和另一传感器中的另一球的信号峰搭配计算时刻差,导致过球方向完全相反,计数值也随之错误,且错误可能会一直延续下去。

算法中采用了自动记录和智能判断的方法以避免产生该种错位。如果在允许的时间间隔内没有在另一传感器中检测到该球的信号峰,则将此信号峰记录下来,程序继续执行。一段时间(例如 1 ~ 2 s,时间长短以不影响处理和结果输出为宜)后,根据各计数器之间的数量制约关系(该数量关系依据计数器所处燃料通道位置),由算法判断这些标记的信号峰的方向和数目增减,这一过程由算法自动完成。

4 结论

目前,基于此信号处理方法开发的过球计数系统已经应用于 HTR-10 中。经现场的长期试验和使用,证明此系统计数准确,性能稳定。

参考文献:

- [1] Li Hua, Li Fu. Implementation of Digital Fuel Ball Counting System for HTR-10 [A]. The 13th Pacific Basin Nuclear Conference (PBNC2002) [C]. Beijing: Chinese Nuclear Society, 2002. 262.
- [2] 胡广书. 数字信号处理:理论、算法与实现 [M]. 北京:清华大学出版社, 1997. 207 ~ 233.
- [3] Liu J G, Xiao H L, Li C P. Design and Full Scale Test of the Fuel Handling System [J]. Nuclear Engineering and Design, 2002, 218: 169 ~ 178.