

文章编号: 1000-8055(2003)03-0458-04

航空发动机试车三分钟事件记录与回放

杨 训

(西北工业大学 航空动力与热力工程系, 陕西 西安 710072)

摘要: 航空发动机试车计算机辅助试验系统中开发三分钟事件记录与回放功能可以为事后的分析提供数据依据。本文着重研究了事件模型的建立的一般方法, 讨论了数据记录与回放的方法, 最后给出了所采用的数据结果。根据本文所述的方法, 实现了该功能并已投入了某型航空发动机试车实验使用。

关键词: 航空、航天推进系统; 航空发动机试车; 计算机辅助试验; 事件模型; 三分钟事件记录与回放; 双向循环链表

中图分类号: V263.4

文献标识码: A

A Way for 3-Minitue Event Recording and Replaying in Aeroengine Test

YANG Xun

(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: The function named 3-minitue events recording and replaying in computer-aided test system for aeroengine test is able to offer data for analysis afterwards. Firstly, the general method to create model for events is investigated in detail. Then the scheme for recording and replaying the data is discussed. At last the data structured is presented. On the basis of the method present, the function is achieved and has been used for aeroengine test.

Key words: aerospace propulsion system; aeroengine test; computer-aided test; model for events; 3-minitue event recording and replaying; double and circular linked list

1 引言

航空发动机试车属于风险试验项目。高温、高速、高负荷运转的转子, 在遇到机械系统、润滑系统、冷却系统故障、气动参数失调或是试车人员操作失误的情况下, 短时间内就可能造成发动机部件甚至整台发动机的损害。由于试车过程的复杂性和事件发生的突发性, 试车人员难以仔细观察和记录事件发生前后发动机各参数的异常情况和异常情况发生的先后次序, 而且这些事件往往难以重现, 这给分析事件发生的原因带来了极大的

不便。为了帮助事后的分析, 仿造飞机“黑匣子”的功能, 在航空发动机试车计算机辅助试验系统^[1~3]中, 开发三分钟事件记录与回放功能是很有意义的。

三分钟事件记录与回放是指在航空发动机试车过程中, 连续循环记录三分钟时间段内发动机的工作参数, 一旦有事先定义的事件(包括事故、故障等, 统称为事件)发生, 则锁定事件发生前两分半钟和事件发生后半分钟内的数据, 保存下来, 并可供事后回放分析。目前国外开发的航空发动机试车系统中已经具备了此项功能, 但在国内自

收稿日期: 2002-06-18; 修订日期: 2002-10-05

作者简介: 杨训(1976-), 男, 四川乐山人, 西北工业大学航空动力与热力工程系助教, 硕士。

行研制的试车系统中,尚未具备该功能。有鉴于此,我们在最新研制的航空发动机试车计算机辅助试验系统中,开发了三分钟事件记录与回放功能。

2 总体方案设计

2.1 三分钟事件记录的内容

记录下来的数据应该要能完整描述发动机的工作状态,才能便于事后分析,因此记录的内容应该包括发动机本身和车台设备的测量参数和各个开关量的工作状态。

2.2 事件模型的建立

事件模型定义了事件发生的条件,事件模型建立不好,则可能会发生误判、漏判现象。事件模型的建立是一个较为复杂的过程,它跟试车工作密切相关,往往不能一次就建立一个优秀的事件模型,它需要在实际试车中反复调整才能最终定型。

对于不同类型的发动机而言,其测量参数和工作情况不完全相同,可能引发事件的原因也各不相同,这就导致不同类型的发动机其事件模型不会完全相同。但总体说来,事件模型可以由以下三个内容组成:

(1) 稳态测量参数的极值控制

对于某些非常重要的参数,在发动机试车工艺中往往具有严格的工作范围限制,一旦发动机处于极限范围以外,则有可能造成发动机部件的损伤。如排气温度过高会导致涡轮叶片的烧伤;滑油压力过低可能导致润滑不充分,从而引起转子过热甚至抱轴。对于这些参数,一旦超出限制值,则定义事件发生。

(2) 状态的过程控制

在航空发动机试车中的动态过程,如发动机起动、停车、加速性检查、减速性检查、以及喘振边界检查等过程中,某些参数的变化可能会反映发动机工作的正常与否。一旦在试车过程中这些参数发生了异常变化,则定义事件发生。

(3) 突发性事件

还有一些事件属于突发性事件,这类事件在正常试车中很少发生,但一旦发生,具有极强的突发性,事先可能毫无征兆。如在试车过程中,燃油压力或燃油流量突然急速下降甚至到零就属于此类事件。这类事件发生的原因可能有多种,但都属于试车中的非正常情况,表征着事件的发生。

2.3 数据记录方案

数据记录采用在内存中循环存储三分钟数据,事件发生后再将数据保存到硬盘中的方案。以存储 150 个数据为例,若数据刷新周期 0.2 s,记录三分钟数据,每个数据为浮点单精度数据,占 4 个字节,则数据量大小为 $150 \times 60 \times 3 \times 4 / 0.2 = 540000 \text{ byte} \approx 0.5 \text{ MB}$ 。在目前计算机内存空间和硬盘空间都很大的情况下,在内存中开辟这样一个空间来存储数据是完全可行的。开辟这样一个内存空间后,所有的数据刷新工作都在该内存区中进行。以三分钟为一记录周期,周而复始地刷新试车数据,最后时刻的数据自动刷新最早时刻的数据,一旦事件发生,则继续刷新半分钟的数据,最后保存到硬盘上。这样即可把事件发生前两分半钟和事件发生后半分钟的数据全部保存下来,需要回放时再从硬盘中读出数据。数据在硬盘中可以保存为数据文件格式,也可以保存在数据库中。考虑到数据文件读取速度快,而且存储数据的类型也不复杂,因此可以选择数据文件作为数据的保存格式。文件名可以采用“发动机号+年+月+日+时+分”的格式,便于以后查询回放。这种方案的优点在于充分利用了系统中的计算机资源,使用软件即可实现,而不用增加任何新硬件。

2.4 数据回放方案

数据记录的最终目的是能够回放数据,重现事件发生和发展的过程,以帮助进行事故分析。回放方式应该灵活,便于从回放的数据中找出需要的信息,因此在系统中设计有数据回放和曲线回放两种回放方式。

在数据回放方式中,回放的数据在原来的参数显示位置依次显示出来,这样观察数据可以同试车过程中观察实测数据一样,符合人的习惯。为了方便使用,数据可以根据时间次序来进行顺序回放或者逆序回放,可以加快或者减慢回放的速度,也可以在任意时刻停止或暂停数据的回放,以满足不同的回放要求。

曲线回放方式能够直观地描述事件发生前后参数的变化情况,但它不便于直接从曲线上读出参数值。为便于在回放过程中获得曲线上点的准确值,可以通过跟踪鼠标位置,得到鼠标位置所对应的当前时间,从而查找出该时间对应的参数值并加以显示。

三分钟事件记录工作流程可用图 1 表示,三分钟事件回放工作流程如图 2 所示。图 1 中虚线

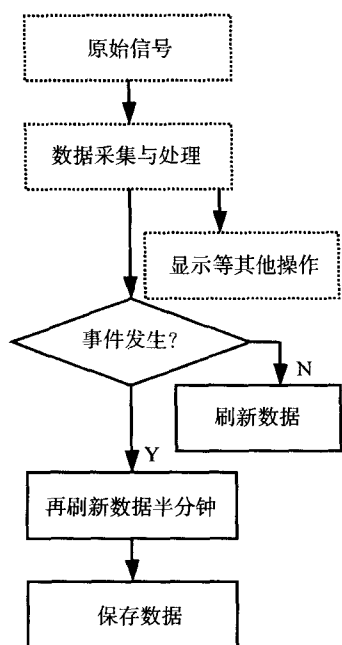


图 1 三分钟事件记录流程

Fig. 1 The process of recording

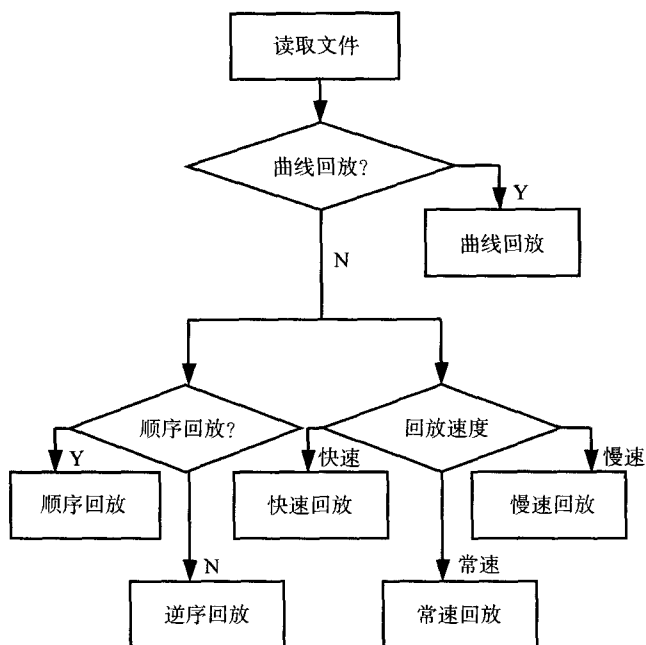


图 2 三分钟事件回放流程

Fig. 2 The process of replaying

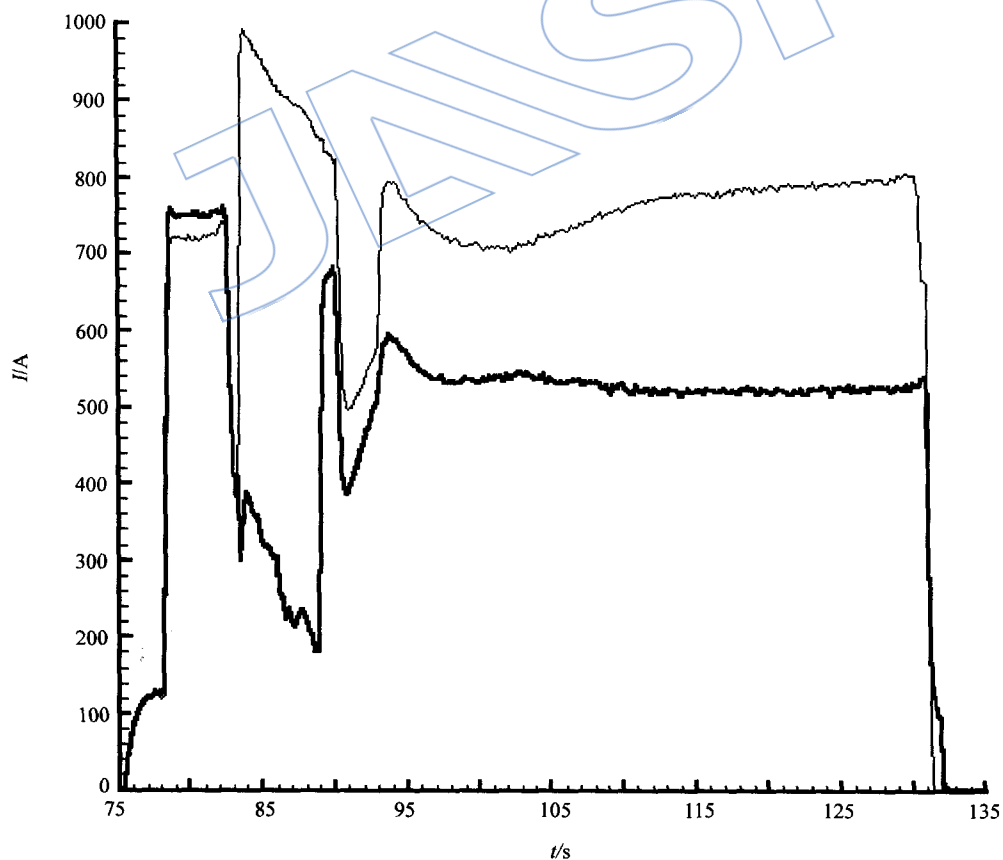


图 3 回放曲线

Fig. 3 A example of replaying curves

框表示由系统中其它模块完成的工作。

3 数据结构

数据结构方案的选择原则是在满足功能的前提下,尽量降低读写数据的复杂度,为此我们采用双向循环链表^[4]来实现数据的记录与回放。

双向循环链表的结构可参见文献[4]。它的一个重要的特点是具有两个指针域,其中一个指向直接后继,另一个指向直接前趋。对于头结点,其直接前趋是指向尾结点,对于尾结点,其直接后继是指向头结点,构成了一个循环。

在第一次记满三分钟前,对链表进行的操作是顺序增加结点。增加一个结点链表所需进行的操作是修改尾结点的后继指针和头结点的前趋指针,并增加一个结点,其时间复杂度仅为 $O(1)$ 。

在第一次记满三分钟后,链表不再增加结点,操作由增加结点改为修改结点的数据。更新一次数据只需要修改原先头结点的前趋、后继指针、数据项和原先尾结点的后继指针以及原先第二个结点的前趋指针,其时间复杂度也仅为 $O(1)$ 。

在回放数据时,当查找某个结点的数据时,双向链表可以顺序查找,也可以逆序查找。对于 n 个结点的链表来说,其时间复杂度为 $O(n)$ 。

采用双向循环链表来实现数据的记录与回放,具有算法效率高、编程简单方便的优点,因此双向循环链表是一个理想的数据结构。

4 结 论

应用本文讨论的方法,我们在为空军某航空发动机修理厂研制的发动机试车计算机辅助试验系统中实现了此项功能,并投入了生产使用。图3为利用某次试车起动过程中记录的数据所回放的曲线,其中粗线表左起动机电流,细线表右起动机电流。根据工艺规程规定,起动过程中左、右起动机电流差不得超过150 A,从图3曲线中可以看出在83~89 s间电流差约为600 A左右,在起动过程后期电流差也有300 A左右,远远超过规定值,可以认定事件发生。实践证明,该方法是可行而且有效的。本文所讨论的方法,不仅可以用于航空发动机试车中,也可以用于其它一些测控系统中,特别是所采用的数据结构,更是具有较强的普遍意义。

参考文献:

- [1] 李斌,陈桂英,雷勇,等. 航空发动机试车 CAT 技术[J]. 航空工程与维修,1996,(8):29-31.
- [2] 陈桂英,李斌,雷勇,等. 航空发动机计算机辅助试验技术研究[J]. 航空动力学报,1999,14(4):417-420.
- [3] 陈桂英,李斌,雷勇,等. 航空发动机 CAT 系统信号采集与处理[J]. 数据采集与处理,1999,14(4):527-530.
- [4] 严蔚敏,吴伟民. 数据结构(C语言版)[M]. 北京:北京清华大学出版社,1997.