

工程飞行模拟器的高速实时数据采集系统设计

于继超, 沈为群, 邹昱芳

(北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院, 北京 100191)

摘 要: 为对新机各分部件功能及性能的测试做到准确无误, 需要协助设计人员最大化地测试每一个瞬间, 在飞行仿真平台上提出更高的仿真精度需求, 包括以 1 ms 仿真周期完成飞行仿真模型的实时解算, 同时采集与存储 5 000 个仿真实验数据的需求。实验结果表明, 采用紧凑采集及选择采集 2 种实时数据采集算法和乒乓缓存存储算法, 可解决毫秒级仿真周期、海量数据的高速实时数据采集与存储。

关键词: 工程飞行模拟器; 数据采集; 数据存储; 选择采集; 乒乓缓存; 紧凑技术

High-speed Real-time Data Acquisition System Design of Engineering Aircraft Simulator

YU Ji-chao, SHEN Wei-qun, ZOU Yu-fang

(Department of Automation Science & Electrical Engineering,
Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

【Abstract】 In order to make the functionality and performance test of all parts of the new planes accurate, and give assistance to the designers to maximize the test of each moment, the flight simulation platform proposes demand which needs higher simulation accuracy. It includes completing the real-time solver of flight simulation model, simultaneously collecting and storing 5 000 simulation data in 1 ms simulation cycle. This work introduces ping-pang cache storage algorithm and two kinds of real-time data acquisition algorithm which are compact acquisition and choose acquisition. And in this work, the millisecond level simulation cycles, huge amounts of high-speed real-time data acquisition and storage is solved.

【Key words】 engineering aircraft simulator; data acquisition; data storage; choose acquisition; ping-pang cache; compact technology

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2013.05.066

1 概述

工程飞行仿真平台技术现已广泛应用于新型飞机的研制。该平台为飞机的设计和制造提供了一个良好的环境, 它用于飞机设计、新方案实验、飞行模拟器及飞行试验数据分析、试验信息管理。在飞机结构越来越复杂的今天, 工程飞行仿真平台的应用, 已成为飞机研制过程中节约开支、减少损失的一种行之有效的方法^[1]。工程飞行仿真平台是一种半实物的仿真系统, 系统中需要联接机上的许多实物部件。随着飞机功能的改变, 工程飞行仿真平台结构也变得更加复杂, 需要实时采集与存储的数据越来越多, 采集主频周期越来越短。为了对新机各分部件功能及性能的测试做到准确无误, 协助设计人员最大化地测试出每一个瞬间的问题, 在飞行仿真平台上, 本文提出了 1 ms 的仿真周期完成飞行仿真模型的解算, 同时以 1 ms 的仿真周期采集与存储 5 000 个仿真实验数据的需求。

2 关键问题

本文研究的工程飞行仿真平台是基于反射内存的分布式系统, 反射内存网是一种环状/星型的高速复制共享内存的光纤环网^[2]。目前市场上主流的 VMI-5565 反射内存产品是美国 VMIC 公司于本世纪初推出的网络通信产品。其特点是通过驱动软件写到某一节点的反射内存板上某一地址单元的数据, 可同时通过 HUB 自动映射写到实时网络上所有节点的反射内存板上的对应地址单元^[3-4]。

数据采集与存储的过程如图 1 所示。其中, 数据产生环节是在模型解算计算机上进行的, 数据采集的实时性取决于网络硬件设备的性能和数据采集方法的优劣, 数据存储的实时性主要取决于存储设备的性能和数据存储算法的优劣^[5]。因此, 在有限硬件设备环境下数据采集的算法及数据存储算法的设计, 成为高速实时数据采集系统是否达到设计需求的关键问题。

作者简介: 于继超(1988—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 计算机控制与仿真; 沈为群, 副教授; 邹昱芳, 硕士研究生

收稿日期: 2012-05-02 **修回日期:** 2012-08-07 **E-mail:** superfish0123@126.com

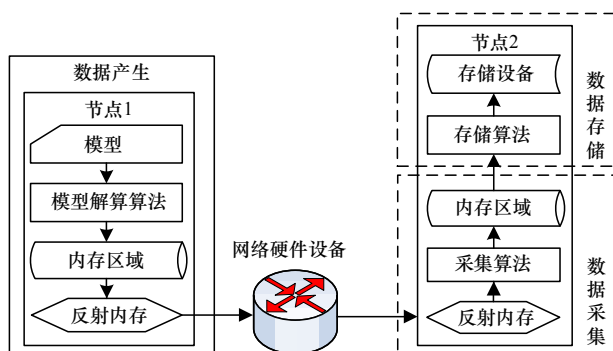


图1 数据采集与存储过程

3 紧凑采集算法的设计

3.1 紧凑采集算法的设计原理

在仿真系统中,仿真变量有多种类型,如 int、float、double、char 等,变量模型如图2所示。

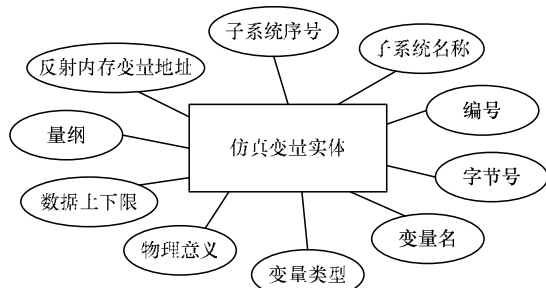


图2 仿真变量实体逻辑模型

由于工程飞行仿真平台是一种半实物仿真系统,系统中连接了许多机上的真实部件,因此仿真变量 char 型的较多。该类型的变量长度随物理设备的设计而定,且每一位或每几位均代表不同的物理意义^[6]。

从反射内存读取一次数据相当于一个文件读操作,而完成这样一个文件读函数 read(fd, buffer, nbytes)需要如图3所示的11个步骤。

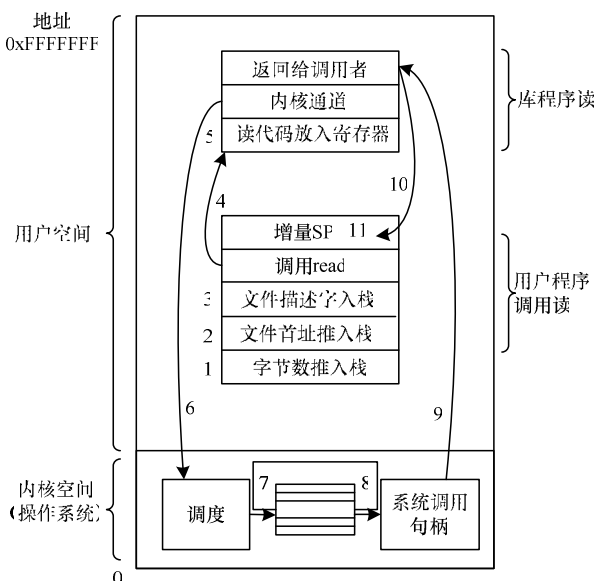


图3 操作系统文件 read 函数的11个步骤

从图3可以看出,操作系统每进行一个文件读操作都要进行多步准备和后序工作,这样必然耗费大量的时间^[7]。

当采集的仿真变量数据类型相同时,若采用一次读取一个大块数据的方式,采集数据所消耗的时间必然远小于多次分块读取数据的方式。采集全部数据的公式可描述为:

$$F_{ij} = T_1 + T_2 + \dots + T_{i-1} + (j-1) \times B$$

其中, F_{ij} 表示采集到第 i 个系统、第 j 个块之前全部数据所需时间; $T_1 + T_2 + \dots + T_{i-1}$ 表示前 $i-1$ 个系统数据采集时间; B 表示采集一个数据块的平均时间。

由此得出结论:在采集系统中,读文件(块)构造的个数直接影响着数据采集的速度。

那么研究 5 000 个仿真数据在 1 ms 的仿真周期完成采集与存储,最多可构建多少个反射内存数据块。由图4数据块个数与数据采集时间关系可得出结论:1 ms 的仿真周期最多仅可构造 40 个左右读文件(块)。

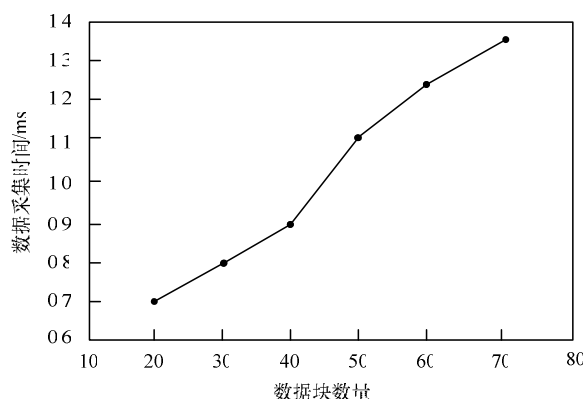


图4 数据块个数与采集时间关系

另外仿真数据元素的字节个数小于4,进行反射内存操作时,系统会自动以4个字节存储。将数据存入低位部分,高位以零补齐。

由上分析得出采集块的构造紧凑准则:

- (1) 仿真数据元素地址需依次连续地存储。
- (2) 每个区(块)的仿真数据元素占用相同的4个字节。

3.2 紧凑采集算法的存储方式

每个仿真子系统事先分配 N 个线性表的空间,并创建相同字节特性的数据元素的集合,并将这些数据元素信息记录到 XML 文档中^[8],如图5所示。

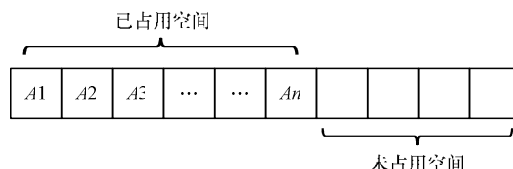


图5 元素信息记录示意图

数据元素之间的逻辑关系通过数据元素的存储位置直接反映。每个数据元素占用 k 个存储单元,且已知第1个元素的存储位置 $LOC(A1)$, $LOC(An) = LOC(A1) + (n-1) \times k$ 。无论数据元素何种数据类型均以二进制数采集。当数据元素

存储单元小于 k 个时, 均与 k 个补齐。仿真变量的模板是唯一的。

4 选择采集算法设计

选择采集算法是针对过去已用的工程飞行仿真平台提出的, 由于过去的工程飞行仿真平台的采集模板, 没有遵循紧凑采集准则, 导致系统每个周期以超过 300 个模块的方式采集数据。若要提高原工程飞行仿真平台的数据采集性能, 均可采用选择采集数据算法。

4.1 基本思想

面向用户, 不同的用户选择不同的仿真变量, 动态生成 100 个变量的采集模板, 用此模板进行数据采集与存储。

4.2 需要解决的问题

需要解决如下 3 个问题:

- (1)多用户选择采集模板与采集数据文件的自动匹配。
- (2)用户选择采集模板的自动生成。
- (3)用户选择历史采集模板与历史采集数据文件管理。

4.3 选择采集算法工作流程

用户在仿真变量的原始模板(本文称母模板)选择自己关注的变量构建一个用户模板。并将用户模板的信息, 存放到信息自动识别器中。以用户模板的信息, 采集仿真数据。建立用户模板与仿真数据文件链表。工作流程如图 6 所示。

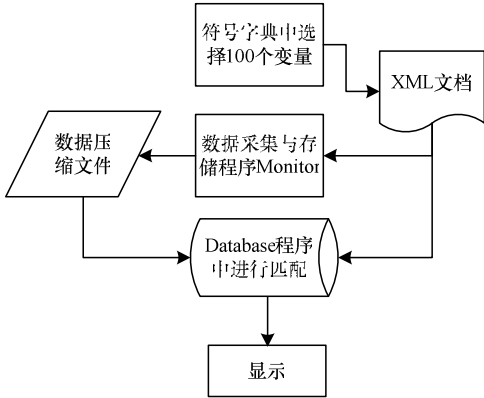


图 6 选择数据采集与存储工作流程

4.4 算法优缺点分析比较

紧凑采集算法是将全部的 5 000 个数据都存储下来, 数据文件必然很大。经实验证明, 同样是 20 min 实验, 紧凑采集算法存储下来的数据量为 22.2 GB(压缩文件 25.5 MB)大小, 而仅存储 100 个数据的选择采集算法数据量大小仅为 457 MB(压缩文件 432 KB)。显然, 前者数据打开的处理速度必然慢得多, 对计算机性能要求也要高得多; 存储的数据大部分是暂时不用的, 所以对计算机性能浪费更大。

选择采集算法增加了一级数据模板, 使得数据模板变为 3 级, 增加了数据文件和子模板匹配的复杂度, 因此, 操作性和管理简易度都要更差。2 种实时数据采集算法的优缺点比较如表 1 所示。

表 1 算法优缺点分析比较

比较项	紧凑采集算法	选择采集算法
是否满足性能需求	是	是
易操作性	非常好	较繁琐
管理复杂度	易	较复杂
用户自由度	小	大
数据打开与处理速度	慢	快
对硬件性能要求	高	较低
对计算机性能浪费	较大	小

5 乒乓缓存存储算法设计

当前硬盘的写入速度要远远落后于内存的读取速度, 所以即使 1 ms 能够读取 5 000 个变量数据, 如果系统不能及时地将这些数据存储到硬盘上, 也是没用的。

5.1 乒乓缓存存储算法设计原理

为了提高数据写入硬盘的速度, 本文采用乒乓缓存技术, 也叫双缓存技术, 即在内存中开辟 2 个缓存区 A 和 B。读取到的数据先存入缓存区 A, 当缓存区 A 存满后, 就开始往缓存区 B 里存, 这时另外一个线程就将缓存区 A 中的数据全部写入到硬盘, 如此循环往复^[9]。通过一次写入大量数据代替多次写入少量数据, 节省了大量硬盘寻道的时间, 大幅提高了数据写入硬盘的速度。乒乓缓存工作原理如图 7 所示。

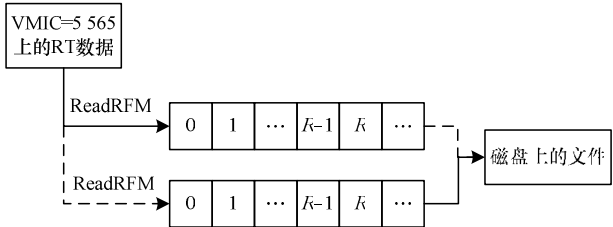


图 7 乒乓缓存工作原理

要保证数据的完整性, 将一个缓存区中的数据全部写入到硬盘里的时间必须小于数据往另一个内存缓存区存储的时间。缓存区越大, 写满所需要的时间就越多, 基本上是呈正比例的关系; 而缓存区大小对于将整个内存缓冲区写入硬盘的时间的影响并没有那么大。也就是说, 将缓冲区扩大一倍, 则写满这个缓冲区所需的时间也将扩大一倍, 而将整个缓冲区数据写入硬盘的时间扩大不到一倍。这样看来, 貌似缓冲区开得越大越好。然而, 缓冲区开得过大, 在程序运行的过程中, 可能会导致内存不足, 从而影响数据的读写, 会有丢失数据的现象出现。实践证明, 将一个缓冲区大小开辟为 100 MB 已经足以满足需求。

5.2 乒乓缓存存储算法写入方式

内存中开辟 2 个 100 MB 左右大小的乒乓缓存区。从反射内存读取到的数据先存入乒乓缓存 A 中。缓存 A 若存满则存入缓存 B, 并将缓存 A 中的数据写入硬盘。缓存 B 若存满则存入缓存 A, 并将缓存 B 中的数据写入硬盘。

6 系统结构及实验结果

整个数据采集系统由 5 个部分组成。其中,数据通信接口中可以进行变量编辑和信息模板编辑,数据采集器使用紧凑采集算法或者选择采集算法将采集到的数据经由乒乓缓存,存储到磁盘中,存储下来的二进制数据再进行数据识别和转换显示给用户,用户通过可视化界面进行后续处理和维。系统的总体结构组成如图 8 所示。仿真实验结果如图 9 所示。

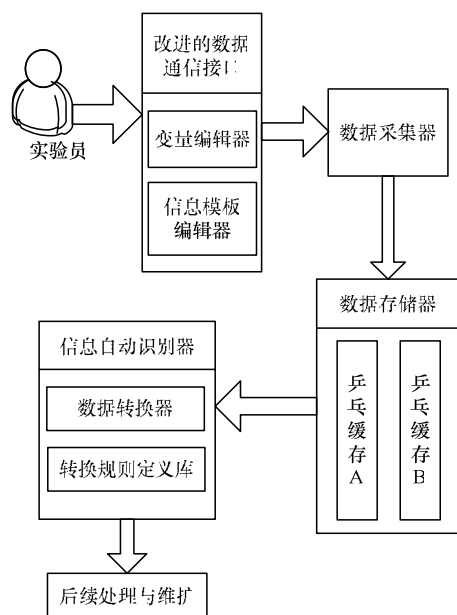


图 8 改进的采集与存储系统结构

仿真数据库		
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 帮助(H)		
新建 控制条 数据库 查询 首页 上一页 下一页		
数据库管理	仿真时间	BIT指令
仿真数据库	0.001000	1515870810
试验结果记录	0.002000	1515870810
2012y04m17d10	0.003000	1515870810
2012y04m17d10	0.004000	1515870810
2012y04m17d10	0.005000	1515870810
2012y04m18d20	0.006000	1515870810
2012y04m18d20	0.007000	1515870810
2012y04m18d20	0.008000	1515870810
2012y04m18d20	0.009000	1515870810
2012y04m18d20	0.010000	1515870810
2012y04m18d19	0.011000	1515870810
2012y04m18d19	0.012000	1515870810
2012y04m18d19	0.013000	1515870810
2012y04m18d19	0.014000	1515870810
2012y04m18d20	0.015000	1515870810
2012y04m18d20	0.016000	1515870810
2012y04m18d19	0.017000	1515870810
2012y04m18d19	0.018000	1515870810
2012y04m18d19	0.019000	1515870810
2012y04m18d15	0.020000	1515870810
2012y04m15d19	0.021000	1515870810
2012y04m05d17	0.022000	1515870810
2012y04m05d09	0.023000	1515870810
2012y04m05d09	0.024000	1515870810
2012y04m05d09	0.025000	1515870810
2012y04m05d09	0.026000	1515870810

图 9 仿真实验数据结果显示

记录下来的数据按照数据转化库中定义的规则进行转换,并将结果导入数据库,最后再显示给用户。如果不使用改进的数据采集与存储算法,则存储下来的数据会出现大量丢失数据的现象,甚至出现数据混乱,无法使用。通过使用改进的数据通信接口,紧凑、选择数据采集算法和乒乓缓存存储算法,从采集并存储下来的仿真实验数据结果看出,没有出现丢失数据的现象。

7 结束语

本文提出了工程飞行模拟器在 Windows XP 系统下提高实时数据采集与存储速度的方法。主要采用紧凑采集或选择采集算法提高数据采集速度,运用乒乓缓存存储算法提高数据存储速度。在 Windows XP 平台下实现了海量数据的快速实时采集与存储。今后计划使用实时操作系统 RTX^[10]进一步研究提高整个系统快速实时性的方法。

参考文献

- [1] 王行仁, 贾荣珍, 彭晓源, 等. 飞行实时仿真系统及技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2000.
- [2] 顾颖彦. 反射内存网实时通信技术的研究[J]. 计算机工程, 2002, 28(7): 143-145.
- [3] 杨飞鸿, 王旭永, 陶建峰, 等. 基于 xPC 和反射内存网的半实物仿真[J]. 上海交通大学学报, 2010, 44(7): 25-29.
- [4] VMIC Microsystems International Corporation. VMIPCI-5565 Reflective Memory Board Product Manual[Z]. 2001.
- [5] Zhang Yichao, Shen Weiqun. Research on Strategy for Storage of Real-time Data in Engineering Flight Simulation System[C]//Proc. of International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering. [S. l.]: IEEE Press, 2010: 86-89.
- [6] 沈为群, 王 福, 叶斌斌. 基于消息总线结构的某无人机仿真平台的研究[J]. 系统仿真技术, 2008, 4(4): 272-276.
- [7] Tanenbaum A S. 现代操作系统[M]. 3 版. 陈向群, 马洪兵, 译. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [8] 叶斌斌, 刘旺开, 沈为群. 基于 XML 的飞行仿真数据库的研究[J]. 微计算机信息, 2009, 25(8): 131-133.
- [9] 康艳霞, 曹剑中, 天 雁, 等. 实时视频处理系统中乒乓缓存的设计[J]. 弹箭与制导学报, 2007, 27(4): 218-221.
- [10] 孙继红. RTX 技术在半实物仿真中的应用及开发[J]. 计算机仿真, 2010, 27(8): 83-88.

编辑 顾逸斐