

一种基于 VxWorks 的飞行仿真实时管理系统

彭 华, 沈为群, 宋子善

(北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院, 北京 100083)



摘 要:结合北京航空航天大学自动控制系统开发的某大型工程飞行模拟器系统, 介绍了一种基于嵌入式实时操作系统 VxWorks 和多处理机系统的仿真系统结构及其开发环境。首先介绍了 VxWorks 的特点。然后介绍了飞行仿真系统的总体结构及管理系统的的功能。最后讨论了实时管理系统实现中的关键问题, 包括多任务管理在不同开发环境下的实现以及分布式仿真系统的实时数据通讯等。

关键字: VxWorks; 飞行仿真; 实时系统; 多任务; 通讯

文章编号: 1004-731X (2003) 07-0966-03 中图分类号: TP391.9 文献标识码: A

A Real-time Management System of Flight Simulation Based on VxWorks

PENG Hua, SHEN Wei-qun, SONG Zi-shan

(Dept. of Automation Control, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: With a large engineering flight simulation system developed by the Dept. of Automation Control at Beijing University of Aeronautics and Astronautics, this paper introduces a structure and development environment of simulation system, which is based on embedded RTOS VxWorks and multiprocessor system. Characteristics of VxWorks have been introduced. Structure of the whole flight simulation system and main function of the management system have been described. Then some key techniques in realization of the management system have been discussed, including multitask management in different development environment and real-time communication of distributed simulation system.

Keywords: VxWorks; flight simulation; real-time system; multitask; communication

引 言

工程飞行仿真系统(工程飞行模拟器)是对新型飞机进行研制、设计的有力工具。其中,实时管理系统是以计算机为基础的工程模拟器的神经中枢,它激活、控制、驱动和组织管理诸分系统(包括仿真计算机系统),使它们成为模拟器的有机组成部分,发挥出预定的功能和性能,对实时飞行仿真系统的开发至关重要。此外,仿真管理系统为飞行仿真控制人员提供一个友好的图形化人机接口以及调试、监测和数据管理环境,使工程飞行模拟器能在优化、安全和确保高逼真度的运行环境中工作。

工程飞行仿真系统是一种实时性要求很高的系统,这种系统一般以高性能的具有分布的多机并行处理功能的小型机作为仿真计算机来实现系统的功能。由于仿真计算机系统比较复杂并采用 32 位多处理器,因此 CPU 具有资源量大和处理能力强的特点。为了实现多处理器并发处理多任务的功能,发挥 32 位多处理器的能力,必须开发效率高、工作可靠的仿真系统。配置性能良好的管理 CPU 的系统软件是整个仿真系统的基础。

美国 Wind River System 公司的 VxWorks 嵌入式实时操作系统是目前在国际上流行的一种实时操作系统。它以其良好的可靠性和卓越的实时性被广泛地应用在通信、军事、航空、航天等高精尖技术及实时性要求极高的领域中。1997 年 4 月在火星表面登陆的火星探路者上就使用了 VxWorks。实际上,它已成为一种工业标准和军用标准。本文采用 VxWorks 开发研制某型号工程模拟器飞行仿真系统也已获得成功。

1 VxWorks 的特点

按照对外部事件响应时间不同,实时操作系统也分为弱实时操作系统和强实时操作系统,VxWorks 属于强实时操作系统。系统响应时间达微秒级。同时,VxWorks 是以高可靠性标准设计的实时操作系统,因而被广泛应用于航空航天等军事领域。

用户在使用操作系统时,并不是操作系统中的每一个部件都要用到。VxWorks 的微内核结构有助于将核心的任务独立开来,增强系统的模块性,同时减小核心的大小(最小结构<8K),增强核心的稳定性、可靠性。用户可以根据需要增加或减少某些模块。由于 VxWorks 只占用了很小的存储空间,并可高度裁减,保证了系统能以较高的效率运行。另外,VxWorks 提供的多任务机制中对任务的控制采用了优先级抢占并辅以轮转调度机制,也充分保证了可靠的实时

收稿日期: 2002-08-05

修回日期: 2002-12-01

作者简介: 彭 华(1977-),女,湖南浏阳人,硕士生,研究方向为计算机实时控制与仿真; 沈为群(1952-),女,江苏启东人,副研究员,硕士,研究方向为计算机控制与应用、实时仿真等; 宋子善(1933-),男,江苏武进人,教授,美国华盛顿大学访问教授,博士,研究方向为飞行器控制、制导与仿真、智能控制系统理论及应用、无人驾驶控制技术等。

性,使同样的硬件配置能满足更强的实时性要求,为应用的开发留下更大的余地。

作为嵌入式系统开发,VxWorks 开发过程采用主机、目标机体系结构,如图 1 所示,将开发工具放在主机上,将操作系统的核心模块放在目标机上,操作系统提供对跟踪调试进行支持的手段。VxWorks 提供的 Tornado 集成开发环境十分友好,并提供了多种开发工具和手段,集设计、开发、分析等特性于一体,同时对目标机系统的影响做到最小。

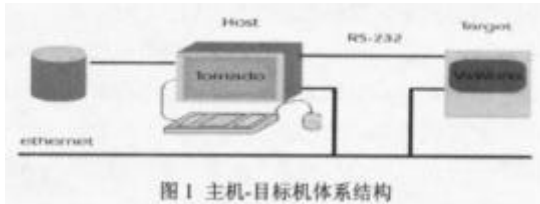


图 1 主机-目标机体系结构

2 系统功能与结构

本文研究的工程模拟器飞行仿真系统主要是对不同大气环境条件下,飞机不同的飞行状态进行人机闭环飞行仿真,并实现多种飞行动力学构型和故障仿真、飞行品质评定、仿真过程记录、回放等功能。

仿真计算机采用 Motorola 超级小型机,PowerPC 处理器,VxWorks 实时操作系统,在主机-目标机体系结构中它是作为目标机(Target)。该机型是一个松耦合多处理机系统,有三块 CPU 板分别为 MVME5100,它们都是基于 VME 总线、功能可以独立的计算机。各处理器拥有自己的 I/O 模块,从而拥有自己的外部设备。同时,它们也可以通过 VME 总线实现共享独立的 I/O 设备,从而实现共享的外部设备。它的消息传送机制是由 VME 总线实现的。仿真计算机的这种结构对多任务并行且任务间交互作用很小的系统是十分有效的。

仿真计算机作为整个飞行仿真系统的核心主要负责完成输入输出及各节点任务之间的协调、实时数据存储和大量的科学计算,包括飞行方程解算、控制率解算、模型解算等。这些任务将分配到三个处理器上完成。

主机(Host)采用 PC 机,WINDOWS NT4.0 操作系统。主机作为管理系统控制台(人机界面),主要负责人机交互,数据监测、数据管理等,目的是为用户提供一个图形化的人机接口。

除仿真计算机系统外,工程模拟器还包括了诸多分系统:飞行视景、运动平台、操纵负荷、飞行座舱、抖振座椅、仿真音响等。实时管理系统则是在仿真计算机系统(包括实时操作系统 VxWorks、网络系统和接口系统等)的基础上,综合飞行系统、飞行座舱系统,视景系统以及其他分系统(包括应用程序系统)等基于计算机的系统,以实现人一机飞行仿真任务。它具有实时、多任务、前后台、中断处理、紧急处理、监控等特点。其中,实时管理软件主要包括实时调度管理模块、实时监控模块、数据通讯模块、人机界面模块等,

具体功能如下:

—对各个分系统应用程序进行统一的调度、管理、同步通讯,实现对系统多个节点的程序进行加载、卸载,并行运行和实时监控;

—对各种应用程序模块库、工程数据库、符号词典进行统一管理;

—向各分系统提供各种实时运行的数据和控制命令,包括冻结、中断、启动、再现、复位等;

—向用户提供仿真帧周期修改操作;

—所有实时监控的数据或数据库中数据都可以进行曲线显示,曲线游动及放大的操作;

—设置各种试验项目、试验条件,设置各种飞行故障及干扰等操作;

—提供实时曲线及参数离线分析处理打印操作;

—提供系统启动前的各分系统自检操作,并显示或输出测试结果。

图 2 给出了系统总体结构。仿真计算机与各分系统之间都存在一定的信息交链,各系统主要通过一个总线型拓扑结构局域网实现双向实时通讯。

3 多任务管理的实现

由于飞行仿真系统基于多处理机结构,而多处理机属于多指令流多数据流(MIMD)系统,这一特性决定了管理系统实现的并行是更高级的作业、任务之间的并行。另一方面,为了利用资源重复(多个处理机)实现的并行,需要用用户开发多任务的应用程序,多个任务分布在多个处理机上并行运行,才能有效利用硬件资源。对于多任务的应用,要处理任务之间的同步、通讯和互斥,使并发进程所包含的指令相互之间仍保持程序所要求的正确顺序。因此,任务管理是管理系统软件的核心内容之一。

在具体设计中,我们首先要考虑的是任务的分配。根据各节点任务负载量相对平衡及节点间通信量较少的任务分配设计准则,将所有任务分配到以下四个节点上:

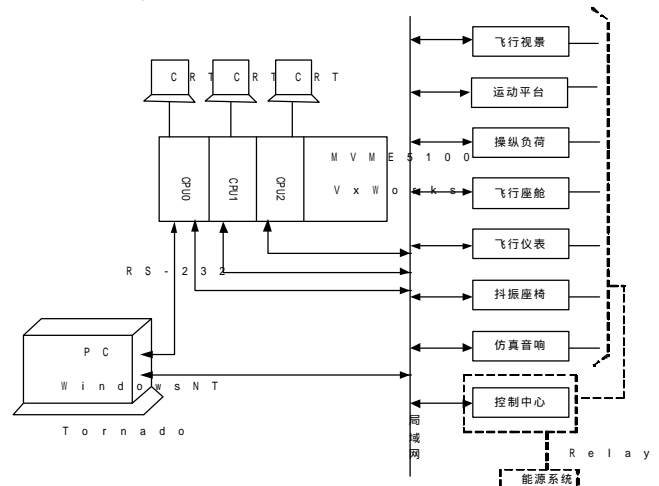


图 2 系统总体结构图

节点 1, 作为宿主机 (HOST), 主要运行人机交互系统、监控系统、数据库系统、符号字典系统;

节点 2, 负责各节点任务之间的调度、通讯、数据的传输、采集、存储及整个接口系统的 I/O 输出, 其中包括运动系统驱动、气动加载系统驱动、视景系统驱动、音响系统驱动、仪表、平显系统驱动、抖振座椅驱动等;

节点 3, 飞行动力学模型、运动学模型、气动参数求解模型、飞行员模型和发动机模型的解算;

节点 4, 操纵系统动力学模型、飞控系统模型、火控系统模型等模型的解算;

在四个节点中, 节点 1 作为管理软件人机界面, 在 WINDOWS NT 平台下用 Visual C++6.0 编程实现; 节点 2、3、4 基于多处理机结构, VxWorks 操作系统。对于任务的实时管理与调度, 不同系统具有不同的特点。

(1) VxWorks 的多任务管理

对于实时操作系统 VxWorks, 实时内核 Wind 提供了基本的多任务环境。一个多任务环境允许将实时应用构造成一套独立的任务集合, 每个任务拥有各自的执行线程和自己的系统资源集合, 完成不同的功能。具体说来, 在 VxWorks 的多任务环境中, 每个任务都有一个独立的任务控制块 (TCB), 其中保存了系统控制信息 (如任务状态、优先级, 延迟时间, 断点列表, 错误状态等) 和 CPU 上下文信息。所有任务都由 VxWorks 内核直接管理。系统根据调度算法将 CPU 分配给各个任务。同时, VxWorks 还提供了丰富的任务控制功能及任务间通讯机制。

(2) Windows 的多线程管理

对于管理软件人机界面, 系统多任务并发性的实现采用单进程多线程的方案。

从总体上看, 实时系统的并发性体现在人机交互和实时处理的并发性。人机交互包括消息循环, 如果实时处理也嵌入消息循环则会出现以下问题: 若着重实时处理, 则会影响消息的及时处理, 不能建立良好的人机交互; 若着重人机交互, 则实时处理就会受到影响。因此, 人机交互应作为单独的一个线程, 实时处理根据需要可以分成一个或多个线程。实时处理应根据处理器的使用率分成不同的线程。一般来说, 科学计算型的处理和 I/O 处理应该分成不同的线程, 这样有利于处理器和 I/O 设备的并行工作。根据这一原则, 实时处理可以划分为三个线程: 实时曲线显示线程、实时网络通讯线程、实时数据存储线程。其中, 网络通讯与数据存储主要是 I/O 操作。这样, 管理程序共分为四个线程, 运行在一个处理器上, 实践证明, 这个线程数是合适的。

4 实时数据通讯的实现

对于飞行视景、运动平台、飞行座舱等诸多分系统要实现与仿真计算机的实时数据通讯, 必须选用满足系统要求的数据通讯方式。数据通讯方式及其性能部分决定了仿真软件的运行性能以及工程模拟器的性能。本系统中主要采用两种数据通讯方式:

(1) 跨平台的数据通讯采用以太网实现

本系统开发基于多种平台, 网络是 VxWorks 系统之间以及与其他系统联系的主要途径。在最底层, VxWorks 通常使用以太网作为传输媒介, 也可使用串行线作为网络连接。我们可以比较这两种方式:

从速度上考虑, 目前 PC 机配置的串口传输速率常用 115, 200bps, 而快速以太网的传输速率为 100Mbps;

从可靠性考虑, 在硬件上, 串口可以提供奇偶校验, 而以太网可以提供更可靠的循环冗余校验 (CRC);

在软件上考虑, 网络通讯有多种协议可以选择, 应用软件建立在协议的基础上极大地提高了数据传送的可靠性;

从可扩展性考虑, 当系统进行扩展时, 如增加一个子结点或者各个子结点间的距离等环境发生变化时, 网络通讯方式比采用串口通讯方式容易的多。

当然, 我们也可以考虑采用反射内存或基于总线转换这样高速的数据通讯方式, 但对于大规模应用其成本太高, 综合以上因素, 本系统主要采用 10M/100M 自适应以太网接口。

(2) 基于 VxWorks 的多处理器之间采用共享内存通讯

除以太网之外, VxWorks 网络还可用于同一个底板 (common backplane) 的多个处理器间相互通讯。在这种方式下, 数据的通讯是通过共享内存 (Shared Memory) 进行的。关于共享内存的使用, 用户必须对 VxWorks 内核进行合理的配置。首先, 要在 VxWorks 组件中选择 VxMP 选项。VxMP 提供了共享信号量、消息队列和在不同处理器之间的共享内存区域 (shared-memory region) 及共享名字数据库 (shared name database)。除此之外, 用户还必须在 BSP (Board Support Package) 中进行相应的配置, 重新生成 VxWorks 系统映像 (image)。

在管理系统中, 利用共享内存机制实现了运行在不同处理器上的多个任务之间的数据通讯、同步与互斥, 利用以太网实现了异型机之间的实时数据通讯。

5 结论

论文介绍了一种基于实时嵌入式操作系统 VxWorks 的跨平台的分布式工程飞行仿真系统。论文就实时管理系统设计与实现中的一些重要问题进行了讨论, 并提出了方案。在实践中, 成功开发出基于 VxWorks 的飞行仿真实时管理系统, 仿真周期小于 7ms。

参考文献:

- [1] Wind River System Inc. VxWorks Programmer's Guide 5.4[Z], 1999.
- [2] Wind River System Inc. Tornado User's Guide (Windows Version) 2.0[Z], 1999.
- [3] 吴杰. 分布式系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [4] 孔祥营, 柏桂枝. 嵌入式实时操作系统 VxWorks 及其开发环境 Tornado[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [5] 王志刚. 歼八 II 工程飞行仿真实时管理系统的研究与设计[D]. 北京: 北京航空航天大学自动控制系, 1998.