

机载机电系统总线管理研究

王占林, 裘丽华

(北京航空航天大学自动控制系, 北京 100083)

[摘要] 各种运载体中都有很多机电系统, 目前多按独立子系统方式进行管理。文章提出通过总线进行综合管理的方案, 使各子系统除完成各自独立功能外还具有冗余、容错功能; 着重介绍了如何通过仿真平台进行综合管理的研究, 给出了平台的硬软件结构及任务分配与调度的策略。

[关键词] 分布式多处理机; 仿真平台; 任务分配; 任务调度; 冗余

1 前言

各种运载体如飞机、船舶、车辆及工程机械等, 其内部都包括多个机电系统, 比如飞机的燃油管理、环控、襟翼收放、进气锥收放、着陆装置、机轮刹车与防滑、液压恒速装置、前轮转弯及喷口控制系统等; 车辆也有类似的系统, 如现代汽车的防抱死制动、转向、无级变速、急转弯自动平衡、自动换挡、自动升举、燃油喷射、点火、空调、化油器、自动门窗及主动减振系统等; 船用系统有舵机、减摇鳍装置及可调螺距推进器等。所有运载体也多有可控电源及液压源。从配置上看这些子系统都是独立地分布于载体的各个部位, 形成“散、乱、杂”的局面:

1) 目前, 我国不论飞机、车辆还是船舶, 其机载机电电子系统的管理多是独立的, 即为每个单独子系统配一套管理控制器、显示板、开关、功率切换元件、连接器及大量的复杂的导线连接与布线。这不仅硬件利用率低, 也无法进行数据交换与资源共享, 且体积、质量大, 可靠性、可维修性也差。

2) 为每个子系统配备一套专用管理控制器的传统作法需要专用的仪表及显示器, 这会使座舱拥挤杂乱, 操作员负担非常重。

3) 每个子系统配置的专用电子设备盒常需冷却, 由于分散会使系统变得复杂, 能量消耗加大。

从载体的传动与控制的发展看, 一般是从机械传动发展为今天的电传。由于我国机电一体化的发展, 数字化已达到一定的水平, 在此基础上及时进行综合化的管理研究, 即放弃对各子系统单独管理的传统方案, 而将整个机电系统视为一个整体, 采用数据总线和多处理机技术实行统一管理, 这不但是可行的, 而且是载体机载设备的发展方向^[1]。

不论飞行器、船舶还是车辆, 其中的各机电电子系统差异很大, 若实行综合管理则难度较大, 在研究开发阶段及研制过程的迭代设计都需要得力的仿真开发工具。本研究即是建立了一个多机电子系统综合管理的通用仿真平台, 利用该仿真平台研究如何采用数据总线对多个机电电子系统实行统一管理、科学组合与动态调度, 使各子系统除最优地完成各自独立的功能外, 在管理上还具有冗余、容错、重构与自修复功能。该仿真平台既可提供载体整机与机电电子系统方案, 控制律、监控及优化管理的策略及调度软件, 也可设置扩充的标准接口, 增加的子系统可以直接接入。

本研究将为载体机电系统综合管理的设计及现有系统向综合化方向管理的改型提供得力的仿真开发工具, 有力地促进载体的机电系统向综合化方向发展, 从根本上改变机载设备系统的布局与体系结构, 提高整机性能, 减轻系统质量, 提高可靠性及可维护性, 减轻驾驶员负担。

2 技术方案

2.1 机载机电设备综合控制管理方案

如图 1 所示，图中 S_1, S_2, \dots, S_m 为被控子系统，它可以是实际子系统的模型激励器，也可以是实际物理系统。 E_1, E_2, \dots, E_n 是处理机单元或节点，本研究采用四台处理机节点，其中 E_1 给出了内部局部资源结构示意，由 CPU、程序存储器和总线接口（未画出）构成；BC 是总线网络控制器；I/O 处理器（可能有多个，图中只示出一个，但功能相同，相当于一个模块）用于完成被控系统信号与网络总线信号的转换。

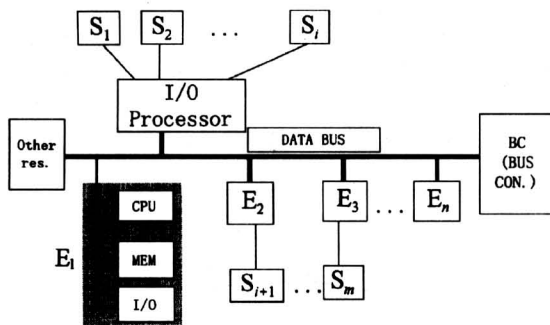


图 1 分布式多处理机实时控制方案

Fig.1 Real-time control scheme of distributed multiprocessors

图 1 所示的方案中把被控系统中动态过程快、时间常数小的系统 ($S_{i+1} \sim S_m$)，通过各处理器节点的 I/O 接口直接与处理器单元相连，而时间常数大的系统（如 $S_1 \sim S_i$ ）则通过 I/O 处理器接口与处理器节点相连；显然， $S_1 \sim S_i$ 之间可实现完全的任

务调度和分配， $S_{i+1} \sim S_m$ 之间有部分交叉连线（图中未绘出），可部分实现任务调度。该方案对总线网络的通讯速率要求相对较低，不失为一种较理想的方案。

2.2 仿真平台的硬件结构

机载机电设备综合仿真平台是一个网络互连的分布式计算机系统及分布式操作设备，总体上分为 3 个功能域，即指令域、协调控制域与执行工作域。现结合飞机的情况做一说明：

1) 指令域 指令域包括多功能显示器（多媒体）和驾驶员指令及飞行状态产生处理机，用于产生和显示来自驾驶员的操作指令，来自大气数据计算机的大气数据和包括飞行高度、飞行速度及与机电系统有关的飞行环境信息，是用户建立仿真实例的通道。

2) 协调控制域 协调控制域包括 4 台中心处理机及相应的数据接口（总线接口及 A/D、D/A、DI/DO 等非总线接口），是机载机电设备仿真系统的核心，用于完成系统总线管理、子系统控制与监测、处理机余度管理、处理机任务分配和系统数据库管理等。

3) 执行工作域 执行工作域包括子系统仿真机及数据接口，用于完成机电子系统受控运行、特征参数产生与修改、子系统仿真结果显示等功能（也可按实际子系统进行半物理仿真）。

2.3 仿真平台的软件体系结构

仿真平台软件以硬件结构为支撑，提供多处理机环境下的系统资源、任务调度，实现分布式系统各组成部分的协同处理。仿真平台软件体系结构如图 2 所示。

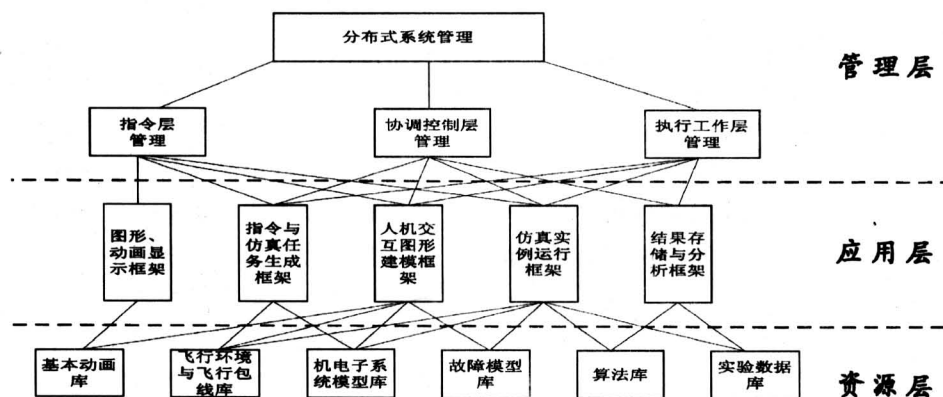


图 2 仿真平台软件体系结构

Fig.2 Software system framework of simulation platform

仿真平台软件设计分为三个不同层面的设计:

1) 管理层 仿真平台管理层在节点内处理事件, 包括处理系统资源、数据的一致性管理与维护, 响应节点外部及内部信息处理请求, 与其他节点协同完成仿真实例并行运行等。引入了基于 Client/Server 机制的软件 Agent 进行仿真平台管

理。通过对软件 Agent 的结构、运行状态及行为置信度的研究, 实现多个 Agent 间的协同合作, 完成仿真平台的管理层功能。

2) 应用层 仿真平台应用层面向用户和仿真实例, 通过功能框架完成应用层需求。应用层结构如图 3 所示。

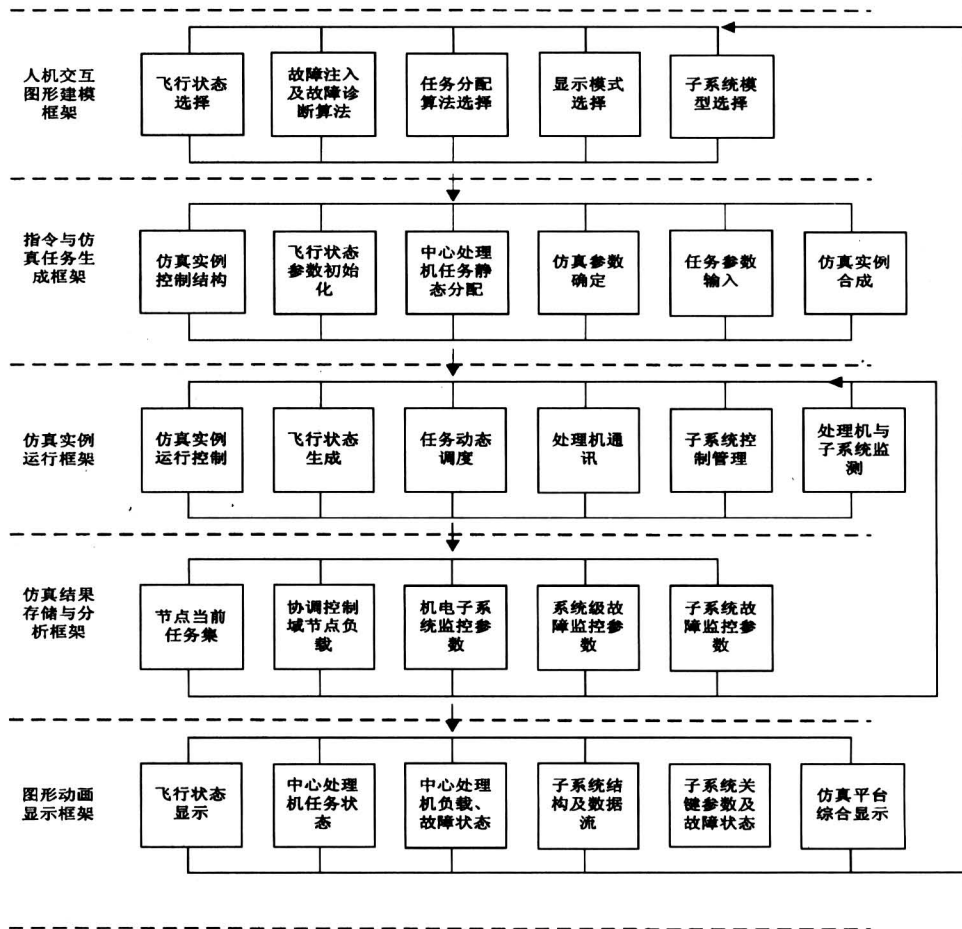


图 3 仿真平台应用层结构

Fig. 3 Applied-layer structure of simulation platform

3) 资源层 仿真系统中设计了飞行环境与机电系统仿真的基本模型库及调度算法库等, 形成仿真平台资源层, 可以完成不同型号飞机机电系统的综合仿真。

3 余度管理与故障系统结构

3.1 余度管理

所研究的机载机电系统综合管理仿真平台是以总线网络连接起来的 4 台分布式计算机承担对 5 个

以上机电子系统的控制与管理任务。分布式计算机在网络上有多台处理节点, 通过处理机节点之间余度结构的设计, 实现了当一个节点发生故障时, 通过任务调度, 将故障处理机节点所应处理的任务进行重新分配, 完成系统重构, 保证管理系统可靠性。因此, 此处的余度结构与传统的余度技术不同, 这里是通过对处理机节点的任务分配与调度实现余度结构的。对处理机节点故障的检测除采用“看门狗”等监测技术外, 还可通过功能测试与多

数表决的方法，步骤如下：

- a. 在任务空闲时间 1 台处理机通过网络向其他 3 台处理机发送一组随机数；
- b. 4 台处理机对该组随机数进行事先约定好的数学与逻辑运算；
- c. 4 台处理机以广播方式将计算结果互相交换；
- d. 每台处理机将收到的运算结果与自己计算的结果相比较，一致为正常，否则为不正常；
- e. 4 台处理机以广播方式交换比较判断的结果，进行多数表决；

f. 4 台处理机交换表决结果，作故障处理机的切除操作和任务的重新分配。

3.2 故障注入系统

故障注入系统结构如图 4 所示。通过软件实现对处理机节点、通信链路及机电子系统故障的模拟，建立中心计算机与子系统的故障模拟库，进而实现平台不同故障下的仿真试验及余度管理的仿真试验^[2]。

故障注入与模拟是平台进行最佳容错方案仿真的基础，要求故障结果具有可重复性，故障模型库中的模型均为确定性的故障模型。

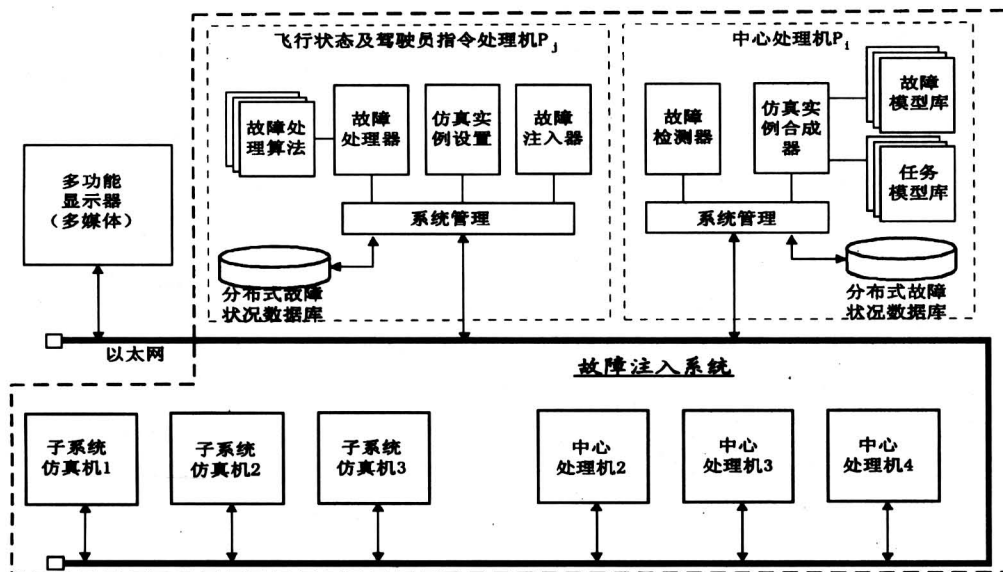


图 4 故障注入系统结构

Fig.4 Fault injection system structure

4 分布式处理机实时系统的任务分配与调度

机电系统任务集合是已知的^[3]，大多数任务是周期性的，从机电系统整体工作可靠性和保证飞行安全出发，应做到任务均匀分配，减少单机故障造成多子系统暂时失控的风险性，以及任务负担过重而进行的取舍，使任务分配实现全局优化。具体做法如下：

- a. 初始分配任务给每一台计算机；
- b. 每台计算机根据已有任务和新分配的任务计算新的调度周期，判断是否可以接受新任务；
- c. 每台计算机计算自身的工作负担，以百分

数形式给出；

- d. 每台计算机计算所承担的任务并给出任务种类和等级；
- e. 根据飞行状态对任务等级进行加权；
- f. 根据任务等级、数量、负荷确定风险系数；
- g. 以任务可否接收为先决条件寻找使风险系数在 4 台计算机间均匀分配的任务分配方案，必要时可舍弃系数最小的任务。

任务分配与调度的最终原则是按任务风险系数在 4 台处理机间均匀分配，有效降低单节点故障造成多个关键任务瘫痪的风险，在此基础上对负载等因素进行加权，均衡考虑。这与一般多处理机任务分配仅以负载为分配原则是有区别的，风险均衡的

分配方案不一定负载均衡。

仿真任务调度结构的一个示例如表1所示,表

1表明了4台主控处理机中有一台发生故障时任务重新分配情况以及余度等级变化情况。

表1 任务重新分配示意表(主处理器中某台发生故障时)

Table 1 Tasks redistribution showing table (certain computer of main processor is on fault)

	故障前任务分配	4号机故障后任务分配	1号机故障后任务分配
1号机	内部总线管理;接口管理;对2,3,4号机的监测;对2,3,4号机运行的控制律检测、表决	内部总线管理;接口管理;对2,3,4号机的监测;对2,3,4号机运行的控制律检测、表决;子系统A	1号机故障被隔离
2号机	子系统A;子系统B;子系统C;对1,3,4号机的检测	子系统A;子系统B;子系统C;子系统D;对1,3,4号机的检测	子系统A;子系统B;子系统C;子系统D;对1,3,4号机的检测
3号机	子系统A;子系统C;子系统D;子系统E;对1,2,4号机的检测	子系统A;子系统C;子系统D;子系统E;对1,2,4号机的检测	子系统A;子系统C;子系统D;子系统E;对1,2,4号机的检测
4号机	子系统A;子系统D;子系统E;对1,2,3号机的检测	4号机故障被隔离	子系统A;内部总线管理;接口管理;对2,3,4号机的检测;对2,3号机运行的控制律检测、表决
余度等级	系统B无余度;系统C,D,E二余度;系统A三余度	系统B无余度;系统E降级为无余度;系统C,D二余度,余度等级不变;系统A三余度,余度等级不变	系统B无余度;系统E降级为无余度;系统C,D二余度,余度等级不变;系统A三余度,余度等级不变

5 结束语

本文给出了仿真平台的硬软件组成,通过该平台能很好地进行各子系统综合管理的研究,通过具体机载子系统的研究,可以生成原理样机并提供相应的管理软件,也可进行原型机做不到的试验,如某些故障的注入试验。

参考文献

- [1] Collinson R P G. Introduction to Avionic[M]. Chapman & Hall, 1996. 406~419
- [2] 陈显峰,裘丽华. 分布式系统故障注入研究[J]. 系统仿真学报, 1999, (6): 473~476
- [3] 李扬,王占林. 机载机电设备综合控管系统任务分配研究[J]. 北京航空航天大学学报, 1999, 25(5): 527~530

Study of Bus Management of Airborne Electromechanical System

Wang Zhanlin, Qiu Lihua

(Auto Dept, Beijing University of Aero & Astro, Beijing 100083, China)

[Abstract] There are many electromechanical systems in various vehicles. They are managed in a separate subsystem way. This paper proposes the integrated management scheme which can, by means of the data bus, make the management of subsystem have the abilities of redundancy and tolerance failure, besides accomplishing its own independent functions. The paper emphatically introduces how to realize the integrated management by simulation platform and gives the structures of hardware and software of platform, as well as the strategies of task distribution and scheduling.

[Key words] distributed multiprocessor; simulation platform; tasks distribution; task scheduling; redundancy