

飞机维修模拟机模型结构设计

刘家学, 刘哲, 耿宏

(中国民航大学 航空自动化学院, 天津 300300)

摘要: 飞机维修模拟机能够完成综合维修训练, 已越来越多的应用于航空企业和航空院校进行维修培训; 维修模拟机包括故障、工作原理、操作等一系列复杂的维修模型, 其结构直接关系模拟机的工作效率与培训效果; 针对现有模拟机系统结构设计不统一且类型众多的问题, 采用结构化的系统设计思想, 依据模拟机各核心部分的要求, 将模拟机分解为多个维修模型和模块, 分析各个模型和模块的类型及特点, 进行了维修模型结构的设计; 经验证, 该结构有利于维修模拟机工作效率的提高, 且支持模型的维护和进一步扩展, 能够作为飞机维修模拟机系统设计与开发的一种通用的、标准化的结构。

关键词: 维修模拟机; 维修模型; 结构设计; 维修过程

Model Structure Design of Aircraft Maintenance Simulator

Liu Jiaxue, Liu Zhe, Geng Hong

(College of Aeronautical Automation, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: Aircraft maintenance simulator has been extensively applied to maintenance training for aviation companies and universities, as it can accomplish comprehensive maintenance practice. Maintenance simulator includes a series of complex maintenance model like fault, working principle and operation, efficiency and training effectiveness of maintenance simulator is directly related to its structure. According to the disunion of the designs of model structure, abundance of categories, with the structured systematic design, the aircraft maintenance simulator will be disassembled to several maintenance models according to the demand of each core section of it, then carried out the maintenance model structure design. This structure is conducive to the work efficiency of maintenance simulator, support to maintain and further expansion of maintenance model, and could be a universal and standardized structure for exploitation of aircraft maintenance simulator.

Keywords: maintenance simulator; maintenance model; structure design; maintenance process

0 引言

近年来已有一部分学者对模拟机的设计进行了研究。冯宇晨等构建了一个虚拟维修训练通用仿真软件的设计方案, 分析了在该通用框架下的各种可选择的软件平台及实现方法^[1]。解璞等提出了一种基于 Multi-Agent 的虚拟维修训练系统结构框架, 为虚拟维修系统的需求分析、设计、建模等软件开发环节提供了方法、技术和工具^[2]。张伟等介绍了某新型飞机维修模拟训练系统的组成和特点以及设计思路, 讨论了模拟仿真技术应用于装备维修的现实意义^[3]。谢华等介绍了一种飞机维修训练模拟器, 详述了其工作原理和软件设计^[4]。以上文献从不同的角度分析了模拟机的结构问题, 但大都是从系统组成框架或维修过程方面进行描述, 缺乏针对模拟机各核心部分及其之间关系的讨论, 且结构设计不统一, 形式各异。研究模拟机维修模型的类型及特点, 建立完整统一的模型结构, 对于模拟机模型的扩展和工作效率的提高有着重要的意义。

本文依据模拟机各核心部分的要求, 将模拟机分解为多个维修模型, 进行了模型结构的设计。该模型结构实现了模拟机

的统一化、结构化, 便于模型的扩展和程序的实现, 有利于模拟机操作与维修过程综合仿真效率的提高。

1 结构化系统设计方法

1.1 结构化系统设计概念

系统结构化设计是指, 一个系统是由一组具有层次化、结构化的模块构成, 每个模块具有一定的属性和输入输出接口, 有模块的构造标准和模块之间衔接的准则, 尽可能用最优的方式, 将系统各模块组织起来。确切的说就是用一组标准的工具确定系统由哪些模块、用什么方式联接在一起, 能够构成一个最好的系统^[5]。

1.2 系统设计目标

1) 可靠性: 系统可靠性体现在系统正常工作的能力上, 包括工作的正确性和连续性等方面。

2) 高效性: 系统高效性体现在进行一项操作或完成一个任务时系统的响应时间、运行速度、运行能力以及数据传播的合理性;

3) 维护性: 系统维护性体现在系统在被修改或扩展时的难易程度, 系统的设计应该遵循开放性的原则, 不断满足系统新的目标和要求。

4) 标准化: 系统结构设计要用标准的准则、工具和方法, 设计过程各部分有明确的定义, 结构具有一定的通用性和可移植性。

1.3 系统设计方法

系统结构化设计是一种模块化的设计思想, 以系统的逻辑功能为基础, 将系统分为多个大小适当、功能明确、独立性强且容易实现的模块, 从而把复杂的系统结构设计分解为若干模块的设计, 即系统的结构是具有一定层次和关联的模块化结

收稿日期: 2014-09-11; 修回日期: 2014-10-10。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(60832011); 天津市科技攻关计划重点项目(06YFGZGX00700); 中央高校基本科研业务费专项(ZXH2012B001)。

作者简介: 刘家学(1969-), 男, 福建漳平人, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事民机虚拟维修、民航数据和信号处理方向的研究。

耿宏(1964-), 男, 安徽休宁人, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事民机虚拟维修和智能故障诊断方向的研究。

构。系统设计主要分为系统总体功能分析、系统模块分解与描述和系统整体结构实现。

1.3.1 系统总体功能分析

系统结构化设计需要对系统各部分的输入、输出、系统的数据结构以及逻辑功能结构都有明确的定义,而这些定义来自系统的逻辑功能和工作原理。这就需要在系统设计之前,用标准的准则和工具进行系统分析,明确系统功能需求。

系统功能分析从系统所要实现的基本目标出发,划分工作阶段,明确每个工作阶段的任务和所应得到的结果,从而将整体功能逐级分解成具体的、单一的功能逻辑。

1.3.2 系统模块分解与描述

1.3.2.1 模块的概念

模块是可以组合、分解和更换的单元,是组成系统易于处理的基本单位^[5]。一个模块具有输入输出、逻辑功能、状态、执行代码和内部数据等属性,其中输入输出、逻辑功能和状态是外部属性,执行代码和内部数据是内部属性。在系统结构化设计中,只需要关心模块的外部属性。

1.3.2.2 模块分解原则

1) 模块内聚:模块的内聚是评价模块整体性、统一性、独立性和专一性的指标。系统设计要求模块应具有较强的内聚程度,一个模块应具备独立完成某一项操作任务的能力,各模块组合在一起共同完成系统整体功能。模块内聚性如图 1 所示。

高 ←————— 内聚性 —————→ 低

| | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 功能内聚 | 信息内聚 | 通信内聚 | 过程内聚 | 时间内聚 | 逻辑内聚 | 偶然内聚 |
|------|------|------|------|------|------|------|

图 1 模块内聚性

2) 模块耦合:模块之间的耦合程度是决定系统结构合理性的关键因素。应尽量将模块之间的耦合程度降低,仅存在相互调用或是数据传输耦合,消除深入模块内部的相互控制关系,一个模块的运行操作与其他模块的存在与否无关,这样有利于系统结构的维护和扩展。模块耦合性如图 2 所示。

低 ←————— 耦合性 —————→ 高

| | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 数据耦合 | 特征耦合 | 控制耦合 | 公共耦合 | 内容耦合 |
|------|------|------|------|------|

图 2 模块耦合性

1.3.2.3 模块分解与描述

根据系统功能分析,确定系统应实现的功能,建立系统功能结构图,如图 3 所示。

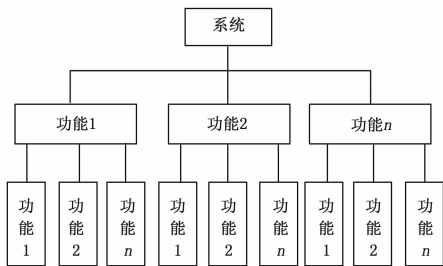


图 3 系统功能结构

模块分解以系统功能结构为基础,遵循模块分解的原则,自上而下划分出系统应具备的核心模块,做到“自顶向下、逐层细化、逐步求精”。针对每个模块的输入输出、逻辑功能和状态等外部属性,对模块进行具体描述。

模块描述包括输入、输出和逻辑功能,模块具有多输入多输出的特点。定义模块输入 $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$, 模块逻辑功能 G , 模块输出 $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$, 则有模块表达式:

$$Y = Gf(X) \quad (1)$$

1.3.3 系统整体结构实现

根据模块的分解与描述,分析各模块的功能,在保证系统的可靠性和高效性基础上,依据模块之间的数据传输关系,将各模块按照其输入输出方式联接在一起,形成系统整体结构,完成系统设计。

2 模拟机模型结构设计

运用上述结构化系统设计方法,以某型号飞机为例,建立一种飞机维修模拟机设计开发的通用结构,并评估该结构的可行性。

2.1 系统总体功能分析

在模拟机结构设计过程中,首先应确定模拟机仿真的功能需求。

模拟机的功能包括正常操作逻辑和维修排故过程两个方面。操作逻辑是模拟机最基本的功能,例如打开灯光、液压增压、发动机启动、开舱门等;维修排故是操作逻辑的一部分,是针对某个系统或组件的具体任务。

通过分析飞机维护手册(AMM)和飞机排故手册(TSM),可以得到飞机外场维修的维修过程分为现象分析、系统测试、故障诊断、测量换件和测试确认等步骤,分析维修过程得出模拟机应仿真的操作和行为。

1) 现象分析:主要包括航后报告、显示系统故障效应、面板效应、声音效应等,主要是驾驶舱内的故障现象。

2) 系统测试:通过机内测试进行相关系统测试,确认排故任务。

3) 故障诊断:根据维修手册中相应的任务和任务描述,确定故障点以及测量方法。

4) 测量换件:根据诊断故障点,进行线路的测量、更换以及 LRU 的自测试和换件。

5) 测试确认:进行系统测试和 LRU 的自测试,若故障效应仍然存在,则继续上述维修过程,若测试正常则恢复工作环境。

综上所述,模拟机应具备仿真故障设置、驾驶舱逻辑操作、故障效应显示、系统测试、组件自测试、电路测量、组件更换等功能,以完成整体维修任务。

2.2 系统模型分解与结构描述

在系统逻辑功能分析基础上,建立系统功能结构如图 4 所示。

遵循模型分解原则,将模拟机分为多个核心功能模型和模块,主要包括中央控制端、驾驶舱操作模型、维修场景操作模型、系统工作原理操作模型、监控模块、系统状态显示模块和通信模块等。

2.2.1 中央控制端

中央控制端是模拟机的核心,包括故障数据库、客户端软件和信息监控模块。控制端读取故障数据库中的故障信息,经运算整合成为故障传播数据输出;信息监控模块作为终端接受正常操作与排故过程中用户的操作信息。由中央控制端和故障数据库抽象功能模型,内部数据库 X_d 、用户信息反馈 X_u 及控制输入 X_c 作为模型的输入;整合故障

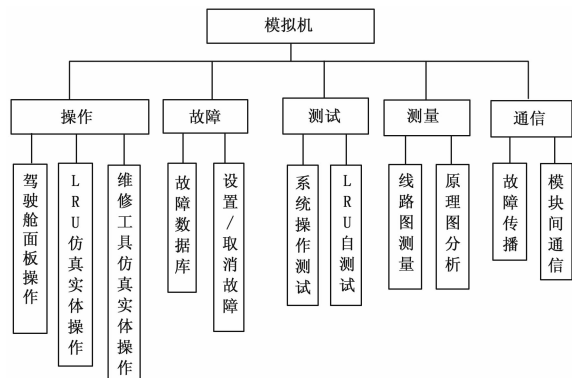


图 4 系统功能结构图

传播数据 Y_f 和监控信息 Y_o 作为模型输出；逻辑功能包括故障控制 G_f 和监视控制 G_o 。表达式为：

$$Y_f = G_f f(X_d, X_c) \quad (2)$$

$$Y_o = G_o f(X_u) \quad (3)$$

2.2.2 模拟驾驶舱操作模型

模拟驾驶舱是由飞机各个系统的操作面板、声音系统、显示系统以及 MCDU 等组成。系统面板接受逻辑功能与故障的输入，输出系统的功能与状态至声音显示系统或是其他系统。以各子系统为核心的驾驶舱操作模型，以系统结构为基础，每个子系统抽象出 LRU 模型，具有多输入多输出的特点。模型接受控制输入 X_c 、功能输入 X_{fucd} ，和故障输入 X_{fal} ；输出包括系统的状态输出 Y_s （系统面板状态、显示系统状态以及声音响应），以及功能输出 Y_{fucd} ；逻辑功能包括系统工作原理 G_w 和操作逻辑 G_l 。表达式为：

$$Y_s = G_l G_w f(X_{fucd}, X_c, X_{fal}) \quad (4)$$

$$Y_{fucd} = G_w f(X_{fucd}, X_c, X_{fal}) \quad (5)$$

2.2.3 模拟外场维修场景操作模型

模拟外场维修场景以 3D 环境漫游实体为依托，包括了 3D 飞机实体及仿真 LRU 模型、工具实体和航材耗材实体，支持飞机维修过程中拆装和勤务等维修任务的仿真。以 LRU 模型为核心的维修场景操作模型，其输入主要包括功能信号输入 X_{fuce} 、控制逻辑输入 X_c 、故障输入 X_{fal} 和工具输入 X_t ；输出包括运动输出 Y_m 、功能输出 Y_{fuce} 和状态输出 Y_s ；逻辑功能包括 LRU 工作原理 G_w 和拆装操作逻辑 G_l 。表达式为：

$$Y_m = G_l f(X_c, X_t) \quad (6)$$

$$Y_{fuce} = G_w f(X_{fuce}, X_{fal}) \quad (7)$$

$$Y_s = G_w f(Y_m, X_{fuce}, X_{fal}) \quad (8)$$

2.2.4 系统工作原理操作模型

原理图模型与电路模型构成系统工作原理操作模型，支持系统工作原理逻辑描述、故障输入、电路测量和故障隔离等维修任务。模型接受系统功能输入 X_{fucp} 、故障输入 X_{fal} 和逻辑操作输入 X_c ；输出系统功能 Y_{fucp} ；功能包括系统工作原理 G_w 。表达式为：

$$Y_{fucp} = G_w f(X_{fucp}, X_{fal}, X_c) \quad (9)$$

2.2.5 通信模块

通信模块包括故障数据传播模块以及各模型之间的数据通信模块。由上述分析可知，各模型均有故障数据输入，故障数据应由中央控制端经运算打包后传播至各模型。模型之间由于耦合度低，需要通过通信模块建立必要的数据传递关系，将各模型的功能输入和功能输出联系在一起。其中驾驶舱操作模型、维修场景操作模型和工作原理模型的功能数据互为输入输

出，即：

$$Y_{fucd} = f(X_{fuce}, X_{fucp}) \quad (10)$$

$$Y_{fuce} = f(X_{fucd}, X_{fucp}) \quad (11)$$

$$Y_{fucp} = f(X_{fucd}, X_{fuce}) \quad (12)$$

2.3 系统总体结构设计

根据各维修模型和模块的功能特点及逻辑关系，建立模拟机系统整体结构，如图 5 所示。

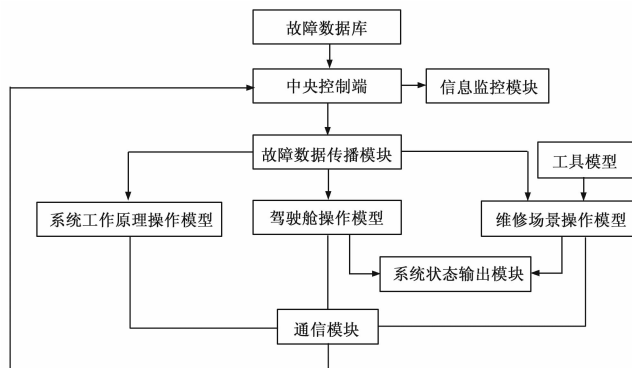


图 5 系统整体结构

3 结构设计验证与分析

中央控制端读取故障数据库的故障数据，经运算整合为故障信息传播到原系统工作原理操作模型、驾驶舱操作模型和维修场景操作模型，使这 3 种操作模型具有故障特征属性；驾驶舱内通过系统操作测试和航后报告确认故障点，进行维修相应操作；原理图中可以看到系统非正常工作状态，电路图中通过对线路的测量进行相应的更换线操作；维修场景内可对 LRU 进行自测试，利用维修工具进行更换件操作；上述各部分通过通信模块实时反馈操作信息给信息监控模块，并互相传送操作状态，建立起有效的沟通，以实现完整的操作维修任务。

结构中模型之间关系明确，操作与维修过程紧致有序，效率较高。各模型内聚程度高，均能够单独完成某一项操作；模型之间耦合程度低，通过通信形成一个统一的整体，支持飞机完整维修过程。结构具有一定的整体性、统一性和可扩展性。

4 结束语

针对现有模拟机结构不完整且设计种类多样等问题，采用一种结构化的系统设计方法，依据飞机维修排查过程，分析模拟机系统功能，研究维修模型组成与划分，设计了标准化的维修模型结构。该结构涵盖了飞机操作和维修任务全部功能的仿真，可作为任意型号的飞机或任意功能任务的维修模拟机的开发工具，具有一定的通用性。

参考文献：

- [1] 冯宇晨, 刘金林, 曾凡明. 通用虚拟维修训练仿真软件的设计与实现 [J]. 中国修船, 2008, 21 (4): 42-44.
- [2] 解 璞, 苏群星, 谷宏强. 装备虚拟维修训练系统设计方法研究 [J]. 系统仿真学报, 2006, 18 (8): 2195-2198.
- [3] 张 伟, 库丽媛. 某新型飞机维修模拟训练系统 [J]. 航空制造技术, 2011, 8: 76-79.
- [4] 谢 华, 闫景波, 魏 东, 等. 一种飞机维修训练模拟器的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2002, 10 (11): 762-764.
- [5] 李 忠. 计算机应用系统开发过程中“结构化系统设计”方法初探 [J]. 煤矿开采, 2002, 52: 85-88.