

基于 ARINC739 规范的控制显示组件仿真系统研究

张文林¹, 周德新², 樊智勇¹

(1. 中国民航大学 工程技术训练中心, 天津 300300; 2. 中国民航大学 航空自动化学院, 天津 300300)

摘要: 通过对 ARINC739 规范的研究, 利用接口仿真技术设计了具有真实航电组件接口特性和外形的多功能控制显示组件仿真系统; 系统设计使用面向对象的设计语言, 建立了符合 ARINC739 规范通信接口模型, 解决了页面系统生成、协议故障注入等关键问题; 仿真结果表明, 仿真系统可以完成与其他飞机系统的数据交互和显示, 协议故障注入功能对于测试其他仿真组件的故障处理功能有较大帮助。

关键词: 多功能控制显示组件; 页面系统; ARINC739 协议

Research of Control and Display Unit Simulation System Based on ARINC739 Protocol

Zhang Wenlin¹, Zhou Dexin², Fan Zhiyong¹

(1. Engineering Techniques Training Center, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China;

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

Abstract: Through the research of ARINC739 protocol, use the interface simulation technology design the multi-purpose control and display unit simulation system with realistic avionics component interface characteristics and appearance. The system used an object-oriented language, established the communication interface model based on ARINC739 protocol, solved the key problems such as page system generation and protocol fault injection. Simulation results show that, the system can be accomplished data exchange with other aircraft systems and data display, the fault injection protocol processing functions for testing other components fault simulation capabilities have more help.

Keywords: multi-purpose control and display unit; page system; ARINC739 protocol

0 引言

多功能控制显示组件 (multi-functional control display unit, MCDU) 作为飞行管理计算机 (FMC) 的人机交互组件, 用于建立起飞行员和飞行管理系统等子系统之间的联系, 在飞行中发挥着重要作用, 飞行员通过 MCDU 键盘完成建立飞行计划、修改航路、设置性能参数等, 通过 MCDU 显示屏查阅飞行参数。地面维护人员通过 MCDU 查看各个飞行航段故障报告、启动故障隔离、地面测试等。随着世界民用航空技术领域的高速发展, 民航飞机性能的不断提高, 机载设备越来越多而且越来越复杂, MCDU 对于保证飞行安全、提高飞机可维护性等方面具有重要作用, 因此, 开展对 MCDU 技术的研究与仿真具有极其重要的意义。

1 仿真器系统结构

鉴于 MCUD 在飞机系统中的主要作用, 对于 MCUD 的功能、工作原理、软件建模仿真等都有专门的研究, 但是对于 MCDU 的信息传输协议、接口模型、数据传输、故障仿真等方面研究较少, 在工程实现中也遇到了很多数据交互方面的问题。

目前比较应用较多的虚拟设备开发工具实现界面与面板仿真、数据通信和虚拟按键输入等基本功能的模拟方法^[1], 可以在一定程度上满足人机交互的需求, 但是这种图形化的模拟方式操作体验并不好, 使用鼠标键盘或者触摸屏等的输入方式与真实飞机操作习惯有很大区别^[2]。由于不具有 ARINC429 总线通信功能, 无法实现与真实航电组件交互。本文使用基于接口的系统仿真、建模方法, 设计全仿真外形并具有完全功能的 MCUD 仿真系统。

真实 MCDU 主要包括页面显示器、功能键、行选键、字母数字键、背光调节旋钮及故障信息灯等^[3], 那么在设计 MCDU 的仿真系统时就需要对其外形和功能进行完全地模拟, 以达到较高的仿真度。

MCUD 模拟器的结构分为全仿真 MCDU 和上位机控制程序两部分, 前者为全仿真外形的 MCUD 实物, 可以完整模拟 MCUD 的功能, 背板接口通过 ARINC429 总线与航线可更换组件 (LRU) 通信, 传输协议符合 ARINC739 规范。上位机控制程序通过网络完成 739 协议的仿真, 并具有协议故障注入功能、航空总线数据分析、页面存储等功能。

2 硬件设计

MCDU 仿真设备由带灯按键面板、LCD 模块、背光控制、主控制板、ARINC429 板卡、背部连接器及网络接口等组成。带灯按键面板使用铝合金材质制作, 按键使用硅胶材质, 并具有透光效果, 保证其具有很好的操作感受, 按键电路板使用键盘矩阵方式, 循环扫描获取键值。LCD 模块使用带背光控制的 5.7 英寸彩色液晶屏, 可以显示 14 行 24 列字符, 并可显示

收稿日期: 2014-05-19; 修回日期: 2014-06-19。

基金项目: 中国民航大学实验技术创新基金(15-13-01)。

作者简介: 张文林(1985-), 男, 山东省高密市人, 讲师, 主要从事综合化航电系统仿真及故障诊断技术的研究。

周德新(1954-), 女, 辽宁省本溪人, 硕士, 教授, 主要从事航电组件故障检测和系统仿真方向的研究。

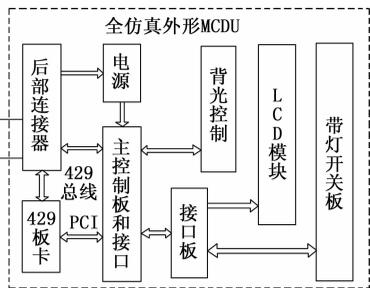


图 1 全仿真外形 MCDU 结构图

短横线和方框等特殊字符。背部接口提供两路高速 ARINC429 总线输入，一路低速总线输出，用于左、右两部 FMC 的数据连接。扩展 5 路低速 ARINC429 总线输入和 1 路总线低速输出，用于其他航电子系统的数据交互（如 ACARS、CMS、DFDAU 等），网络接口主要用于和上位机控制程序的命令交互。主控制板使用带 PCI 插槽的微型主板，用于完成页面组织、生成、按键处理、ARINC429 数据字编解码、网络通信等重要作用，ARINC429 板卡完成总线数据的发送和接收功能。

3 软件设计

仿真系统的软件功能如图 2 所示，由协议接口模型部分、页面生成部分及上位机控制部分等构成。

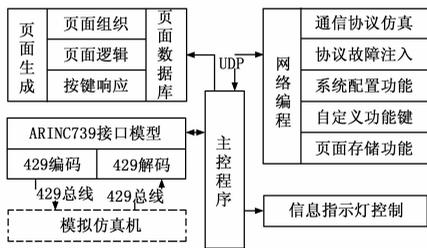


图 2 仿真系统的软件结构

3.1 ARINC739 交互接口的设计

ARINC739 规范是 MCDU 的通用设计和开发指南，对 MCDU 的功能和与其它系统的接口方式进行了描述，规定了航电厂商必须要遵守的设计规范^[4]，因此要完成对 MCDU 全功能的模拟，不仅要有外形和功能的仿真，更重要的是数据格式和数据交互协议必须严格满足 ARINC739 规范的要求，使其可以与真实的航电组件交互。本文以几个典型的通信过程为例，介绍其交互接口的设计。

3.1.1 MCDU 与子系统通信确认程序设计

MCDU 上电后完成自检，在之后的 13 s 内查询其 7 个基本输入接口，优先级由高 #1 到低 #7，其中 #1 和 #2 为连接 FMC 的高速 429 总线，其余为低速。如果 13 s 内接收到 Label 272 的子系统 SAL (subsystem address label)，MCDU 返回标号为 SAL 含有 MAL (MCDU address label) 的 ENQ 字。子系统回复一个标号为 MAL 的 RTS (request to sent) 字，MCDU 回复 CTS (clear to sent)，通信确认完成，MCDU 发送 bit 17~20 表述为正常状态的 ENQ 字，子系统开始传递初始化页面内容。如果 13 s 内没有建立正常的通信确认，MCDU 查询下一个优先级的接口，直到与子系统建立正常的通信连接。

3.1.2 MCDU 页面信息传递程序

当 MCDU 与子系统建立正常的通信连接后，MCDU 向子系统发送交互查询指令（包含按键请求字），子系统接收到后查询 ISO # 5 表，如果没有对应的字符，则 200 ms 内返回 NAK (not-acknowledge transmission) MCDU 重新发送按键命令字。如果有对应字符，否则返回 ACK (acknowledge transmission)，并回复 RTS (request to send)，MCDU 回复 CTS (clear to send)，子系统接收到后发送 STX 字给 MCDU，包含总记录字符数和当前记录字符序列数。子系统首先发送一个控制字，该控制字包含初始字符位置，行号，字符颜色等信息，然后开始发送 DATA 字，数量由 STX 中的字符数决定，一条记录传输完成以 ETX 结束，如果有 *n* 条记录其传输方法是在最后一条记录传输完成后发送一个 EOT。当收到最后一条的 EOT 字时，整个页面信息传输完毕；如果接收到数据字解析后完整，则 MCDU 在 1.5 s 内回复子系统 ACK，MCDU 按照页面组织方式将页面显示出来；如果数据不完整则需要回复 NAK，将错误记录重发，或者回复 SYN，将整个页面数据重新发送。

一个子系统已经在菜单列表中和 MCDU 建立连接，但并不是激活通信的状态，当子系统需要发送数据给 MCDU 时，发送一个 MAL 为 LEABL 的 RTS 给每个 MCDU，如果此时 MCDU 没有和该子系统处于激活通信状态，则 RTS 可以使 MCDU 面板上的通告灯点亮，来提醒驾驶舱有一条信息等待显示。

3.1.3 MCDU 与子系统数据通信程序

当子系统在没有驾驶舱操作需求时需要发送信息给 MCDU，如果子系统已经在菜单列表中和 MCDU 建立连接，但是并不是激活通信的状态，这时子系统发送数据给 MCDU，发送一个 MAL 为 LEABL 的 RTS 给每个 MCDU，如果此时 MCDU 没有和该子系统处于激活通信状态，则 RTS 可以使 MCDU 面板上的通告灯点亮，来提醒驾驶舱有一条信息等待显示。MCDU 在 200 ms 内响应一个最大记录数为零的 CTS，并发送一个 ENQ 给子系统，此时，子系统给其他 MCDU 发送一个离散字，熄灭在菜单页面的通告灯。如果子系统是通信激活状态，其通信流程和前边介绍的是一致的。

3.1.4 按键信息交互

按键是 MCDU 的人机交互中唯一的输入方式，主要包括功能方式键、字母数字键和行选键，操作者对飞机系统的操作都是通过 MCDU 的按键完成的，因此对按键信息的交互处理是一项关键的技术。

当操作者按下按键时，一个包含 ISO # 5 数据的 ARINC429 字就发送给相关子系统，如果收到的数据正确，子系统回复 ACK；否则回复 NAK。MCDU 收到 NAK 后重新发送按键字，直至接收到 ACK 字。如果在主菜单模式下，按下行选键或者 MCDU 菜单键，因为不涉及对子系统的请求，不会发送按键字。

3.2 页面生成设计

页面系统是 MCDU 仿真中的关键技术，在真实飞机系统中，页面数据由 FMC 等组件传输给 MCDU 进行显示。为了设计的 MCDU 仿真系统不仅可以与其他组件交互，还具有独立仿真功能，系统设计加入了页面生成功能，其主要包含页面生成功能、页面逻辑管理功能及按键处理功能 3 个方面的内

容。其中页面生成模块完成页面数据的交互、页面数据的生成、页面数据的组织、警告信息的获取和字母数字信息的处理。页面逻辑管理功能模块主要完成页面切换逻辑的管理功能, 根据不同的按键请求, 切换出正确的页面。按键处理功能完成键值信息分类, 调用页面切换逻辑模块等功能。

3.2.1 页面生成功能模块

由于 MCDU 页面管理和页面切换逻辑复杂, 为了降低仿真系统的开发难度和硬件开销, 本文提出一种将真实 MCDU 组件的所有页面信息构成一个页面数据库的页面管理方法, 文档名即为该页面访问标示 pageflag, 存储的页面格式与真实页面相同。当生成显示页面时, 只需依次读取数据库的页面信息字节即可, 响应时间短, 便于后期修改。其中, 页面信息中的变量值为空, 当需要显示该页面时填入便笺行变量中存储字母数字键响应函数输出值, 程序中定义页面信息的显示变量, 包括起始机场代码、导航点代码、坐标、巡航高度, 巡航空速、襟翼角度、飞机零燃油重量等变量信息。

3.2.2 页面逻辑管理功能模块

页面切换逻辑程序实现时, 定义一个状态变量、一个标题变量、两个页码变量、一个便笺行变量、十二个左右行选键对应的标题变量和数值变量。对每一个功能键对应的页面上使用 switch 选择结构, 通过判断 keyvalue 的键值和行选键 lineselkey 值, 决定修改页面访问标示 pageflag 值, 当循环到下一次时执行页面切换。对于有多页显示的情况, 还需判断页码总数变量与当前页码变量, 来执行上下翻页功能。

3.2.3 按键处理模块

MCDU 按键处理模块主要调用相应的按键响应函数, 启动对应的处理流程, 如图 3 所示, 主要包括行选择键处理流程、功能键处理流程、字母数字键处理流程和自定义功能键处理流程。

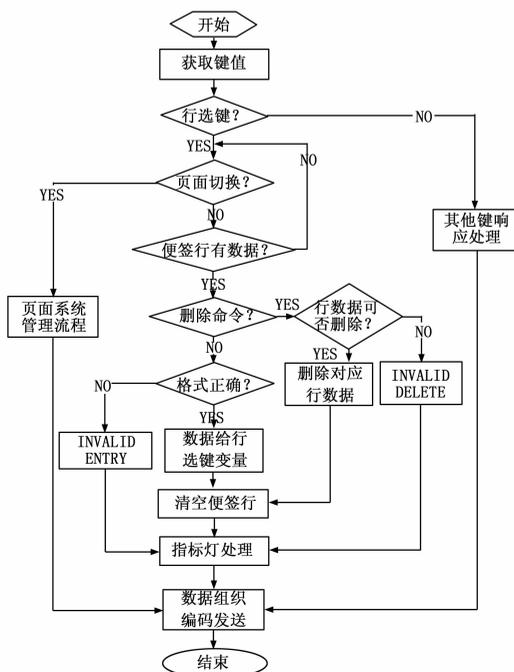


图 3 按键响应流程

不同的页面响应逻辑, 在页面选择界面下, 按下行选键, 按键响应函数启动, 修改全局变量页面访问标示 PageFlag, 即可执行页面生成功能模块, 完成页面切换。在非页面选择界面下, 首先判断便笺行是否有数据, 如果有, 则说明当前处于字母数字输入状态, 当按压某个行选键, 先判断所输入的数据的是否符合格式要求, 若不符合格式要求, 则在便笺行显示 ‘INVALID ENTRY’ 的警告信息; 若符合格式要求, 还要进一步判断是否符合飞行设计要求, 若不符合, 则在便笺行显示如 ‘NOT IN DATA BASE’、‘NO ACTIVE ROUTE’ 等相应的警告信息, 该信息需要与模拟机系统的数据交互获取; 若符合要求, 则将便笺行的数据赋给行选键对应位置的变量, 同时键的数据复制到便笺行。如果便笺行的数据为 ‘DELETE’, 则该命令可以清除选中的行选键对应的数据。

3.3 故障注入设计

故障注入软件功能驻留在上位机内, 通过网络将控制指令发送给 MCDU 仿真器主控单元。可以完成和仿真器实物相同的 ARINC739 协议控制功能, 还具有模拟组件通信故障, 页面存储等功能。

3.3.1 ARINC 739 协议时序故障仿真

以设计的 ARINC739 协议接口模型为基础, 只需修改通信时序, 就可以设置 MCDU 不响应 EOT 字、响应 CTS 字中的记录数小于 RTS 字、不响应 CTS 字、使用 NAK 响应 EOT 字等自定义故障类型。设定好的故障信息通过网络注入到 ARINC739 协议接口模型中模拟通信故障, 另外通过对 MCDU 页面的显示情况监视, 还可以完成对 FMC 等交联系统通信故障处理的测试。

3.3.2 根据不同的系统配置, 对 MCDU 13 个功能按键进行定义。由于 MCDU 仿真的硬件部分是以按照某一件号设计, 为了扩展其应用场合, 在上位机模拟软件中加入特殊功能键自定义功能, 当该功能键被按下后, 其对应一个自定义的 LABEL 和数据发送给 LRU。

3.3.3 根据不同的系统配置, 对 MAL 和 SAL 的定义。在 ARINC739 协议接口模型中要求发送带有 MAL 或者 SAL 标号的数据字, MCDU No. 1~4 的 MAL 分别为 220、221、222、230, SAL 则根据具体的子系统而定。

4 仿真实验

仿真实验过程以设置某一航线的导航点和飞机性能参数为例^[5], 完成一次天津滨海国际机场到达首都国际机场 (ZBAA) 的航线设定。首先 MCDU 通过 ARINC429 总线和离散接口连接配线架接入仿真主机, 然后从 MCDU 端依次设置好识别页位置起始页面、航段航线数据如图 4 所示。对于 MCDU 维护自检功能页面测试如图 5 (a) (b) 所示, 选取数字式飞行控制系统 (DFCS) 和大气数据惯性基准系统 (ADIRS) 的地面操作测试为例。

通信故障的仿真实验选取按键响应流程为例, 在上位机界面设置好页面故障 (MCDU 不响应 CTS 字) 注入信息后, 故障通过网络注入到 ARINC739 接口模型中, 此时页面信息不会更改。当在上位机软件中修改 MCDU 为正常状态时, 页面信息回复正常显示。

通过上面的两个仿真实验过程可以看出该 MCDU 仿真系统可以较好地完成组件通信交互、页面显示、按键处理及协议

以行选择键处理流程设计为例, 其在不同的页面条件下有

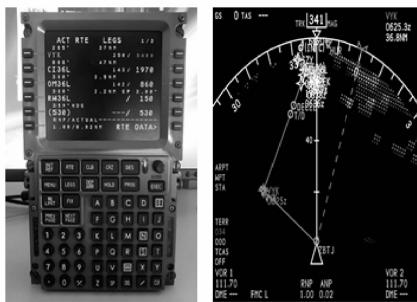


图 4 仿真验证结果

(ZBTJ) 通过导航台 (VYK)



(a) 位置起始页面 (b) 性能起始页面 (c) DFCS 测试 (d) ADIRS 测试

图 5 航线设置页面和测试页面

故障注入等功能, 系统稳定可靠, 可以满足飞行操作模拟等场合的需要。

(上接第 2576 页)

4.2 抛物线曲线控制仿真

曲线函数为:

$$(a) y = 0.0002x^2 (1 \leq x < 1000);$$

$$(b) y = 200(1001 \leq x < 1100);$$

仿真曲线如图 5 所示。

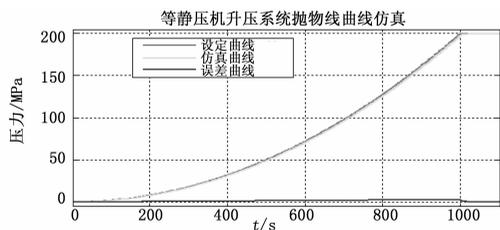


图 5 抛物线曲线

4.3 圆曲线控制仿真

曲线方程为:

$$y = 200 - \sqrt{40000 - (x-1)^2} (1 \leq x < 121);$$

$$y = 0.4x - 8.4 (121 \leq x < 521);$$

$$y = 200 (522 \leq x < 600).$$

仿真曲线如图 6 所示。

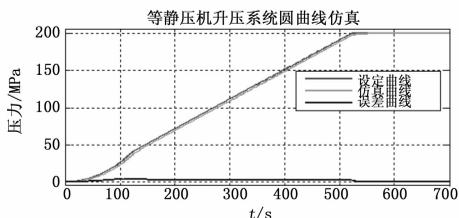


图 6 圆曲线

5 结论

通过对 ARINC739 规范的深入研究, 利用接口仿真技术设计的具有真实航电组件接口特性和外形的多功能控制显示组件仿真系统。使用实物化面板代替图形化的虚拟界面和面板, 具有很高的仿真度和逼真的操作手感。提出了基于数据库的页面生成和管理方法, 降低了开发难度和硬件要求。系统中协议仿真和故障注入功能可应用于航电系统仿真和通信验证方面。

参考文献:

[1] 向明, 马存宝. 基于 VAPS 的 FMS CDU 实时仿真系统开发 [J]. 计算机仿真, 2006, 23 (8): 244-247.

[2] 罗春波, 沈为群, 宋子善. 飞行多功能显示器仿真系统的研究与实现 [J]. 计算机仿真, 2004, 21 (12): 249-251.

[3] 云超, 李小民, 郑宗贵, 刘品面向对象与应用框架的飞行仿真软件开发方法 [J]. 探测与控制学报, 2013, 35 (4): 58-67.

[4] Madden M M, Sugden P C. Extending a flight management computer for simulation and flight experiments [A]. Proceedings of AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference [C]. San Francisco: USA: [s. n.], 2005.

[5] 穆凌霄, 王新民, 刘进义, 等. 基于飞控半物理仿真平台的模拟座舱及虚拟仪表系统的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (11): 3113-3128.

通过误差曲线计算最大误差值, 4 种曲线的最大误差值小于 1 MPa, 控制器能够实现对升压过程的高精度跟随控制。

5 结论

研究了等静压机升压系统的组成、系统特性、控制系统的建模、控制算法研究与系统仿真。采用理论系统辨识法得到了升压系统数学模型, 采用实验阶跃相应法, 确定模型参数, 得到升压系统传递函数。采用 SIMULINK 仿真平台对给定几种常见的工艺曲线进行仿真实验, 结果表明: 所设计的控制器与控制算法可以满足等静压机的宽压力范围的高精度控制要求。

参考文献:

[1] 孙建. 等静压炸药装药技术发展与应用 [J]. 含能材料, 2012, 20 (5): 638-642.

[2] 范玉德, 曹志伟, 张程滔. 温等静压机安全保护系统设计 [J]. 控制工程, 2011, 18 (s): 134-140.

[3] 章宏甲. 液压与气动传动 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.

[4] 闫邦椿. 机械设计手册第 22 篇液压与传动 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010: 22-35.

[5] 胡寿松. 自动控制原理 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.

[6] 王正林, 郭阳宽. 过程控制与 SIMULINK 应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.

[7] 云超, 李小民, 郑宗贵. 基于 Matlab/Simulink 的硬件在回路无人机仿真系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (12): 3306-3308.

[8] 李颖. SIMULINK 动态建模与仿真 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2009.