

## 借助 Simulink 飞行仿真的航电系统设计平台及应用

尚文轩, 王贺, 高雅  
(中航航空电子有限公司, 北京 100086)

**摘要:** 针对通航航空电子系统的综合处理机设计过程中的传感器 ICD 仿真模块进行改进, 引入 Matlab/Simulink 联合飞行模型作为传感器仿真激励, 并使其与综合处理机交互。其优点为综合处理机接收到的各个物理量来自同一飞行模型, 使得处理机的处理结果具有实际意义; 处理机的解算输出能够与 Matlab/Simulink 同步算法的输出进行比较, 使得处理机的解算功能容易验证。

**关键词:** 航电系统; ICD 仿真; 飞行仿真; Matlab/Simulink 模型; 综合处理机算法

**中图分类号:** V243; N945.13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2014)08-0006-04

## The Avionic System Platform Based on Flight Simulation of Simulink and Its Application

SHANG Wen-xuan, WANG He, GAO Ya  
(Avionics Co. Ltd, AVIC, Beijing 100086, China)

**Abstract:** The ICD simulation module, included in design of the general avionics integrated processing system, was improved by taking the Matlab/Simulink co-simulation flight model as simulation stimuli, and making it interactive with the integrated processor. This method has the following advantages: 1) the physical quantities received by the integrated processor is from the identically simulated flight model, which makes the results of actual significance; and 2) the calculation results can be compared with the output of simultaneously algorithm of Matlab/Simulink to ease the debugging and verifying of the processor's functional designation.

**Key words:** avionic system; ICD simulation; flight simulation; Matlab/Simulink model; integrated processor algorithm

### 0 引言

由于受通航航空飞机体积、重量、功耗等的限制, 通航航电系统的设计需考虑模块和功能的高度集成性。搭建通用航电系统一体化设计平台, 对传感器接口控制文件(ICD)、处理机调度与算法、显控 POP 设计等均有快速验证与优化的特点, 为通航航电系统进行总体定义和设计、系统的体系架构、样机研制等提供必要的技术平台<sup>[1]</sup>。

通航航电系统按功能划分为传感器、信息综合处理机和显控处理机(现多为 SMART 显示器)<sup>[2-3]</sup>。传感器是数据多源异构性的来源, 它负责将飞行器的各个相关或无关的物理量转换为电信号, 并随时响应

上层(信息综合处理机)发来的命令; 信息综合处理机是航电系统性能保证约束下的资源综合利用调度的核心, 它负责收集传感器的多元异构物理量, 经过计算、裁剪、调度等处理, 得到最优化的数据融合, 将最终或中间结果送给显控模块。同时, 信息综合处理机还要响应来自显控的用户控制命令, 将响应的请求下发给对应的传感器; 显控处理机作为人机界面优化技术的载体, 可以理解为整个系统 UI(用户接口), 负责将信息综合处理机处理过的各个数据显示给用户, 并以一定的用户控制接口方式(如软按键、旋钮、触摸屏等)让用户切换显示数据、下发命令等。

其中信息综合处理机是系统的核心, 它不仅仅是采集传感器的多元异构数据, 还要将它们进行数据融合和裁剪, 得到最可靠的数据提交给显控模块, 所以它的算法设计在航电设计中占据十分重要的地位<sup>[2]</sup>。

### 1 问题的提出

信息综合处理机和显控处理机所获得的可靠数据

来源于可靠的传感器。在航电系统设计初期和中期,因为条件、财力和安全的限制,航电系统是不足以以机载方式进行飞行验证的,于是传感器数据的来源一般都是依靠传感器 ICD 仿真<sup>[4]</sup>。传感器 ICD 仿真是指用一个或多个计算机模拟航电系统的传感器物理量,通过相应的航空通用或专用总线(RS422、ARINC429、AFDX)等传输通道,将计算机模拟的 ICD 报文发给综合处理机。其系统框图如图 1 所示。

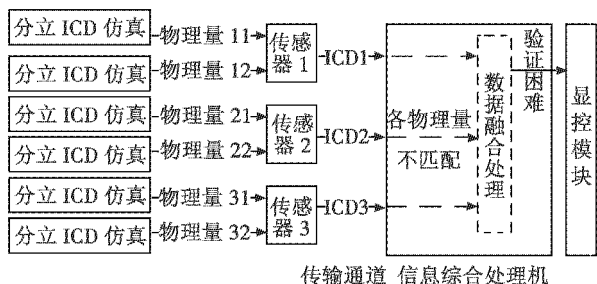


图 1 传统分立 ICD 仿真

Fig. 1 Conventional isolated ICD simulation

但是传统的传感器 ICD 仿真有着以下两个严重缺陷。

1) 物理量不能体现飞机飞行的真实数据,物理量之间也没有任何关系。因为没有真实飞行,物理量或通过计算机随机给出,或由测试人员给出,不能反映实际情况,同时这些物理量不能给出真实的飞行器在工作时所收集的物理量的耦合关系,使得仿真变得不可靠,给信息综合处理机处理功能的验证带来困难。

2) 处理机算法得不到快速合理的验证。由于上述传感器各个物理量的松散性和非同源性,处理机算法不能在源端得出预计的结果,于是算法只有通过处理机得出一份输出,在设计阶段无法进行快速合理验证。

为弥补这些缺陷,本文提出一种打破传统 ICD 仿真的飞行仿真平台的搭建和验证的方法。

## 2 系统综述

本文所描述的平台除引言中所述的航电系统所必须包含的 3 个模块之外,还包含了一个基于 Matlab/Simulink 环境搭建的集成化飞行仿真模块。不同于传统 ICD 仿真,本平台传感器的物理量均可配置为集成化飞行仿真模块实时输出的数据,从而使各物理量的耦合变化具有实际意义,并且保证了单个物理量在时间上的前后一致性,不再是随机或者人为无目的的干预。每个物理量通过各个传感器所定制的 ICD 格式发给综合处理机,使得其内部算法的执行能够在相对逼真的数据输入下进行,并得到最可靠的处理结果。系统仿真如图 2 所示。

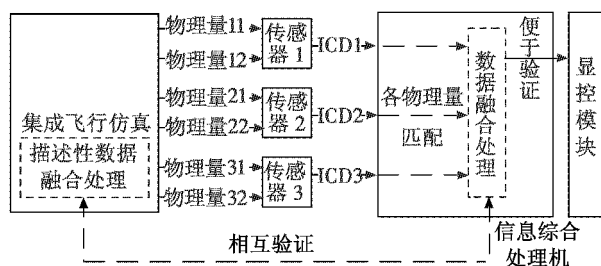


图 2 基于飞行仿真平台的 ICD 仿真

Fig. 2 ICD simulation based on flight model

另一方面,在 Matlab/Simulink 环境中搭建的集成化飞行仿真模块不仅为传感器 ICD 仿真提供用于激励的物理量,而且可以用于对处理机核心算法的建模和开发,从而使闭环全数字仿真模块中的处理机核心软件逻辑与处理机真件中的核心软件逻辑一致,在半实物仿真中进行对比验证。

由于处理机和显控模块并不是本文讨论的重点,而且本文主题也并未对它们进行优化改造,所以下面仅就 ICD 仿真模块、集成化飞行仿真模块与算法验证模块展开具体描述。

## 3 ICD 仿真模块

本平台所述的 ICD 仿真模块依然包含传统 ICD 仿真模块所必需的功能——将当前的各个物理量通过传感器所确定的 ICD 格式转换为对应物理总线上的数据,传输给信息综合处理机的功能。为了兼容传统 ICD 仿真,在保留了“用户自触发”或者“随机”的传感器物理量变化功能的同时,引进了“通过集成化飞行仿真模块”来触发传感器物理量变化的功能。

一个比较容易预见的问题是,集成化飞行仿真模块数据的更新和传感器仿真所要求的数据更新速率一般不同甚至毫无关联。为了让该平台具备较好的可扩展性和可重用性,以传感器仿真所要求的数据更新速率为准,通过 ICD 向信息综合处理机发送相应数据,而集成化飞行仿真模块数据的更新只是使得相应的传感器内部维护的当前物理量发生变化,并不作为触发数据发送的条件。

ICD 仿真模块的软件应当给各个物理量分配一个固定大小和位置的内存空间,它的变化来自集成化飞行仿真模块数据的更新,即写入;同时,它还是每次传感器仿真进行信息打包时的数据源,即读出。由于这些存储器的写入与读出操作很可能来自不同线程或任务,所以应当给具有强相关性的数据进行加锁处理。这里具有强相关性的数据包括两类:一类是单个非原子变量,对它的“脏”访问会导致比较严重的错误,这个同步问题是任何多线程(任务)应用都应当处

理的<sup>[5]</sup>;另一类是针对本应用平台的多个应当具有耦合性的变量,对它们的“脏”访问会出现一些物理量还是上一个变化周期所赋的值,但另一些已经被赋了本周期的值。由于 Matlab/Simulink 提供了方便的 TCP/UDP 网络数据接口,本 ICD 仿真模块与集成化飞行仿真模块之间的接口采用 TCP/UDP 协议,通过一个线程接收飞行仿真的数据,并触发本模块相应数据的变化。

各个传感器物理量的使用与维护如图 3 所示。

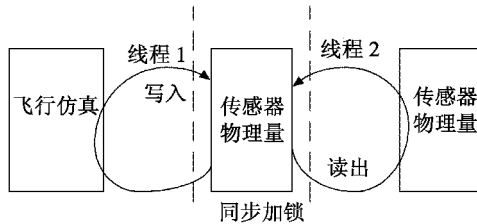


图3 ICD 传感器物理量的使用与维护

Fig. 3 Physical quantity of ICD sensor and its handling and maintaining

具体实现如下所述。

1) 传感器 ICD 仿真线程按照 ICD 要求,周期性或事件性通过尝试同步锁提取关键内存区的物理量。提取成功后使用该物理量生成 ICD 定义的数据包,将数据包通过航电系统定义的物理通道发送出去。若传感器 ICD 仿真模块接收到综合处理机的控制指令,那么按照 ICD 定义解析该指令为物理数据,依然通过上述同步锁方式将数据置入关键内存区。

2) 飞行仿真接口线程将飞行仿真模块所仿真出的实时数据结果,通过尝试同步锁将数据置入关键内存区的物理量。同时,依然通过同步锁提取针对综合处理机的控制指令的控制数据,发送给飞行仿真模块作为控制指令。

上述两类线程最大的不同点在于,由于每个传感器 ICD 定义不同,传感器 ICD 仿真线程触发会发生会完全不同(或是定时或是随机,即便是定时,定时参数也不尽相同),所以需要每个传感器均开辟一个线程;而飞行仿真接口线程是针对集成飞行仿真模块的通信线程,它可以按照用户自行规定的一个较快周期提取飞行仿真数据,可以给多个传感器共用,于是可以在一台仿真机上仅开设一个线程。

## 4 集成化飞行仿真模块

集成化飞行仿真模块是一个通用的、可独立运行的飞行仿真软件,采用 Matlab/Simulink 平台开发,仿真模型具有良好的可配置、可裁剪特性,运行实时性较好,可方便地采用 TCP/UDP 协议与 ICD 仿真软件模块通信。

集成化飞行仿真模块由飞行环境模型、飞机模型、一个基本的自动飞行控制系统仿真模块、多种可配置的航电传感器设备仿真模块、数据输入/输出模块以及人机交互操作界面构成。该模块的软件架构如图 4 所示。

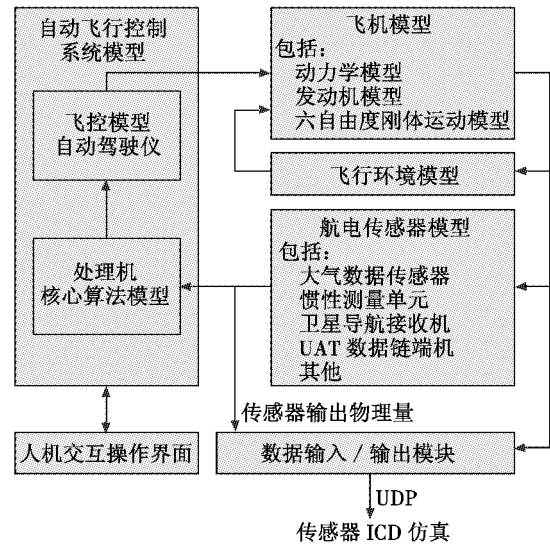


图4 集成化飞行仿真模块软件

Fig. 4 Integrated flight simulation software

飞行环境模型和飞机模型构成最小闭环系统,解算得到原始飞行参数,作为航电传感器模型的激励数据来源。

可按需求配置的多种航电传感器仿真模型,包括大气数据传感器、惯性测量单元、卫星导航接收机、无线电导航接收机、UAT 数据链端机等仿真模型,输入原始飞行参数,模拟传感器测量行为和数据解算过程,输出传感器测量解算结果。

自动飞行控制系统仿真模块包括飞行控制系统模型、自动驾驶仪模型以及信息处理机核心算法模型,通过输入传感器测量结果进行信息综合处理和飞行任务计算,与飞机模型和航电传感器模型共同构成人在回路的整个闭环飞行仿真系统。用户可通过人机界面设置预定飞行计划、执行自主飞行任务,并可切换人工控制和自动驾驶工作模式。

传感器测量输出物理量和原始飞行仿真参数通过数据输入/输出模块以 UDP 方式发送到传感器 ICD 仿真模块。

## 5 仿真验证

仿真验证是指应用本文所描述上述各个模块来仿真飞行器的各个传感器,验证或调试目标综合处理机的工作算法与行为。

由于处理机核心算法在 Matlab/Simulink 平台中进行开发,可以通过图形化建模快速地将综合处理机的业务算法(如导航解算、危险规避等)嵌入到集成化飞

行仿真模块内,使用飞行仿真模块的各个传感器输出物理量作为激励,并保证与送往综合处理机真件的物理量的一致性。

在处理机软件设计开发过程中,开发者可以在需要的地方添加必要的调试信息(如图5中所示的FMC模块),将处理的中间结果与集成化飞行仿真模块中的处理机核心算法解算的对应结果进行比对,来快速验证其设计的各个细节,有效地进行错误定位和修正。

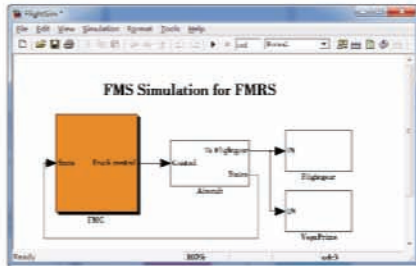


图5 Simulink中处理机仿真算法

Fig.5 The simulated algorithm of processor in Simulink 仿真验证的一个应用实例步骤如下:

- 1) 打开基于 Matlab/Simulink 的飞行仿真软件,让软件能够通过 UDP 发送各个飞行相关物理量,同时内部运行与目标综合处理机算法及行为相同的工作软件;
- 2) 打开 ICD 仿真模块软件,初始化配置好各个传感器,并通过 UDP 接口将飞行仿真的实时数据提取到本地作为传感器数据源;
- 3) 启动传感器仿真与综合处理机,使其通信正常;
- 4) 通过打印信息或单步或以其他用户自定义的方式将处理机结果呈现出来;
- 5) 将步骤1)与步骤4)的结果比对,完成算法的验证。

## 6 结束语

本文所描述的飞行仿真平台,打破了传统的 ICD 仿真的朴素模式,将飞行器的飞行行为数据通过 Matlab 仿

真作为传感器模拟的数据源,使得综合处理机得到的多元异构 ICD 物理量具有其实际的意义,能够处理得到较为可靠的结果,同时能够将该结果与 Matlab 所仿真的综合处理机数据比对,高效地调试算法错误,是在航电综合处理机的开发或验证过程中一个合适的选择。

## 参考文献

- [1] 黄景民,张靖,辛国华.全数字仿真系统在综合航电火控系统研制中的应用[J].电光与控制,2008,17(5):92-96.  
HUANG J M, ZHANG J, XIN G H. Application of all-digital simulation system in development of an integrated avionic fire control system[J]. Electronics Optics & Control, 2008, 17(5):92-96.
- [2] 《飞机设计手册》总编委会.飞机设计手册第17册:航空电子系统及仪表[M].北京:航空工业出版社,2001.  
Handbook of Aircraft Design General Editorial Board. Handbook of aircraft design: Avionic system and instrument[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2001.
- [3] 陈颖,陈德志.航空传感器综合处理机的开放式体系架构[J].电讯技术,2005,45(2):107-110.  
CHEN Y, CHEN D Z. Open systems architecture of airborne integrated processor[J]. Telecommunication Engineering, 2005, 45(2):107-110.
- [4] 侯进.航电ICD生成与管理系统设计[D].成都:电子科技大学,2001.  
HOU J. Avionics ICD generation and its management system designation [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2001.
- [5] 冯美霞.多线程应用程序的同步技术[J].计算机应用,1999(6):24-26.  
FENG M X. Synchronization tech for multi-threading application[J]. Journal of Computer Applications, 1999(6):24-26.

## 下 期 要 目

赛博空间的战术机动

基于改进微分进化的无人机编队重构安全控制

雷达与红外数据融合的近距离空中目标识别

红外双波段/双视场望远系统设计

基于数字化样机的电子产品可靠性设计分析方法

基于模糊贝叶斯网的威胁等级评估研究

带落角和导引头视角约束的制导律设计

空战训练评估方法研究

基于 OPNET 的多数据链组网设计与仿真

战斗机对空作战效能评估