

# 某型飞机惯性导航系统模拟器软件设计

卢建华, 吴晓男, 吴光彬

(海军航空工程学院 控制工程系, 山东 烟台 264001)

**摘要:** 文章针对模拟器上位机和下位机不同的硬件特点和功能需求, 采取不同的设计思想和编程语言, 完成了一种飞机惯导模拟器软件的设计并给出部分设计代码, 解决了导航参数的解算模型、串口通信、特情处理等关键性问题, 实现了对惯导各项功能和导航过程的模拟。

**关键词:** 惯性导航; 模拟器; 串口通信; 软件设计

中图分类号: TM930

文献标识码: B

文章编号: 1006-2394(2009)11-0007-03

## Software Design of an Airplane Inertial Guidance System Simulator

LU Jian-hua, WU Xiao-nan, WU Guang-bin

(Department of Control Engineering, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

**Abstract:** The paper aim at hardware characteristic and function request of simulator Upper and hypogyny computer, adopt different design idea and programme language, finish software design of an airplane inertial guidance simulator, present part design code, solve navigation parameter calculating model, COM and special thing disposal, realize inertial guidance all kinds of function and navigation process simulation.

**Key words:** inertial guidance; simulator; COM; software design

### 1 惯导模拟系统软件总体结构

惯导模拟系统给飞行员提供惯导模拟操作环境, 计算、显示导航参数并将相关数据发送给其他相应的系统, 具备模拟操作功能、通信功能、特情模拟、灯检功能和计算导航参数功能。

惯导模拟系统的硬件由上位机(导航计算机)和下位机(惯导模拟器)组成, 因此软件由相应的两部分组成, 其总体结构如图 1 所示。

导航计算机对外完成在整个飞机模拟系统中的仿真功能, 对内完成模拟导航参数的采集、处理和发送; 系统平台为 Windows 2000 操作系统, 导航计算机程序采用高级语言(VC++6.0)编程和面向对象技术。惯导模拟器完成对惯导操作环境的模拟, 其硬件基础为以 PC104 为核心的嵌入式计算机, 系统平台为 MSDOS 操作系统, 模拟器主应用程序采用 C 语言(TURBO C3.0)和模块化的设计结构, 为使程序编写更灵活, 其串口通信模块和对状态选择器模块的驱动采用汇编语言(TASM6.0)。

飞行员的操作数据以及惯导的状态数据由惯导模拟器程序通过 RS-422 串口发送给

导航计算机, 导航计算机通过 HDOSE 向局域网公布; 导航参数以及控制信息由导航计算机程序通过 HDOSE 从局域网获取, 经过误差滤波、计算及分析等处理后发送给惯导模拟器; 惯导模拟器程序将所接收到的数据显示出来, 为飞行员提供最直接的信息。

### 2 基于 HDOSE 的软件结构的导航计算机程序设计

#### 2.1 基于 HDOSE 的软件结构

导航计算机程序采用基于 HLA 分布式面向对象

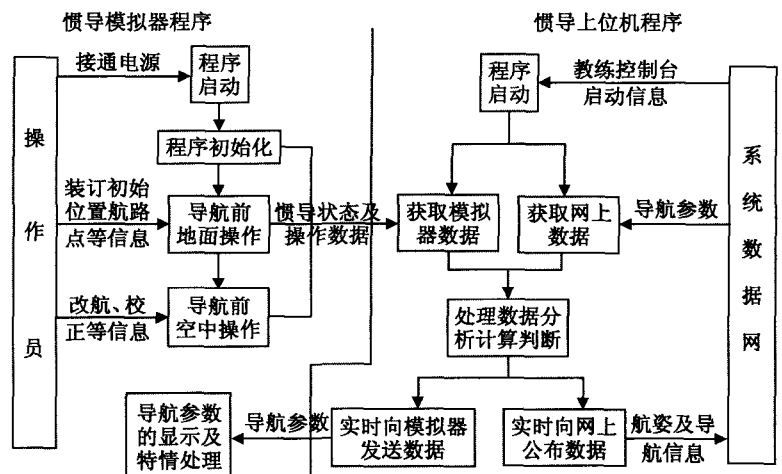


图 1 惯导模拟系统软件的总体结构

收稿日期: 2009-05

作者简介: 卢建华(1970—), 男, 硕士, 副教授, 从事航空自动化的教学和科研工作。

仿真引擎(HDOSE)结构。HDOSE(HLA-based Distributed Object-oriented Simulation Engine)是在 RTI 基础上构造的一个更高层的软件框架,其封装了 RTI 提供的接口,提供了通用的服务,方便开发人员实现更复杂和具体的功能,具备通信、任务调度和框架结构作用,克服了 RTI 重用性差、应用接口非面向对象等缺点。其结构与组成如图 2 所示,分为实体/模型系统、设备系统、事件系统、配置系统 4 大功能模块。

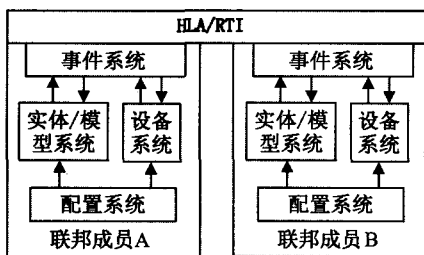


图 2 HDOSE 的结构与组成

### 2.2 基于 HDOSE 惯导模拟系统与交联设备的通信

整个“飞机任务系统训练模拟器”各分系统通过模拟器引擎实现彼此间的交联通信,作为飞机模拟器的一个分系统,主要涉及与飞行软件包、雷达、导弹指挥仪、教练控制台等其他分系统的信息通信,其与交联设备通信关系如图 3 所示。

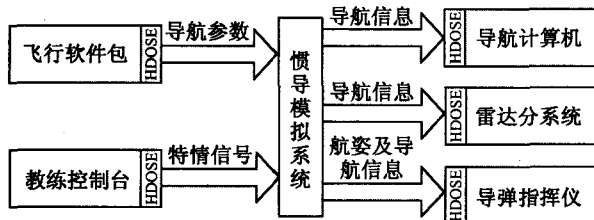


图 3 惯导分系统与交联设备的通信关系

### 2.3 导航计算机程序的软件构架及基本类

通过对对象层和关系层的设计,明确对象层中各个类及其所实现的功能以及关系层各个类之间的调用关系来构建导航计算机软件系统。

1) 对象层设计。在软件系统中,主要通过各个类之间的协作完成整个软件框架的构建,涉及的类包括:

#### (1) 主要类

主线程类:该类主要实现消息循环,申请加入 RTI。

框架窗口类(CMainFrame):该类主要完成框架窗口初始化、各种参数的初始化。

导航解算类:该类主要负责导航参数的滤波和解算。

视图类(CFormView):该类主要负责画面的显示。

惯导仿真模拟类:该类是整个惯导模拟系统的核

心,主要用于对所接收其他分系统和惯导模拟器的数据,并调用导航解算类,完成惯导模拟系统的仿真功能。

串口通信类:该类实现导航计算机与惯导模拟器之间的串口通信。

#### (2) 接口设备类

主要是涉及与惯导仿真模拟类具备交联关系的类,其中包括雷达类、教练控制台类、无线电高度表类、导弹指挥仪类、GPS 模拟类等,这些类在 HDOSE 中作为联邦成员,通过 HDOSE 完成与惯导的数据通信。

2) 关系层设计。各类之间通过关键函数的调用关系,共同构建整个软件系统,如图 4 所示。

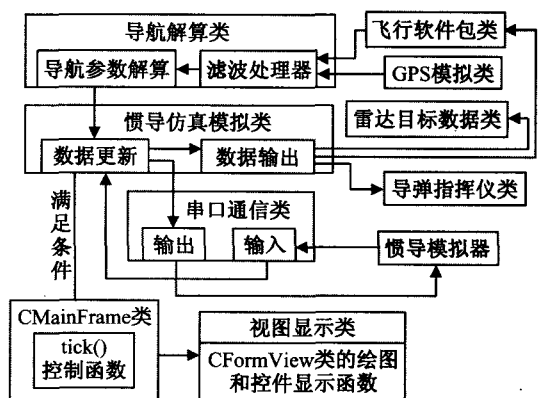


图 4 各类之间的调用关系

图 4 中 tick 控制函数,使系统每隔 30ms 更新一次数据。惯导仿真类为整个系统的核心类,它调用其他设备类和串口通信类,获取系统信息和惯导模拟器的状态、操作信息,并将解算后的导航信息输出给相应的其他分系统和惯导模拟器;调用导航解算类,对软件包数据和 GPS 数据进行滤波,并解算导航参数。

### 3 基于模块化设计的惯导模拟器程序设计

#### 3.1 惯导模拟器程序

惯导模拟器程序以软件所需完成的功能为划分标准进行模块化的设计。惯导模拟器程序分为 6 大模块,即主操作流程模块,菜单操作模块,串口通信模块,时间控制及键盘、旋钮 2 查询模块,计算及汉字处理模块,状态栏显示模块,各模块又包含若干子程序单元(CSU),原则上,各子程序单元对应一个文件或一个函数。各模块功能及子程序模块说明如下:

(1) 主操作流程模块 完成惯导模拟器的主流程操作,包括自检、对准、导航以及导航中的非菜单操作。

(2) 菜单操作模块 菜单操作模块是一个相对比较独立的模块,当按下“菜单”键时,程序进入菜单模块,直到按下“返回”键之前,所有的操作都属于该

模块的内容。而一旦按下“返回”键,程序应当回到菜单模块的入点,并恢复按下“菜单”键之前的界面。

(3) 时间控制及键盘、旋钮 2 查询模块 完成对导航前的开机时间、状态数、状态时间和导航后改航预告时间的控制,以及对键盘、旋钮 2 查询频率的控制。

(4) 计算及汉字处理模块 完成汉字显示和一些通用参数的解算。

(5) 串口通信模块 完成惯导模拟器与导航计算机之间的串口通信。

(6) 状态栏显示模块 完成状态栏的显示,包括导航前和导航后状态栏的显示。

### 3.2 几个关键性问题的解决

#### 3.2.1 解决的问题

在进行数据通信软件设计时必须解决好以下 3 个方面的问题:

(1) 通信可靠性,即保证惯导模拟器与导航计算机之间的通信数据不丢失、不混乱;

(2) 保证惯导模拟器与导航计算机开机顺序不同时,它们之间应传递的数据不丢失且逻辑正确;

(3) 在上面两点的基础上,尽量提高传输的速度。

下面将从通信协议的设计、导航计算机串口通信软件设计以及惯导模拟器串口通信软件设计 3 部分叙述通信程序的实现过程。

#### 3.2.2 通信协议

为保持导航计算机和惯导模拟器串口通信的畅通,以及各自程序的稳定而采取一系列相互协调一致的控制和应答措施,包括数据流的格式,应答方式和信号,通信失败和终止的标准等。

该协议基于帧传输方式,即在向 RS-422 串口发送命令信号、应答信号及数据信号时是一帧一帧地发送的。为了使数据快速可靠地传输,将每一帧数据唯一对应一命令帧。

#### 3.2.3 导航计算机串口通信程序设计

通信程序利用 Windows 环境下的高级语言进行设计,通过调用 API 函数来实现串口通信。为了防止导航计算机与惯导模拟器(数据网的刷新频率为 30ms)通信时发生线程阻塞,导致整个仿真系统的瘫痪,在导航计算机程序设计时,采用异步通信方式。程序设计包括打开串口、初始化串口、读写串口的程序设计。

以打开串口程序设计为例:在 Windows 中,串口和其他通信设备是作为文件处理的,串口的打开、关闭、读取以及写入所用的函数与操作文件的函数相同。通信会话由调用 CreateFile 函数打开串口开始,CreateFile 以读访问权限、写访问权限或读写访问权限打开串

口,并设定了对其是异步操作方式还是同步操作方式。

#### 3.2.4 惯导模拟器串口通信程序设计

惯导模拟器的处理器为 PC104,系统平台为 MS DOS,其主体应用程序采用 C 语言编写。

惯导模拟器串口程序模块的源程序包含在文件 INT4FS.ASM 中,它完成的功能包括:串口打开及初始化,将端口输入数据存入接收队列以及将发送队列的数据输出,如图 5 所示。当“接收器数据寄存器就绪”中断产生时,相应的中断子程序直接从 UART 数据寄存器读取字符,送入到当前接收队列尾指针指向的单元,并使尾指针增一,退出返回主程序;当“发送器保持寄存器为空”中断产生时,相应的中断子程序从当前发送队列头指针读出队列字符,直接送 UART 的保持寄存器,并使头指针增一,返回主程序。对接收队列和发送队列数据的处理由主程序完成。

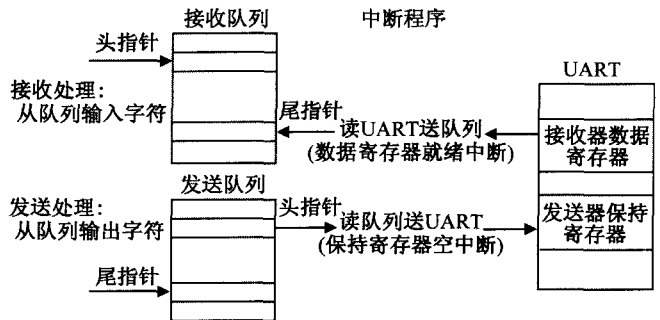


图 5 惯导模拟器通信程序模块示意图

程序具体编写过程如下:

#### (1) 串口初始化

初始化主要完成以下工作:确定数据的传输帧格式(包括数据位长度、停止位长度以及奇偶类型选择)、确定传输波特率以及确定 UART 操作方式(操作方式指是程序查询 I/O 还是通信中断, I/O)。本程序选择中断的方法进行通信。

#### (2) 航路点等信息的存储和查看

航路点信息的存储,实际上是双向链表的建立过程,该部分包含在装订航路点程序单元中。

航路点等信息的查看是查看航路点程序单元,包括信息的获取与显示,显示由子函数 show(struct jw \* q)实现,形参 q 为所要显示节点的指针。假设 q 为当前显示的节点,当按下“向上”或“向下”键时,只需“q = q -> next”或“q = q -> last”即可解决问题。

#### (3) 特情处理

惯导模拟系统设置了惯导部件故障(exception 为 1)、GPS 部件故障(exception 为 2)两个特情信号,若 exception 为 0 表示设备正常。特情信号由教练控制台

(下转第 12 页)

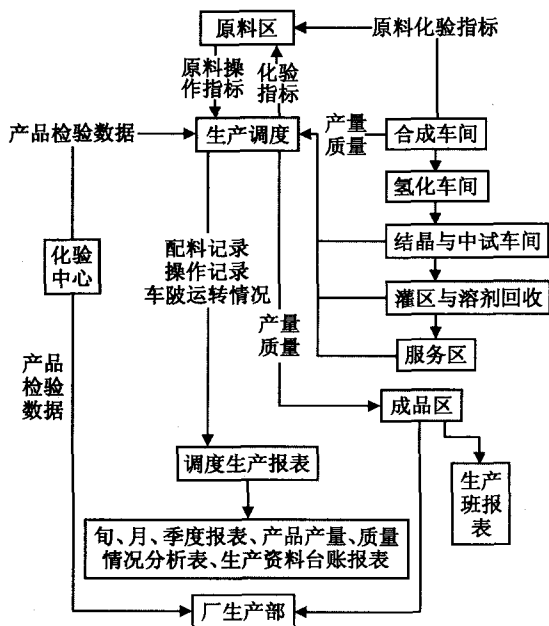


图3 生产管理调度信息流程图

经营计划、作业计划和生产组织计划等相关生产计划，同时进行生产经营情况统计分析和管理工作。(3)质量管理 对质量指标数据进行检测、统计、分析和控制，发现问题及时采取措施，及时处理；加强质量管理工作和生产控制，提高产品质量，降低生产成本，增加企业效益。

实时数据库与关系数据库是企业信息集成的重要支撑，也是实现数据交换和共享的有效工具，因此，首先要将监控层实时数据库中信息转入生产管理层的关系数据库中，本系统采用 ODBC 和 SQL Server 2005 来确保数据以及其传输的安全性和可靠性。生产管理服务器采用通用 TCP/IP 协议，通过局域网 LAN 访问监控服务器历史数据库，并结合生产管理关系数据库实现现场监控和生产管理的结合，即 DCS 系统和 MES 系统的结合。

### 3 结束语

该套生产过程综合自动化控制系统充分利用了 PLC、ControlNet 现场总线、DeviceNet 远程 I/O 系统和工业以太网等先进技术，具有结构开放、组态灵活、控制功能完善和操作简单规范等特点。实践证明，本控制系统极大地降低了投资和成本，提高了生产的自动化水平，减少了过程故障发生率，提高了劳动生产率，不久之后将接受 FDA 认证，如果通过，将取得更为显著的经济效益和社会效益。

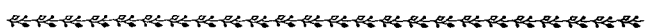
### 参考文献：

[1] 张翼,王兵树,曹文亮.基于现场总线的电厂综合自动控制

系统[J].电站系统工程,2005,21(21):55-57.

[2] 徐晓瑾,朱明富.球团生产监控管理系统软件设计[J].控制工程,2004,11(2):132-34.  
 [3] House L A, Schubert J H, Hart J R, et al. PlantStar 2000: a plantwide control platform for minerals processing[J]. Minerals Engineering, 2001, 14(6):593-600.  
 [4] 沈德耀.开放式集散控制系统与现场总线技术[J].岳阳师范学院学报,2000,13(3):22-27.  
 [5] 时国平.基于现场总线的新型干法水泥回转窑控制系统研究与设计[J].工业控制计算机,2008,21(10):27-29.

(郁菁编发)



(上接第9页)

发出,经导航计算机发送给惯导模拟器,模拟器接收特情信号后作出特情处理。惯导模拟器的报警功能由故障灯完成,当惯导模拟器获得故障信号进行特情响应时,故障灯亮2s后切换到响应后的导航界面。

### (4) 程序实现

在惯导模拟器程序中,定义了一个全局变量 gdstate 用来标志当前导航状态。在程序中,gdstate 为 1 代表组合导航,为 0 代表纯惯性导航,为 3 代表 GPS 导航;同时在串口数据接收程序中定义一静态变量 exceptionT,用来判断所接收的特情信号是否与上一次一致,不一致则进行特情响应。

### (5) 故障灯报警的实现

故障灯电源为直流 27V,由 8255 的 B 通道(地址为 309H)第二根数据线,即 BP2 驱动继电器控制,因此要使故障灯亮,只需置 BP2 为 1,若使之灭,置 BP2 为 0。在程序设计时,定义了一全局变量\_lightstate 用来保存 B 通道寄存器的数据,对 8255 的驱动需要用到汇编语言。

## 4 结论

该系统已通过鉴定并交付部队使用,通过多年的使用证明,该模拟器运行稳定,可靠性高,满足飞行训练的需要,节省了大量的训练经费,具有显著的经济和军事效益。

### 参考文献：

[1] Knight D T. Achieving modularity with tightly-coupled GPS/INS[M]. Proceedings of IEEEPLAN, 1992.  
 [2] 黄维通. Visual C++ 面向对象与可视化程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2000.  
 [3] 沈美明,温东婵. IBM-PC 汇编语言程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,1991.  
 [4] 邱晓刚. 高层体系结构(HLA)[G]. 长沙:机电工程与自动化学院自动化研究所军用仿真技术研究室,2001.

(许雪军编发)