









### 2.3 软件设计与实现

#### 2.3.1 测试与实时仿真软件

测试与实时仿真软件在 Workbench 平台下开发, 基于 VxWork6.9 操作系统. VxWorks 是一个运行在目标机上的高性能和可剪裁的嵌入式实时操作系统, 具备以下特点: (1) 多任务; (2) 有线程优先级; (3) 多种中断级别<sup>[9]</sup>. 软件整体可分为应用管理层、测试/仿真执行层、设备驱动层、硬件设备层. 应用管理层负责与仿真控制台进行交互, 根据需要调用测试/仿真执行层的各功能模块. 测试/仿真执行层负责测试及仿真功能的实现, 在仿真计算机的硬件资源的基础上编程模拟出各种设备接口特性, 模型的实时解算等. 此部分包括初始化模块、自检测及设备检测模块、传感器仿真模块、舵机仿真模块、发动机模型模块、无人机模型模块. 设备驱动层包括底层硬件的驱动程序和接口, 供测试/仿真执行层调用. 硬件设备层包括各种信号量物理接口, 依靠这些接口与其他设备连接. VxWorks 基于多任务调度, 每个模块设置为一个单独任务, 由操作系统调用. 各模块之间除了数据交换外互相独立、自成体系, 降低了程序的耦合性, 便于程序调试和后期维护、扩展和修改, 同时也增加了程序的可读性<sup>[10]</sup>. 总体模块如图 7 所示.

#### 2.3.2 仿真控制台软件

仿真控制台主要功能是作为上位机在检测或仿真过程中发送指令, 检测各设备状态信息, 其设计同样基于模块化设计的思想, 开发平台为 Qt. 总体分为通信处理模块、指令控制模块、激励信号注入模块、故障注入模块、数据显示模块等五部分, 结构图如图 8 所示.

仿真控制台软件的主要功能模块如下:

1) 通信处理模块: 仿真控制台与仿真计算机之间采用串行通信, 该部分实现两者之间信息发送和接收的建立, 并对接收的数据进行解帧, 解帧后的数据供其他模块使用.

2) 指令控制模块: 该模块主要作用是通过离散式上传指令的方式进行仿真计算机功能的控制, 包括运行模式的选择, 不同模式下控制指令发送等.

3) 激励信号注入模块: 在综合测试模式下, 对不同待测设备施加不同激励信号, 观察设备运行状态, 采集设备回馈信号.

4) 故障注入模块: 在仿真模式下, 模拟设备的故障状态, 观察无人机系统的应对反应. 故障包括: 数据链路

断开, 传输数据频率变化、设备数据异常等.

5) 数据显示模块: 主要是通过表格、曲线等比较直观的形式显示测试或仿真过程中设备的数据.

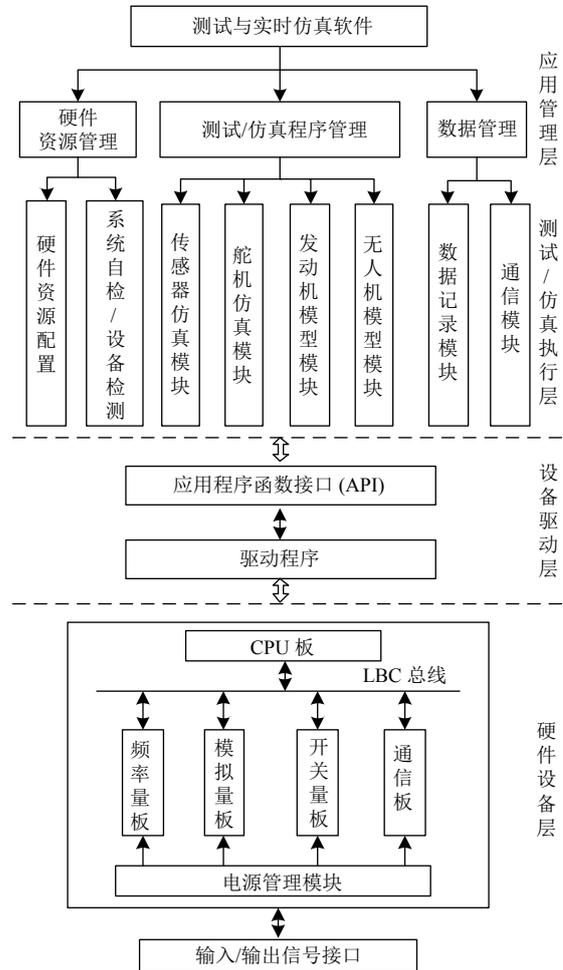


图 7 仿真计算机软件结构

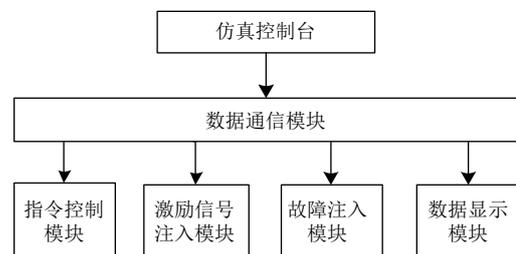


图 8 仿真控制台软件结构图

### 3 应用环境构建与验证

系统包含硬件设备: 仿真计算机、飞控计算机、待测试设备. 软件: 地面站软件、仿真控制台软件、数据解码与分析软件. 应用环境搭建参照图 1 系统整体

方案图即可完成,一台 PC 机运行地面站软件,通过 PC 串口与飞控计算机通信.飞控计算机与仿真计算机之间的通信也通过串口进行,设备的连接需参考实际定义.另一台 PC 机运行仿真控制台软件,同样通过串口与仿真计算机通信,监控仿真计算机运行状态.仿真控制台界面如图 9.



图 9 仿真控制台界面

### 3.1 综合检测系统实现与验证

综合检测系统验证方案如下:

- 1) 将仿真计算机与飞控系统按相应设备定义连接,使用 1 台 PC 机运行仿真控制台软件;
- 2) 仿真控制台选择“自检测”模式,首先测试仿真计算机工作状态;
- 3) 仿真控制台切换至“设备测试”模式,对单个设备进行检测;
- 4) 仿真控制台切换至“飞控检测”模式,对整体系统进行检测,测试环境搭建如图 10 所示.



图 10 测试环境图

如图 11 所示为舵机测试过程中仿真控制台显示情况,通过仿真控制台将舵机的位置依次设置为“5”、“6”、“7”、“8”、“9”、“10”、“11”,可以看出反馈值与设定值相同,舵机工作状态正常.

### 3.2 仿真系统实现与验证

以无人直升机为例,仿真系统验证方案如下:

- 1) 使用两台 PC 机,一台 PC 机运行地面站软件,

另一台 PC 机运行仿真视景软件和仿真控制台软件,这里仿真视景软件选用 Xplane 软件;

- 2) 根据飞控程序和仿真程序对各个设备的串口定义,飞控计算机和仿真计算机之间通过串口转接线缆以及转接头连接;

- 3) 通电运行,仿真控制台发送“仿真”指令,系统进入仿真模式.通过地面站控制无人直升机从起飞悬停到小机动飞行来观察分析仿真效果.仿真实物搭建如图 12 所示.



图 11 测试效果图



图 12 仿真环境图

如图 13 所示为地面站设计的航线飞行过程,结果显示飞行轨迹基本与航线一致.



图 13 地面站飞行效果图

经过测试验证,各软件以及各仿真设备运行正常,无人机飞行过程中状态信息以及各个仿真设备信息在地面站和仿真控制台中实时显示,整个仿真系统能很好地完成飞行控制系统的验证工作.

### 3.3 数据分析与处理

根据仿真计算机数据记录器的记录数据,进行数据解转码、数据分析,如图14和图15。



图14 数据转码软件



图15 数据分析软件

## 4 结论

本文立足于实际工程需要,设计出一套适用于无人机飞行控制系统验证和综合检测的系统。在分析综合检测和仿真两大功能共性需求的基础上提出以仿真计算机为主体的设计方案。着重介绍了仿真计算机的硬件结构、资源配置,测试/仿真软件设计框架和通信

协议设计,最后以实际测试结果验证系统的合理性。通过最后的仿真结果可以看出,该系统性能可靠、操作灵活性强,具有很好的实际应用价值。

### 参考文献

- 刘树锋,陈欣,刘标.小型化无人机实时飞行仿真系统结构设计.兵工自动化,2014,33(6):27-31.[doi:10.7690/bgzh.2014.06.007]
- 邱晓红.无人飞行器综合检测控制系统.测控技术,1999,18(1):25-27.[doi:10.3969/j.issn.1000-8829.1999.01.008]
- 陈敬军.无人机综合检测技术研究.航空科学技术,2012,(2):15-17.
- 路蔼梅,李新军,何进,等.一种无人机通用综合检测系统.北京航空航天大学学报,2006,32(1):27-30.[doi:10.3969/j.issn.1001-5965.2006.01.007]
- 王凯鹏,蒙志君,陈旭智.某小型无人直升机半物理仿真系统设计和实现.第33届中国控制会议论文集.南京,中国,2014.6.
- 包健,顾冬雷.无人机通用实时半物理仿真系统设计与应用.兵工自动化,2015,34(8):85-88,92.[doi:10.7690/bgzh.2015.08.021]
- 刘丙涛,周炎,祖家奎.无人直升机跟踪地面移动目标实时仿真系统设计与实现.计算机应用与软件,2019,36(1):22-27,98.[doi:10.3969/j.issn.1000-386x.2019.01.005]
- Bittar A, Figueredo HV, Guimaraes PA, et al. Guidance software-in-the-loop simulation using X-plane and simulink for UAVs. Proceedings of 2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems. Orlando, FL, USA. 2014. 993-1002.
- 董艳铃,常扬.Vxworks嵌入式实时操作系统任务调度方法研究.计算机与网络,2014,40(10):55-58.[doi:10.3969/j.issn.1008-1739.2014.10.056]
- 周炎,祖家奎,陶德臣,等.无人直升机实时仿真系统设计与实现.电子测量技术,2019,42(21):15-20.