

基于Qt的eVTOL航电仿真软件的设计与实现

古 丹 王雪寒 潘宇波 韦鹏飞 张建鹏
西安翔迅科技有限责任公司 陕西 西安 710068

摘 要：针对eVTOL飞行训练器的仿真需求，本文设计了系统中的航电仿真软件。本软件基于Qt5.5框架，运用C++语言编写主程序。主要模拟主飞行显示器（PFD）航电仪表 和多功能显示器（MFD），并使用OSGEarth地图工具，实现飞行器的路径规划与显示。软件设计采用三层架构，使用UDP通信实现与其他分系统之间的数据交互。

关键词：eVTOL航电仿真；Qt框架；UDP数据传输；QSGEarth

引言

eVTOL航空器应用于城市空中交通后，可以帮助城市减轻主要道路或高速公路的交通负荷，疏解地面交通流量。eVTOL飞行训练器通过计算机软件来对真实世界飞行中所遇到的各种元素，综合的在计算机中进行仿真模拟，

伴随着eVTOL飞行训练器市场的不断扩大，航电仿真软件的重要性也越来越高。本软件基于Qt5.5框架，运用C++语言编写主程序。主要研究主飞行显示器（PFD）航电仪表 和多功能显示器（MFD）数据显示，并使用OSGEarth地图工具，实现飞行器的路径规划与显示。软件设计采用三层架构，使用UDP通信实现与其他分系统之间的数据交互。使用航电仿真软件安全性好、节约培训成本、模拟能力强，为飞行员训练提供了有力的保障。

1 软件设计

1.1 功能设计

航电系统是机上所有电子设备和系统的总称，用于支持飞行操作、导航、通信、监控和管理。主要负责飞行数据的收集、处理和显示，并与其他系统进行交互。

航电仿真软件能够模拟飞行仪表系统，实时、准确地呈现飞机的关键飞行参数，如姿态、速度、高度、航向等。主飞行显示器（PFD）应具备高分辨率动态模拟，能清晰展示飞机的姿态变化，空速显示需涵盖多种速度模式切换，高度显示要精确且具备多种高度模式，垂直速度和航向显示也要满足相应精度要求。多功能显示器（MFD）则应支持多种飞行信息页面切换，包括导航地图、电动机参数、系统状态等，为飞行员提供全面的飞行信息。航电仿真软件组成如图1所示：

1.2 软件架构

航电仿真软件采用分层架构与模块化设计相结合的方式。分层架构分为数据层、业务逻辑层和表示层。数

据层负责存储和管理航电仿真软件的各类数据，包括飞行参数、导航数据、通信数据等，采用数据库管理系统进行数据存储，确保数据的安全性和可靠性。业务逻辑层是软件的核心，实现航电仿真软件的各种功能逻辑，如飞行仪表仿真、导航系统仿真、通信系统仿真等^[1]。它通过调用数据层的数据，进行计算和处理，然后将结果传递给表示层。表示层负责与用户进行交互，提供直观的操作界面和显示界面，将业务逻辑层处理后的结果以图形、文字等形式展示给用户，同时接收用户的操作指令，并传递给业务逻辑层进行处理。如图2。

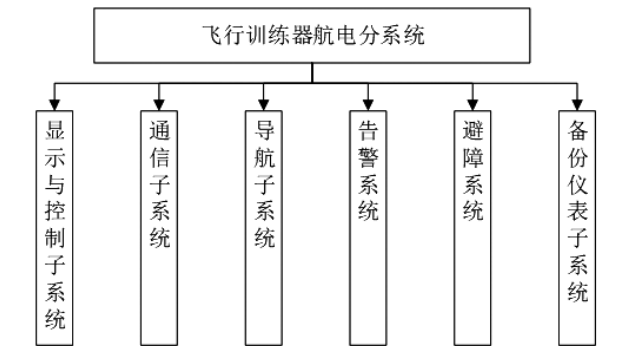


图1 航电仿真软件功能组成图

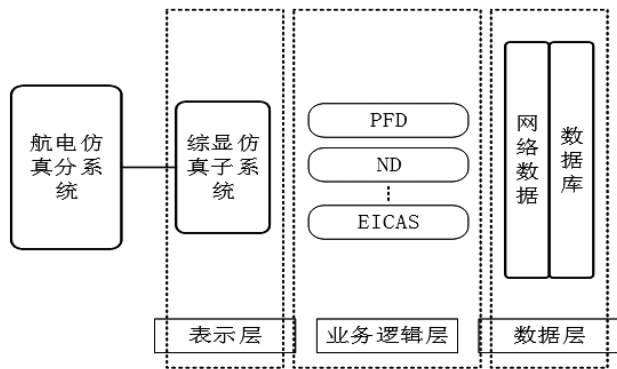


图2 航电仿真软件架构图

1.3 软件流程

飞行训练器航电仿真软件与其他系统通过标准数据通信协议进行数据交互，本系统基于 Qt 框架搭建 UDP 数据通信模块，采用 Qt 内置QUdpSocket类实现跨平台数据报收发。主要是依托 UDP 无连接、低时延特性实现高速报文收发，搭配数据校验、重传补偿机制弥补其不可靠传输缺陷，完成系统的上下行交互。运行流程如图3所示：

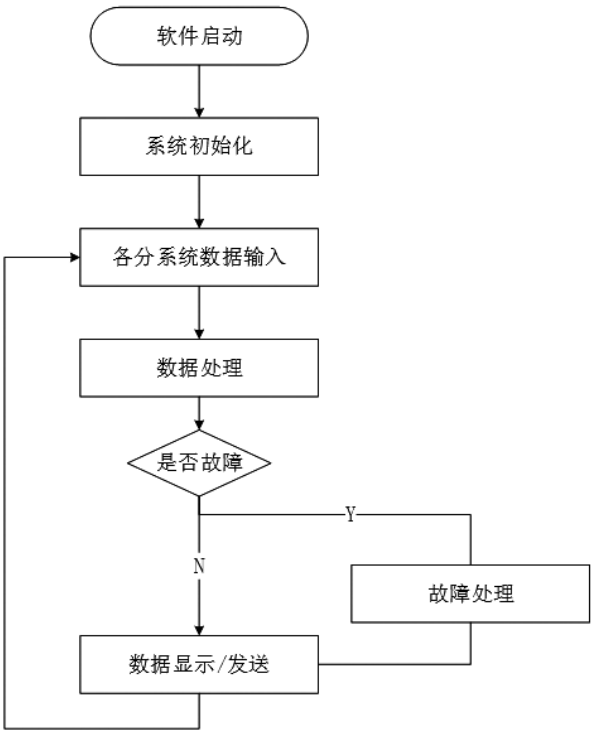


图3 航电仿真软件运行流程图

2 系统实现

2.1 功能实现

2.1.1 显示与控制子系统

显示与控制子系统是飞行员与飞机交互的核心界面，负责向飞行员提供实时的飞行信息，并接收飞行员的操作指令。其显示设备用于向飞行员呈现飞行参数、导航信息、系统状态等。如图4

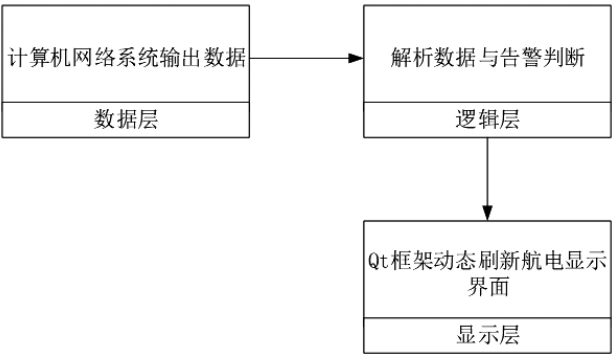


图4 数据显示流程图

2.1.2 告警系统

告警系统是飞机监控自身状态、检测故障或异常情况，并向飞行员或地面站发出警告的核心子系统。它是飞行安全的重要保障，能够及时发现潜在风险并采取措施避免事故发生。主要功能有故障监测、安全告警、显示与提示和故障记录等。

航电分系统软件通过UDP接收来自计算机网络分系统的报警信息作相应的语音、信号灯等告警处理。如图5

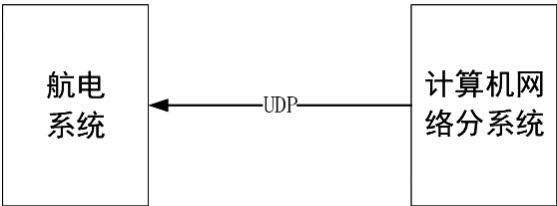


图5 告警数据输入图

2.1.3 数字地图

3D数字地形显示模块是综合航电分系统的核心可视化模块之一，负责实时加载、渲染并动态更新高精度三维地形数据，为飞行员提供直观的地理环境感知与飞行导航支持。

osgEarth是基于OpenSceneGraph（OSG）渲染内核的开源三维地理空间引擎，本系统采用osgEarth作为三维数字地球、地形场景、地理数据可视化的核心支撑模块。具体功能模块如下所示：

地形数据加载：从BigMap平台下载全球地形高程数据（DEM）及卫星影像（如GeoTIFF），支持多层级细节（LOD）动态加载。

三维场景渲染：基于osgEarth引擎构建三维地球模型，实现地形、地貌、水系、道路等要素的可视化。

飞行器状态叠加：动态显示飞行器实时位置、航向、高度及规划航路，支持航迹回放与威胁区域标记。

地形告警：结合飞行高度与地形高程数据，实时计算离地高度（AGL）并触发近地告警（如EGPWS模拟）。

2.1.4 避障系统

避障显示模块是综合航电分系统的核心安全模块之一，负责实时接收并可视化静态障碍物信息及动态避障路径，为飞行员提供环境威胁感知与避撞决策支持。主要功能包括：

障碍物显示：基于视景仿真数据，在三维地图中标注静态障碍物（如建筑物、山体、高压线塔等）的位置、高度及轮廓^[2]。

避障路径显示：动态渲染飞控仿真模块计算的避障路径（如绕飞轨迹、紧急爬升/下降路径）。

威胁告警：根据飞行器与障碍物的实时距离、相对速度，触发视觉告警（如障碍物高亮闪烁、安全距离圈缩小）。

交互反馈：支持飞行员手动调整避障策略（如选择绕飞方向），并同步至飞控模块。

2.1.5 备份仪表子系统

备份仪表子系统用于在飞行仪表或综合航电分系统失效时，为飞行员提供关键的飞行信息，确保飞行安全。备份仪表通常设计为独立于主系统，具有高可靠性和简单易用的特点。该部分显示内容与综显\飞行显示主显示器部分的内容一致。备份仪表子系统示意图如下图所示。

2.2 软件界面

软件的UI界面主要由主飞行显示器（PFD）和多功能显示器（MFD）两个不分组成，其中多功能显示器分“OVERVIEW”、“PARAMETER”、“STATUS”三个界面。如图6所示：

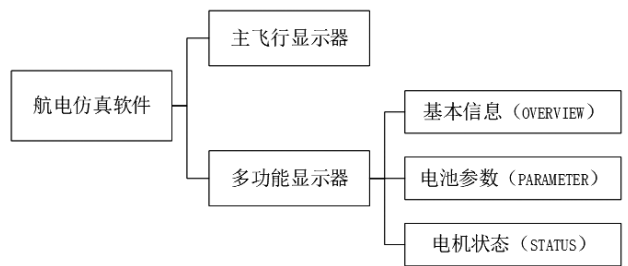


图6 航电仿真软件UI界面设计

依据软件功能需求，考虑用户操作便捷，设计软件界面，主飞行显示器界面包含姿态仪表、空速表、高度表、航向、飞行时间、外界气温、本地时间、数字地图和报警信息^[3]。

多功能显示器主要显示飞机飞行指引、能源系统和电机系统状态等参数信息。点击“OVERVIEW”、“PARAMETER”、“STATUS”按钮可切换界面。

OVERVIEW界面提供了飞行的基本信息，主要有总电池的剩余电量、可飞行里程、可飞行时间及总功率；同时，显示飞机的出发地、目的地、航班号、实际飞行时间及预计到达时间；还有飞行指引相关数据，飞行过程中可显示预期飞行和实际飞行的偏差，供飞行员参考。

PARAMETER界面提供了四组电池的电池信息：电池剩余电量百分比、温度、电压、电流、低电量报警、高温报警^[4]。

STATUS界面提供了6个电机的状态信息：转速、扭矩、温度、倾转反馈、总矩、开关状态。

结束语

航电仿真软件的引入大大缩短了eVTOL航电系统研制周期，降低研制成本，是航空电子设备开发、系统综合以及支持工程试飞和系统升级各个阶段的工具和手段。本文基于Qt平台的航电仿真软件，构建了良好的用户界面，为飞行员训练提供了有力的保障。

参考文献

[1] 许梦华。基于 Qt 的地面模拟飞行控制系统软件设计与实现 [J]. 电子测试, 2022 (1):29-31.

[2] 陈绍宇。基于 AOP 的航电软件系统的设计与实现 [D]. 上海: 上海交通大学, 2008.

[3] 霍亚飞. Qt Creator 快速入门 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2012.

[4] 吕伟龙, 向豪, 杨雨昕。基于 Qt 的飞行器通用上位机软件设计 [J]. 电子技术与软件工程, 2017 (7):78-80.