

# 地形跟随/地形回避实时仿真系统的设计与实现

李爱军, 谢燕武

(西北工业大学自动化学院, 西安 710072)

**摘要:** 为了验证低空突防系统中的地形跟随/地形回避关键技术, 设计了一套分布式实时仿真系统。该系统由主机、地形跟随/地形回避(TF/TA)计算机和视景演示计算机组成。TF/TA 计算机采用先进的嵌入式实时操作系统 VxWorks 进行 TF/TA 飞行轨迹规划, 实时地形匹配, 以及模拟雷达的实时数据生成。该系统可以验证算法, 模拟飞机在空中飞行的实际效果, 为 TF/TA 系统的试飞验证提供必要准备。  
**关键词:** 低空突防; 地形跟随/地形回避; 地形匹配

## Design and Implementation of Terrain Following/Terrain Avoidance Real-time Simulation System

LI Ai-jun, XIE Yan-wu

(College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

**【Abstract】** A real-time distributed simulation system is designed in order to analyze and validate the key technology of Terrain Following/Terrain Avoidance(TF/TA) system. The simulation system consists of three computers: the host computer, the TF/TA embedded computer and the 3D showing computer. TF/TA computer implemented by VxWorks embedded real-time operating system can plan flight trajectory, match terrain and simulate radar data. The real-time simulation system can be used to verify TF/TA algorithm and simulate real flight effect.

**【Key words】** low altitude penetration; terrain following/terrain avoidance; terrain match

现代低空突防系统在逐步向综合的、自主式方向发展。作战飞机利用地球曲率和地形起伏造成的防御系统盲区 and 地面杂波, 快速隐蔽地突入敌区进行突然袭击。目前, 先进的低空突防系统利用低辐射雷达实时探测地形, 采用航迹自动规划、多传感器信息融合、并通过机载数字地图和地形匹配技术得到精确的定位信息, 利用最优控制技术进行地形跟随/地形回避(Terrain Following/Terrain Avoidance, TF/TA)飞行, 形成了现代低空突防技术的初步框架<sup>[1-2]</sup>。但是由于地形跟随/地形回避系统具有结构复杂、实际飞行要求高、危险性高的特点, 直接通过试飞验证必然会造成巨大的浪费和风险。为了解决这样的问题, 在现有TF/TA算法研究成果上, 设计了TF/TA数字实时仿真系统。该系统可对地形跟随/地形回避技术完整飞行过程进行实时仿真, 并同时飞行姿态、数字地形的三维动态显示及飞行高度剖面等的演示。利用该系统可以验证TF/TA轨迹规划算法、地形匹配算法, 而且可以完整形象地模拟飞机在空中进行地形跟随/地形回避飞行的实际效果, 对机载TF/TA系统的实时突防能力进行演示, 为TF/TA系统的试飞验证提供必要准备。

### 1 系统设计关键技术

#### 1.1 地形跟随/地形回避航迹规划技术

低空突防主要包括地形跟随与地形回避 2 种基本形式: 地形跟随(TF)是指飞机在航向不变的情况下, 依靠纵向机动能力随地形高度起伏改变飞行高度, 从而尽量贴近地面飞行以躲避敌方雷达的技术; 地形回避(TA)是指飞机在离地高度不变的情况下, 通过改变航向, 做绕过山峰等地面障碍物的飞行。航迹规划技术就是在给定数字地图、飞行器特性参数、飞行任务情况下, 按照某种性能指标, 要求规划器能够在数

字地图上方的某个离地高度上规划出一条性能最优的三维航迹。规划出来的航迹作为飞行器飞行的参考航线, 引导着飞行器在控制律的作用下完成飞行任务。

#### 1.2 地形匹配技术

飞机在执行飞行任务之前一般会通过各种手段获得飞行区域的数字地图, 将该地图存储于计算机存储器当中, 通常称之为“基准图”。当飞机进行低空突防时机载雷达实时扫描前方一定范围内的地形, 记录当地的地形剖面, 通常称之为“实时图”。在基准图中搜索出与实时图尺寸、数据相同的部分就可以确定飞机当前的位置, 以及偏离预定位置的纵向、横向偏差。地形匹配技术已经是当前应用较为广泛的辅助导航技术。

#### 1.3 雷达模拟技术

在仿真系统中不可能使用真正的雷达进行实时图的采集, 所以必须通过软件模拟出一个雷达, 在已有的数字地图上根据飞机当前的位置信息和用户设定的雷达参数(雷达的探测距离、雷达相对于飞机的最大探测偏角等)提取出一片区域作为仿真过程的实时图, 供地形匹配使用。

### 2 实时仿真系统设计与实现

#### 2.1 系统整体运行过程描述

TF/TA 飞行仿真系统的基本任务是运用现代的仿真技术, 对先进的地形跟随/地形回避的完整飞行过程进行纯计算机数字仿真。验证所设计的轨迹规划和地形匹配算法的性能和特点以及雷达测量精度、地形匹配周期对飞行过程的影响

**作者简介:** 李爱军(1972 -), 男, 副教授、博士, 主研方向: 智能控制理论与应用, 飞行控制与仿真; 谢燕武, 硕士研究生

**收稿日期:** 2007-02-20 **E-mail:** liaijun@nwpu.edu.cn

等关键技术。

整个仿真系统的运行主要分为 2 个阶段:航迹规划阶段,实时仿真阶段。

在航迹规划阶段,用户首先在主机选取二维数字地图,设置航迹规划参数,然后向 TF/TA 计算机发送开始航迹规划命令;TF/TA 计算机接收到规划命令之后调用航迹规划模块进行航迹解算,并把结果通过串口传回主控机;主控机将规划结果在二维数字地图上进行显示。

在实时仿真阶段,主机按设定的匹配周期将 TF/TA 计算机发送需要匹配的飞机位置及飞机姿态数据,并以中断方式接收 TF/TA 计算机送回的匹配结果并在界面中显示;通过网络以 UDP 方式按照 50 ms 的刷新率向视景演示系统发送飞机位置及姿态数据。TF/TA 计算机模拟雷达在数字地图上采集数据,并进行地形匹配解算,将结果实时地传回主机。视景演示机接收数据进行三维演示,逼真地显示飞机飞行全过程。

## 2.2 系统硬件组成

该仿真系统是 3 台计算机组成的分布式交互仿真系统,3 台计算机分别采用不同的硬件组成,以有效地完成各自的仿真任务。其中,主控机实现仿真控制界面和飞机模型的调用;TF/TA 计算机完成轨迹规划、雷达模拟,地形匹配解算;视景系统完成飞行过程的可视化。主控机与视景计算机采用千兆以太网连接;主控机和 TF/TA 计算机采用 RS232 串行通信,最终形成闭环仿真系统。

主控计算机:主控机实现人机交互和飞机模型的生成,提供用户对仿真过程进行监控的友好界面。采用普通的 PC 计算机,Windows2000 professional 操作系统,保证了该软件无需特殊硬件要求下的安装和使用。

TF/TA 嵌入式计算机:TF/TA 嵌入式计算机作为 TF/TA 算法执行的硬件平台和 VxWorks 操作系统共同为 TF/TA 算法的实时解算提供运行环境。这里选用盛博公司的 ETX-5110 常温模组作为 TF/TA 嵌入式计算机的核心部件(CPU 模块),配同接口电路、电源、ATR 机箱共同构成 TF/TA 计算机。主要的硬件特性有:高性能 Intel Pentium III 处理器;256 MB 内存,40 GB 硬盘;Intel815 芯片组,2 个 IDE 接口,Ultra DMA 33/66/100;2 个标准串口;航空标准插头等。

视景演示计算机:同样采用普通的 PC 机,Windows2000 操作系统,为了保证良好的三维显示效果,要求计算机显卡和显存具有较高的配置。

## 2.3 系统软件模块划分及整体结构

系统整体结构以及数据流向如图 1 所示。

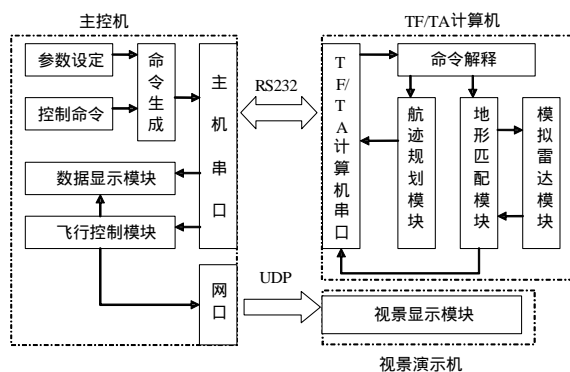


图 1 系统整体结构

仿真系统中的 3 台计算机中分别运行不同的仿真模块,这些模块包括:在主机中运行的飞行控制模块,数据 display 模

块,命令生成模块;在 TF/TA 计算机中运行的航迹规划模块,雷达模拟模块,地形匹配模块;在视景计算机中的三维显示模块。

## 3 基于 VxWorks 的 TF/TA 计算机设计

TF/TA 计算机是仿真系统中重要的组成部分,它担负着仿真过程中最为复杂和繁琐的计算任务,并且在整个仿真过程中需要监听,响应主控机的命令,配合整个仿真过程的顺利进行。所以,TF/TA 计算机的设计对于整个仿真系统的运行起着至关重要的作用。由于用户的需要,TF/TA 计算机需要方便携带和使用,采用了盛博公司的 ETX-5110 常温模组和嵌入式开发板,并采用了具有高可靠性、实时性的嵌入式操作系统 VxWorks 作为 TF/TA 计算机的运行环境。

TF/TA 仿真软件是应用于模拟作战飞机低空突防飞行的软件。作战飞机在执行飞行任务时不断地接收前方的地形信息和威胁信息等,由于飞机的飞行速度非常快,如果不能对这些信息及时进行处理,重新规划航迹,回避危险,很可能造成非常严重的后果。VxWorks 具有非常良好的实时性,其系统本身的开销就很小,而且多任务内核、任务调度、任务间通信、中断处理等系统公用程序精练而有效,它们造成的延迟很短。而且 VxWorks 提供的多任务机制中,对任务的控制采用了优先级抢占(preemptive priority scheduling)和轮转调度(round-robin scheduling)机制,Wind 内核提供了 256 个任务优先级,支持任务的优先级动态分配,这样既实现了应用遵循真实世界优先关系的变化,也充分保证了可靠的实时性<sup>[3]</sup>。同时,TF/TA 除了对实时性要求很高以外,为了提高飞机的作战效能,减少飞机的坠毁概率和被击中概率,同样对系统的可靠性和稳定性也有相当高的要求,操作系统必须能够在多任务处理、多种事件响应下可靠、稳定地运行,而稳定、可靠正是 VxWorks 的突出优点。

TF/TA 计算机需要具备的功能有:通过串口与主机进行实时的通信和数据传输,航迹规划解算,模拟雷达的数据采集,地形匹配解算。TF/TA 计算机完全根据串口来的命令字,发起不同的任务模块进行工作。系统软件结构如图 2 所示。

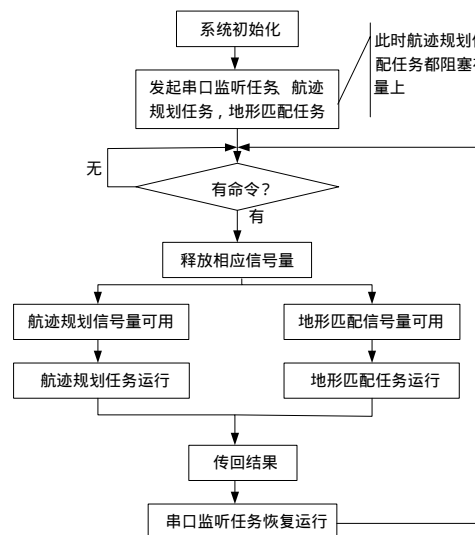


图 2 TF/TA 计算机软件结构

将开发好的应用程序与 VxWorks 内核捆绑生成 VxWorks 镜像文件,拷贝到 TF/TA 计算机硬盘上。上电后,TF/TA 计算机从硬盘启动 VxWorks,当 VxWorks 启动完毕自动调用应

(下转第 239 页)