

doi: 10.7690/bgzd.2015.02.024

某型无人机飞行动力学仿真软件设计

路 引¹, 陈睿璟², 王道波³

(1. 南京航空航天大学无人机研究院, 南京 210016; 2. 中航工业航空动力控制系统研究所, 江苏 无锡 210063;
3. 南京航空航天大学自动化学院, 南京 210016)

摘要: 无人机飞行动力学仿真是无人机飞行控制系统半实物仿真系统的重要组成部分。为了开发一种实用型的无人机飞行动力学仿真软件, 考虑无人机飞行动力学仿真的实时性和精度问题, 基于四阶龙格-库塔算法, 对无人机飞行动力学非线性模型的实时仿真进行研究, 设计和开发了无人机飞行动力学实时仿真软件, 并成功应用于某型无人机飞行控制系统的半物理仿真试验。试验和测试结果表明: 该动力学仿真软件设计合理并满足飞行仿真要求, 具有一定的工程应用价值。

关键词: 无人机; 动力学模型; 仿真软件

中图分类号: TP311.52 **文献标志码:** A

Software Design on Dynamic Simulation of Flight for a Certain UAV

Lu Yin¹, Chen Ruijing², Wang Daobo³

(1. Institute of Unmanned Aerial Vehicle, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China;
2. Institute of Aviation Motor Control System, Aviation Industry Corporation of China, Wuxi 210063, China;
3. College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Software design on dynamic simulation of flight is an important part of hardware-in-loop simulation of flight control system for UAV. In order to develop a practical flight dynamic simulation software for UAV, considering the real-time and precision of flight dynamic simulation for UAV, real-time simulation of flight dynamic nonlinear model for UAV is studied based on four order Runge-Kutta algorithm. A kind of practical flight dynamic simulation software for UAV is designed and developed and applied to hardware-in-loop simulation experiment of flight control system for UAV successfully. The testing results show that the software design on dynamic simulation is reasonable and satisfied with the requirements of flight simulation quality, with further engineering applications.

Keywords: UAV; dynamic model; software design

0 引言

无人机控制系统仿真主要为无人机设计和控制策略研究提供飞行试验平台。在无人机的设计、研制和使用过程中, 无人机飞行控制系统的半物理仿真作为飞行前和飞行后的实时过程模拟是一个重要的性能评估手段和故障的再现手段。半物理仿真通过部分系统实物部件的接入, 对航电设备进行有效性和实用性验证, 以弥补数学建模中的系统误差, 有效校正和验证飞行控制系统的控制律, 排除飞行中可能出现的故障, 保证硬件设备始终处于良好状态。如果对控制功能进行局部修改, 能够立即在仿真环境中验证, 从而确保飞行控制软件功能的正确性和有效性。因此, 无人机飞行仿真技术在无人机发展中发挥着至关重要的作用和意义^[1-3]。

1 仿真软件人机界面

飞行动力学仿真计算机的主要任务是完成无人

机的飞行仿真计算, 本仿真软件以 Windows 为运行平台, 采用 VC++6.0 语言编写。采用模块化的程序结构, 可以进行常规布局的无人飞行器飞行动力学仿真运算, 可以进行分段的线性化仿真运算^[4]。

无人机气动参数的精确程度不同, 仿真子系统进行一次模型计算所需要的时间也不相同, 所研究的无人机完成单步仿真计算大概需要 0.1 ms, 模型数据更新速率应快于机载系统中的飞行控制周期, 同时为了兼顾仿真数据的人机交互, 设定仿真定时器为 1 ms。在多任务操作系统中, VC 中的 Timer 定时器的定时消息只具有很低的优先级, 无法及时得到响应, 定时精度也不高, 不能满足本系统的实时控制要求, 因此选用多媒体定时器, 该定时器控制精度高达毫秒级, 使用方便。

舵机的舵面偏角通过并行接口传输到仿真计算机, 无人机角运动指令通过光纤传输到转台, 传输

收稿日期: 2014-09-04; 修回日期: 2014-11-03

作者简介: 路 引(1988—), 男, 安徽人, 硕士, 实习研究员, 从事无人机飞行力学与飞行控制研究。

周期为 5 ms。根据这些不同的传输方式和数据长度，设计不同的输出判断标志位，从而进一步细分完成不同数据传输的时间节拍。在本软件系统中，

定时器设置为 1 ms，光纤传输时间节拍设为 5 个定时周期，A/D 采样时间节拍设置为 10 个定时周期，人机交互设计为 50 个定时周期，其软件流程如图 1。

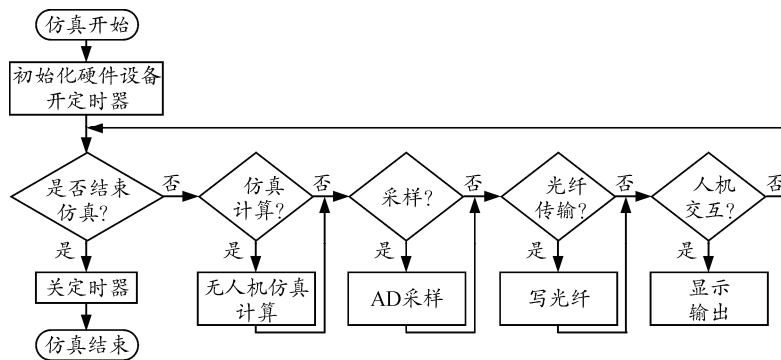


图 1 软件总体流程

飞行动力学仿真软件除了实现仿真计算和数据传输外，还应具备友好的人机交互能力。本软件设计了基于 NI Measurement Studio AppWizard 的友好界面，界面如图 2 所示，该软件界面包括仿真参数和仿真参数设置 2 个对话框^[5]。其中，仿真参数对话框包括仿真数据显示、动态航迹显示、飞行姿态仪表和操作按钮等。仿真参数设置对话框主要设置飞机的起飞点、切点和起飞方式等。

影响仿真的实时性。因此，针对不同的仿真目标和性能要求，选择合适的仿真算法，才能很好地解决计算精度和计算资源冲突的问题。

龙格-库塔法(R-K 方法)是基于微分中值定理并在工程上广泛应用的高精度单步算法，该方法与泰勒级数法密切相关，其不是通过求导数来构造近似公式，而是用几个点上函数值的线性组合代替函数的各阶导数，然后按泰勒级数展开去确定其中的系数。该方法不仅可以无需进行高阶导数的计算，还可以提高积分精度。理论上，构建的龙格-库塔公式的阶数越高，得到的解越能够逼近真实解的泰勒展开式，但是实践却表明：构建的龙格-库塔公式的阶数高于四阶会引起计算量的急剧增加，而且不一定能够提高解的精确度。在实时仿真中，一般采用四阶龙格-库塔公式进行数值计算，四阶龙格-库塔法实现模型实时解算是有效和精确的，其计算流程图如图 3 所示，常用的四阶龙格-库塔公式如下式：

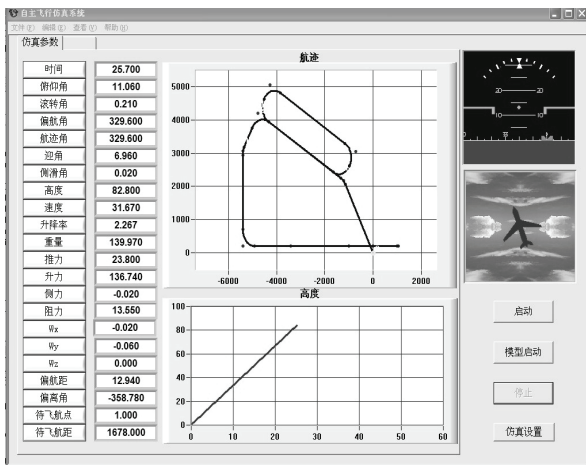


图 2 仿真和仿真设置界面

2 仿真算法

无人机飞行仿真需要通过迭代法求解无人机模型各微分方程，计算出无人机在各个时间节拍的动态数值解，获得当前时刻的飞行状态参数；因此，选择合适的仿真算法求解微分方程至关重要。对仿真系统而言，计算精度和占用的计算机资源是相互矛盾的，精度越高，计算越复杂，占用的计算机资源越高，而当仿真计算占用过多 CPU 资源的话，仿真系统完成单步仿真计算的时间节拍将变长，从而

$$\begin{cases} y_{n+1} = y_n + \frac{h}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \\ k_1 = f(t_n, y_n) \\ k_2 = f(t_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{h}{2}k_1) \\ k_3 = f(t_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{h}{2}k_2) \\ k_4 = f(t_n + h, y_n + hk_3) \end{cases}$$

式中： $h = t_n - t_{n-1}$ 为步长； $k_1、k_2、k_3、k_4$ 为计算的函数值； y_n 为第 n 步的输出； y_{n+1} 为 $n+1$ 步的输出。

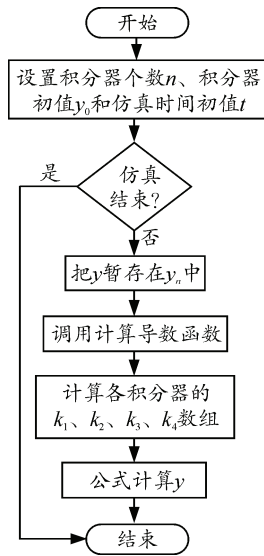


图 3 仿真算法计算流程

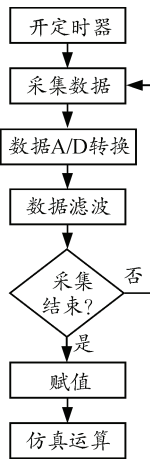


图 4 A/D 采样流程

3 仿真数据传输

仿真数据的输入输出构成了仿真计算机与其他仿真物理效应设备之间的通信。有效、快速、稳定的数据传输是保障仿真有序进行的关键，选择合适的传输方式，可以在提高数据传输速率的同时减少误传率，进而增加数据有效性^[6]。仿真系统主要用到了 A/D 采样和光纤通信 2 种通信方式。

3.1 A/D 采样

仿真计算机通过 7122 并口卡采集舵机测角与加载装置的电压信号。采样定时利用计算机的专用定时器，其采样定时间隔为 20 ms。模拟输入(A/D 采样)采用了扫描模式，在每启动一次 A/D 采样可得到 16 通道的采样值，可以减少因多次调用子函数而浪费的时间^[7]。该接口程序中，还采用了 4 次采样求平均值再加上一阶低通滤波的方法，降低了采样噪声和采样误差，A/D 采用流程图如图 4 所示。

A/D 采样模块的核心是调用 Windows 的多媒体定时器，定时器的定时周期为 1 ms，每 10 个定时周期完成 1 次采样。在第 1 个 10 ms 定时中断到来时，触发 A/D 采样后返回，第 2 个 10 ms 定时中断到来时，上行数据向仿真计算机发送一帧数据。

3.2 光纤通信

光纤通信具有通信容量大、传输距离远、信号

干扰小和抗电磁干扰等特点。在仿真计算机跟转台之间选用光纤通信使得传输信号更加稳定，不受仿真现场电磁干扰。光纤通信首先需要在发送端将待传输信号转换为电信号，然后将电信号调制成强度跟随电信号频率变化的激光束，经由光纤传输到接收端。在接收端，检测器将接收的光信号解调成电信号，再从电信号中得到传输的原信号^[8]。在本仿真系统中，需要在设备物理地址里写入需要传输的数据值，转台程序到相应的物理地址里读取相应的数据值，然后进行数据格式转换，转换成转台自身需要的控制信号，从而构成仿真计算机跟模拟转台的有效传输。

4 结束语

无人机飞行动力学仿真软件是无人机仿真软件的核心部分，笔者着重从人机交互界面、仿真算法和仿真数据传输等方面进行了研究，设计并开发了飞行动力学仿真软件。该飞行动力学仿真软件成功应用于某型无人机的半实物仿真中，试验和测试结果表明该飞行动力学仿真软件设计合理可行。

参考文献:

- [1] 胡军, 邓支益. 小型无人机实时仿真系统设计与实现[J]. 航空电子技术, 2004(35): 37-41.
- [2] Bambang Rilanto Trilaksono, Rayan Triadhitama, Widyawardana Adiprawita, et al. Hardware-in-the-loop simulation for visual target tracking of octorotor UAV[J]. Aircraft engineering and aerospace technology, 2011, 83(6): 407-419.
- [3] 王宏新, 刘长亮, 成坚, 等. 某型无人机的半实物仿真训练系统设计[J]. 电子设计工程, 2009, 19(4): 24-27.
- [4] Guillermo Heredia, Alfonso Duran, Anibal Ollero, et al. Modeling and Simulation of the HADA Reconfigurable UAV[J]. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2012, 65(1/4): 115-122.
- [5] 翟彬. 小型无人机飞控系统实时仿真技术研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2007: 57-63.
- [6] 申文彬. 半实物仿真系统实时通信技术的研究与开发[D]. 长沙: 湖南大学, 2006: 46-53.
- [7] 李永忠. 实时数据采集系统中定时程序的设计[J]. 南阳师范学院学报, 2006(6): 88-90.
- [8] 白建春. 光纤通信技术的发展及其应用[J]. 信息技术, 2010(3): 34.