

## 基于 WorldWind 的仪表飞行程序三维可视化仿真

孟凡胜, 刘君, 马韶璞, 王艳群

(中国民航大学天津市智能信号与图像处理重点实验室, 天津 300300)

**摘要:** 针对目前仪表飞行程序多采用平面图和数表方式给出的不足, 提出一种结合三维地理信息系统 WorldWind 的可视化飞行程序验证方法。首先在 WorldWind 中搭建虚拟化三维环境; 然后输入机场定位点、航迹和导航台坐标等关键参数, 通过三维坐标转换和插值等方法进行处理; 最后根据所得数据在三维环境中生成仪表飞行程序, 并进行飞行模拟仿真。实验表明, 该系统能够方便快速地完成仪表飞行程序的三维可视化且具有较好的扩展性, 可用于仪表飞行程序的辅助设计及验证。

**关键词:** 飞行仿真; 三维可视化; 仪表飞行程序; 计算机辅助设计

**中图分类号:** TP391.9      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-637X(2015)12-0084-04

## 3D Visualization Simulation of Instrument Flight Procedure Based on WorldWind

MENG Fan-sheng, LIU Jun, MA Shao-pu, WANG Yan-qun

(Tianjin Key Lab for Advanced Signal Processing, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

**Abstract:** Currently, the instrument flight procedure is usually presented by planar graphs and tables. In this paper, a visual flight program verification method is put forward based on the three-dimensional (3D) geographic information system WorldWind. A 3D virtual environment was set up in WorldWind. Then, the airport anchor points, track and navigation station coordinates and other key parameters were entered, and processed by 3D coordinate transformation and interpolation. By using the data obtained, an instrument flight procedure was generated in the 3D environment, and flight simulation was made. Experiments show that, the proposed system can complete the 3D visualization of instrument flight procedures rapidly, and has good expansibility, which can be used for the auxiliary design and verification of instrument flight procedures.

**Key words:** flight simulation; 3D visualization; instrument flight procedure; computer-aided design

### 0 引言

飞行程序是为航空器设定的在飞行各阶段内使用的飞行路线, 是制定机场最低运行标准的基础之一, 其设计基本原则: 保障飞行安全、提高运行效率、节约成本、操作简便。所谓进近, 就是飞机脱离航路、高度逐渐降低、朝向目的机场飞行并最终在跑道上着陆的过程。进近过程是飞行中最复杂、最容易出现事故的过程, 因为这个过程目前还主要由驾驶员手动完成, 且操

作繁琐、时间较长(一般 30 min 左右), 加上终端区飞机密度较大, 容易出现事故。因此, 进近程序在整个飞行程序中十分重要。

随着三维地理信息系统(GIS)的飞速发展, 三维仿真技术已经应用于很多领域, 三维 GIS 和飞行校验技术相结合是一个非常有意义的研究方向<sup>[1-2]</sup>。国内某些单位也对基于性能的导航飞行程序验证进行了研究, 通过 GDI + 绘图和 SuperMap Objects 平台的二次开发, 实现了终端区航图与地形信息相结合<sup>[3-4]</sup>。在三维环境中可以动态模拟对导航设备飞行校验的整个过程, 并结合真实地理信息了解地形地貌, 对导航设备的校验信号进行实时仿真, 在飞行仿真领域有重大应用前景<sup>[5]</sup>。

本文以某跑道标准仪表进近程序为例, 利用三维地理信息系统 WorldWind 的二次开发功能, 提出了在

收稿日期: 2015-01-11      修回日期: 2015-03-05

基金项目: 天津市应用基础与前沿技术研究计划(14JCYBJC16000); 中央高校基本科研业务费项目(3122013C016, 3122013Z001, SY-1423)

作者简介: 孟凡胜(1988—), 男, 山东临沂人, 硕士生, 研究方向为基于视觉的民航安全。

WorldWind 上实现飞行航迹、高程数据和高分辨率地理环境等三维可视化的方法,并在三维环境下进行仪表程序可视化和飞行仿真验证,实现三维仿真和仪表程序初始验证的有机结合。

### 1 仪表进近程序

所有仪表飞行程序都分别针对离场、航路、进场、进近几个阶段进行设计<sup>[6]</sup>。其中,针对进近设计的仪表程序,根据对飞机进近的引导方式不同,分为两类:精密进近(PA)、非精密进近(NPA)。目前,国际民航组织(ICAO)公约附件 10 中标注了 3 类精密进近标准:CAT I, CAT II 和 CAT III,引导要求如表 1 所示。

表 1 3 类仪表着陆标准

Table 1 The standard of the instrument landing systems

类别	决断高度	跑道视距
I	60	800
II	30	400
III A	15	200
III B	0	50
III C	0	0

ICAO 对 3 类精密进近都有严格的性能指标要求。一般情况下,精密进近所体现的外观特性为“一定能够提供满足性能要求的水平面和垂直面的引导”,即精密进近不仅要提供水平面和垂直面引导,还必须要满足性能要求。

仪表进近飞行程序从规定的进场航路或起始进近定位点(IAF)开始,到能够完成目视着陆的一点为止(除 CAT III 外,任何进近程序最后都必须建立目视参考),且包括复飞程序<sup>[7]</sup>。

除复飞阶段外,进近程序分为 3 个阶段:起始进近阶段、中间进近阶段、最后进近阶段(着陆阶段)。有些情况下,为突出着陆过程也把进近称为“进近着陆”。目视与仪表程序、进近程序间关系如图 1 所示。

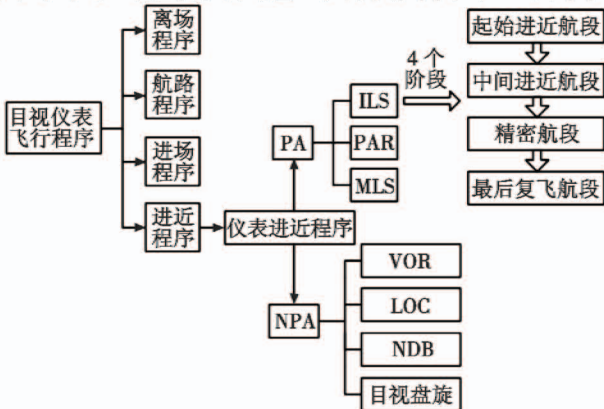


图 1 仪表飞行程序分类

Fig. 1 Classification of instrument flight procedures

目前民航主要采用精密进近,精密仪表进近使用的引导设施主要为仪表着陆系统(ILS)或精密进近雷达(PAR)。另外,精密进近在操作时要关注本机与跑道入口处的距离,在操作过程中会使用指点信标或测距机(DME)所提供的数据作为进近参考,因此使用的程序常被称为 ILS/DME 程序。

图 2 是某机场的 ILS/DME 精密仪表进近程序图。图 2 仅为水平操作部分,因精密进近对垂直操作也给出相应要求,因此航图还包含垂直操作部分,如图 3 所示。

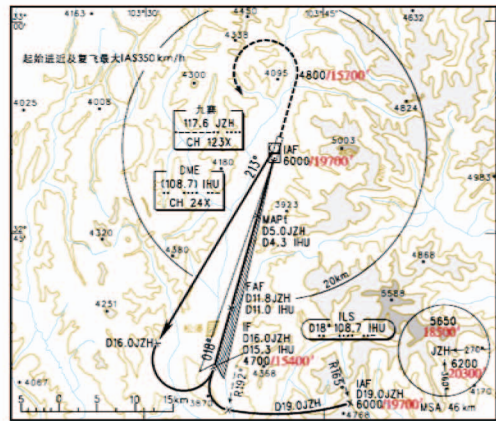


图 2 某跑道仪表进近程序图

Fig. 2 Instrument approach procedure chart of the runway

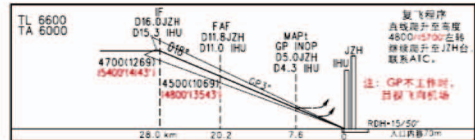


图 3 某跑道进近程序垂直剖面图

Fig. 3 Instrument approach procedure vertical chart of the runway

目前,民航和空管程序设计单位所用航图为平面图,其绘制采用手绘和计算机辅助的方式。航图的校对和验证评估多采用平面和实际校验飞行方式,周期长而且成本较高。

### 2 WorldWind 与 XML

WorldWind 是由美国宇航局和开源社区共同开发的三维地理信息系统,具有完善的插件机制和强大的可扩展性<sup>[3]</sup>,在地理信息服务、科学研究、灾害监测、系统二次开发等方面得到广泛应用<sup>[8]</sup>。

WorldWind 内部由 XML 实现数据描述和软件配置,World Model、图层、插件、Http 和 WMS 请求、三维渲染、缓存处理等通过 XML 数据和配置文件实现交互式浏览、本地缓存等。XML 文件通常用于描述和保存地理信息(如点、线、图像、面和三维模型等),并由 WorldWind 解释和渲染。WorldWind 启动或者刷新地球模型时,根据 XML 地理信息配置文件,将已定义的渲染对象加载



到相应图层,这些渲染对象就包括 Icon(点),LineFeature(线),PolygonFeature(面)等<sup>[9]</sup>。由于 WorldWind 是一款储存信息量庞大的三维地理信息系统软件,对硬件配置有较高的要求,重新启动或者刷新会耗费一定的时间。虽然这不利于飞行程序的实时设计,但可用于对完成设计的飞行程序进行虚拟化展示和验证。

作为一款优秀的三维地理信息系统,WorldWind 在设计之初就已考虑支持二次开发的功能,它有一套优秀的插件机制,支持多种语言和插件形式。完全开放的源码配合插件机制,使 WorldWind 的扩展性十分强大<sup>[10]</sup>。在 WorldWind 源代码的 Plugin SDK 项目中,含有编写插件类必备的相关类。所以本文利用 XML 存储航路信息,结合 WorldWind 的二次开发功能实现仪表飞行程序的设计验证,以直观、立体的方式展示仪表飞行程序。

### 3 仪表飞行程序的三维仿真

#### 3.1 三维场景搭建

由于 WorldWind 提供的某些地区的遥感影像不够清晰,为使仿真结果更加精确,本文描述的方法在 WorldWind 上加载机场终端区的高分辨率卫星遥感影像,图 4a 为机场的高清影像俯视图,视点高度为 4 km。通过图层进行“金字塔”结构的瓦片划分,使高清影像内容随不同视点高度而变化,实现地图缩放功能。图 4b 为机场视点高度 5.6 km 的高清影像侧视图,图中还包含机场周边的村镇。机场及村镇等环境影像可随视点高度不同而改变。

除高清影像地图加载外,高程数据加载也是三维环境搭建中必不可少的部分。利用 WorldWind 服务器数据源,可加载机场所在区域的高程数据,所用高程数据精度为 90 m。图 5 为添加高程数据后的三维地形和地貌。



图 4 某机场高清卫星影像图

Fig.4 HD satellite image of an airport

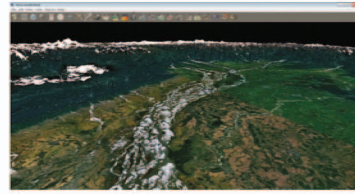


图 5 三维环境下的地形和地貌

Fig.5 Three-dimensional terrain and landscape environment

#### 3.2 仪表飞行程序三维可视化

要计算飞行航迹中各航段的解析方程,需要将这些关键定位点的坐标转换为平面直角坐标。为防止某些实际数据被不正当使用,本文中采用的所有数据被技术处理,但改动处不影响实验效果展示。

假设地球表面上任意一点  $P$  在 WGS-84 椭球体表面上的位置可用地理坐标表示为  $(B, L)$  ( $B$  为纬度,  $L$  为经度),经过墨卡托投影<sup>[11]</sup>转换后的平面直角坐标为  $(X, Y)$  (赤道的投影为  $X$  轴),单位为 m。取标准纬度为  $30^\circ$ ,原点纬度  $0^\circ$ ,原点经度  $0^\circ$ ,则由  $(B, L)$  向  $(X, Y)$  的转换式为

$$\begin{cases} X = KL \\ Y = K \ln \left[ \tan \left( \frac{\pi}{4} + \frac{B}{2} \right) \left( \frac{1 - \sin B}{1 + \sin B} \right)^2 \right] \\ K = \frac{a^2/b}{\sqrt{1 + e^2 \cos^2(B_0)}} \cos(B_0) \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $a, b$  分别为 WGS-84 椭球长短半轴;  $e'$  为第二偏心率。经过左边转换后的三维航迹,通过 WorldWind 二次开发接口和 XML 插件机制,可加载到 WorldWind 中。

跑道进近程序如图 6 所示,图 6a 为跑道的部分程序,程序不包含复飞阶段。紫色和绿色部分起始于两个起始进近定位点,即两个不同方向飞机开始进近的位置。通过同样的方法,可对跑道 2 的仪表程序进行三维可视化显示,如图 6b 所示。

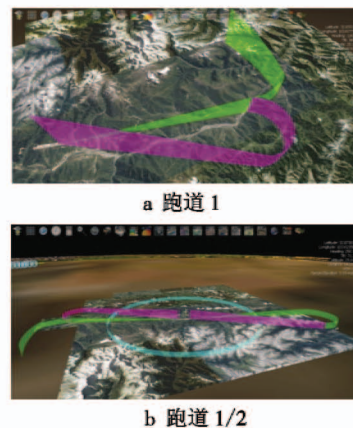


图 6 跑道进近程序

Fig.6 Instrument approach procedure of the runway

一般情况下,飞机都会正常着陆而不用进行复飞,但因天气或飞行员技术等原因引起的复飞还是时有发生



生,特别是复飞程序也属于仪表程序的一个组成部分,图 7 中的仿真加入了复飞航段的程序。

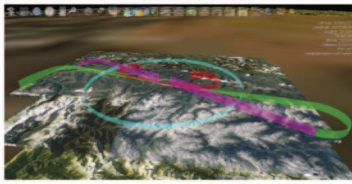


图 7 含复飞航段的某机场进近程序

Fig. 7 Approach procedure including missed approach segment

因视点高度原因,图 7 中远景处部分地图未能全部显示,这部分地图可随视角拉近而展现出来。

### 3.3 仪表程序飞行仿真

通过 WorldWind 的模型加载机制,可加载常见的飞机模型,并使模型沿仪表程序的航迹飞行,实现仪表飞行程序的虚拟验证,如图 8 所示。



图 8 仪表进近程序的飞行仿真

Fig. 8 Flight simulation of instrument approach procedures

图 8 中,利用插件机制加载一架空客 A380 的飞机模型,并为模型开发挂牌显示插件,使之实时显示模型的位置和时间信息。信息内容可根据用户需要设定,刷新速率也可根据不同终端的性能而改变。

## 4 实验结果

针对仪表飞行程序的特点,并结合其在精密进近中的应用,研究了飞行航迹从平面坐标向三维地理系统坐标转换的数学模型计算方法,并且利用 WorldWind 三维平台的二次开发接口,实现精密进近中标准仪表飞行程序航迹的三维可视化,最后通过调用 Direct3D 实现在高分辨率地形环境中沿三维航迹的飞行仿真。对机场仪表进近程序的模拟仿真结果表明,该方法能够快速地完成标准仪表飞行程序三维仿真,为飞行程序的辅助设计和验证提供了一个非常好的新思路。同时该成果还可作为民航技术推广的培训素材。

本系统平台还可与地面或飞机的监视数据、定位系统等相结合,获得飞机运行的实时参数。利用这类参数,可在计算机上还原飞机的飞行高度、速度、姿态轨迹等,计算偏离航线的距离或飞行误差,实现对飞机运行的监视和预测,进一步提高飞行安全,细化和完善飞行程序设计标准。

本系统还存在一些不足,特别是结合三维地理信

息数据后刷新速度和程序运行效率较慢。另外,本系统主要考虑仪表飞行程序辅助设计和后期验证阶段,未考虑程序设计初期的障碍物评估和机场建设时期的选址评估,还有待扩展和完善。

### 参考文献

- [1] 李夏. 仪表飞行程序三维呈现系统设计的初步研究[D]. 广汉:中国民用航空飞行学院,2011. (LI X. The preliminary research of instrument flight procedures three-dimensional display system design[D]. Guanghan: China Civil Aviation Flight University, 2011.)
- [2] LANDSBERG A, DARE A, KEE A, et al. Three-dimensional modeling and simulation of weapons effects for obstacle clearance[C]//Proceedings of the 2003 User Group Conference, 2003:244-249.
- [3] 沈笑云,赵瑞,焦卫东,等. 基于 World Wind 的 RNP 飞行程序三维可视化仿真[J]. 系统仿真学报,2012, 24(10):2131-2135. (SHEN X Y, ZHAO R, JIAO W D, et al. 3D visualization simulation RNP flight procedure based on World Wind[J]. Journal of System Simulation, 2012, 24(10):2131-2135.)
- [4] BELL D G, KUEHNEL F, MAXWELL C, et al. NASA WorldWind:opensource GIS for mission operations [C]//Aerospace Conference 2007, New York:IEEE Press, 2007:1-9.
- [5] LUO C L, CAI L C, ZHANG L L, et al. Obstacle assessment of parallel double-runway airfield clearance [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2011(11):69-73.
- [6] HENSLEY S, ROSEN P, GURROLA E. The SRTM topographic mapping processor [C]//Proceedings of IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000(3): 1168-1170.
- [7] 中国民航总局空中交通管理局. 目视及仪表飞行程序设计规范[S]. 北京:中国民用航空总局,2007. (China Civil Aviation Administration Air Traffic Management Bureau. Visual and instrument flight procedures design specifications[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2007.)
- [8] 张尚弘,易雨君. WorldWind 在汶川地震应急系统中的应用研究[J]. 系统仿真学报,2010, 22(5):1296-1300. (ZHANG S H, YI Y J. Disaster rescue emergency system built on WorldWind: application to Wenchuan earthquake [J]. Journal of System Simulation, 2010, 22(5): 1296-1300.)
- [9] HENSLEY S, ROSEN P, GURROLA E. The SRTM topographic mapping processor [C]//Proceedings of IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000(3): 1168-1170.