

文章编号:1001-9081(2009)12-3385-03

基于 Google Earth 的三维航迹监视及六自由度飞行仿真

唐 勇^{1,2}, 刘昌忠¹, 吴宏刚¹

(1. 中国民用航空局第二研究所 科研开发中心, 成都 610041; 2. 南京航空航天大学 民航学院, 南京 210016)

(tangyong1979@126.com)

摘要:提出了一种利用 Google Earth 二次开发能力实现飞机三维航迹监视和六自由度飞行仿真的新方法。使用 KML 语言描述飞机三维航迹和飞行姿态,通过 Google Earth 提供的可扩展接口引入飞机监视数据得到 Google Earth 上的飞机实时三维航迹及六自由度飞行仿真。系统采用 B/S 架构,客户端采用 Google Earth 浏览器,全部开发都在服务器端。提出了一种用飞机前后两个位置点空间连线矢量提取飞行姿态算法。用这种方式得到三维航迹简单直观,既可以用于三维航迹研究分析、实时航迹监视、六自由度飞行仿真,还可以作为一种新的航班动态查询工具。

关键词:Google Earth; 三维航迹; 姿态提取; 六自由度飞行仿真

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

3D flight track and 6-DOF flight simulation based on Google Earth

TANG Yong^{1,2}, LIU Chang-zhong¹, WU Hong-gang¹

(1. Research and Development Center, The 2nd Research Institute, Civil Aviation Administration of China, Chengdu Sichuan 610041, China;

2. Civil Aviation College, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing Jiangsu 210016, China)

Abstract: This paper introduced a novel method of 3D flight track and 6-DOF flight simulation based on secondary development of Google Earth. 3D flight track and 6-DOF flight simulation, described by KML markup language, were presented by introducing real-time surveillance data of flight into Google Earth via its extendable interface. The system was built on B/S architecture, and the entire development was put on the server while the clients used Google Earth browser directly. An algorithm to extract flight attitude from a space vector, which was connected by two track points, was proposed. The results indicate that 3D flight track derived by this way is simple and intuitionistic, which could not only be applied to the research and analysis of 3D flight track, real-time flight track, 6-DOF flight simulation, but also be used as a new query tool of flight information.

Key words: Google Earth; 3D flight track; attitude extraction; 6-DOF flight simulation

0 引言

飞机的三维航迹在飞行冲突研究、空域规划、航迹规划、飞行仿真、空管支持和飞行事故调查等中都具有重要意义。通常的三维航迹仿真都是用 OpenGL 绘制三维航迹^[1-2],用 Creator 创建三维模型,用 Vega 生成视景仿真^[3-4],都需要绘制航迹、地形建模以及视景仿真,并且都是针对某个区域的三维航迹仿真。

Google Earth 是 Google 公司开发的一个数字地球软件,它不但提供了覆盖全球的卫星图像、地图、地形和 3D 建筑等,甚至还包含了实时天气信息,同时还提供了二次开发能力^[5-8]。本文介绍了一种利用 Google Earth 作为平台,使用 KML 语言描述飞机三维航迹和飞行姿态,通过可扩展接口引入飞机监视数据得到 Google Earth 上的实时三维航迹的方法,既不必做地形建模、视景仿真,也不必用 OpenGL 绘制三维航迹。系统采用 B/S 结构,客户端采用 Google Earth 浏览器,全部开发都在服务器端。用户只需使用 Google Earth 浏览器访问 Web 服务器便能获得飞机实时三维航迹及六自由度实时飞行仿真。

飞机在空中的运动可视为刚体的一般运动,可以分解为

随质心的平动和绕质心的转动,一般由 3 个位置坐标(经度、纬度、海拔)和 3 个姿态坐标(偏航角、倾角、横滚角)来描述,称为六自由度运动^[9]。

1 系统设计

1.1 KML 语言

KML 是 Keyhole 标记语言(Keyhole Markup Language)的缩写,是一种采用 XML 语法与格式的语言,用于描述和保存地理信息(如点、线、图像、多边形和模型等),可以被 Google Earth 识别并显示。下面是描述一个经度为 -1.826 75,纬度为 51.179 045,高度为 0 的点的 KML 文件:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://earth.google.com/kml/2.2">
  <Placemark>
    <name>Simple placemark</name>
    <Point>
      <coordinates>-1.82675,51.179045,0</coordinates>
    </Point>
  </Placemark>
</kml>
```

KML 文件是文本格式的,通过简单的几行代码就可表示出各种地理信息。Google Earth 中各种信息用不同的图层添

收稿日期:2009-06-02;修回日期:2009-08-14。 基金项目:国家自然科学基金资助项目(60736045;60672176)。

作者简介:唐勇(1979-),男,重庆人,工程师,博士研究生,主要研究方向:空管自动化、信息处理、计算机仿真; 刘昌忠(1956-),男,四川成都人,高级工程师,主要研究方向:ATC 自动化系统、多雷达数据处理、雷达系统测试系统、机场场面监视系统、计算机模拟仿真、软件无线电; 吴宏刚(1977-),男,四川乐山人,高级工程师,博士,主要研究方向:空中交通管理、随机信号处理、计算机仿真。

加进来,通过编写 KML 文件就可以把点、线、地标、图片、3D 模型等叠加在 Google Earth 上。Google Earth 浏览器处理 KML 文件的方式与网页浏览器处理 HTML 和 XML 文件的方式类似。像 HTML 一样,KML 使用包含名称、属性的标签来确定显示方式。因此,可以将 Google Earth 视为 KML 文件浏览器^[5-8],KML 文件就是 Google Earth 为二次开发提供的一种可扩展接口^[5]。

1.2 系统结构

系统结构如图 1 所示。各种监视数据源(二次雷达 SSR、广播式自动相关监视 ADS-B 等)通过 UDP 报文把飞机监视数据发送给接口程序。接口程序从收到的监视数据中获得飞机航班号、位置(经纬度、海拔)等,并从位置中提取出飞行姿态,把它们编码后用 UDP 报文方式发送到 Web 服务器。Web 服务器上的 CGI 程序把收到的监视数据处理后生成 KML 文件,用户通过 Google Earth 浏览器访问 Web 服务器上实时更新的 KML 文件即得到用空间连线表示的飞机实时三维航迹及六自由度飞行仿真。



图 1 系统结构

1.3 姿态提取

由于飞机监视数据中只含有位置坐标而没有姿态坐标,因此要得到六自由度飞行仿真还需从 3 个位置坐标中提取出 3 个姿态坐标。由于民航飞机极少做出大幅度横滚动作,特别是在机场场面时没有横滚发生,因此可以把横滚角设为 0。飞机的偏航角和倾角可以通过飞机在前后两个位置点的空间连线矢量近似求出。计算方法如图 2 所示。

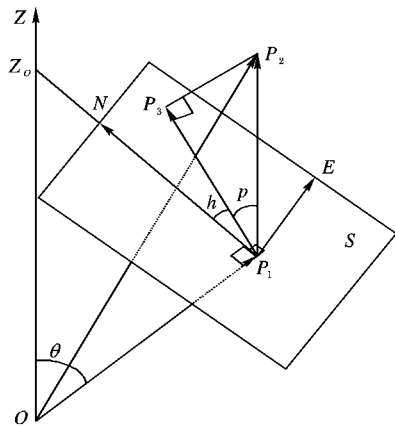


图 2 偏航角和倾角计算

由于地球是个椭球,因此飞机的飞行姿态应是基于当前飞机所在位置的切平面。图 2 中, O 为地心原点, OZ 指向北极点。设飞机前后两个运动位置点分别为 $P_1 = \{x_1, y_1, z_1\}$, $P_2 = \{x_2, y_2, z_2\}$, S 为 P_1 点在地球椭球面上的切平面, \vec{N} 为切平面 S 的正北方向, P_3 为 P_2 点在切平面 S 上的投影。因此只要求出了正北方向 \vec{N} 和 P_3 点,则 $\vec{P_1P_3}$ 与 \vec{N} 的夹角 h 即为偏航角, $\vec{P_1P_3}$ 与 $\vec{P_1P_2}$ 的夹角 p 即为倾角。

计算公式如下。

1) 求正北方向 \vec{N} : 由 $|\vec{OP_1}|$ 以及 $\vec{OP_1}$ 与 Z 轴夹角 θ 可求得 \vec{N} 与 Z 轴交点坐标 Z_0 。

$$Z_0 = |\vec{OP_1}| / \cos \theta$$

$$\text{那么, } \vec{N} = \vec{OZ_0} - \vec{OP_1}.$$

2) 求 P_3 点:

由于直线 $P_2P_3 \parallel OP_1$,故直线 P_2P_3 的点向式方程为:

$$(x - x_2)/x_1 = (y - y_2)/y_1 = (z - z_2)/z_1 = t \quad (1)$$

P_1 点的切平面 S 的点法式方程为:

$$x_1(x - x_1) + y_1(y - y_1) + z_1(z - z_1) = 0 \quad (2)$$

联立方程(1)~(2)求得 P_3 点坐标。

3) $\vec{P_1P_3}$ 与 $\vec{P_1P_2}$ 的夹角 p 即为倾角,即 $p = \arccos \langle \vec{P_1P_3}, \vec{P_1P_2} \rangle$ 。

4) $\vec{P_1P_3}$ 与 \vec{N} 的夹角 h 即为偏航角,即 $h = \arccos \langle \vec{P_1P_3}, \vec{N} \rangle$ 。

5) 偏航角象限判断。

通过反余弦求取偏航角时还需借助 $\vec{P_1P_3}$ 与正东方向 E 的夹角来判断偏航角所在的象限(h 或 $360^\circ - h$),如图 3。求得正东方向 $E = \vec{N} \times \vec{OP_1}$,则偏航角 heading:

当 $\vec{P_1P_3}$ 与 E 夹角 $< 90^\circ$ 时,heading = h ;

当 $\vec{P_1P_3}$ 与 E 夹角 $> 90^\circ$ 时,heading = $360^\circ - h$ 。

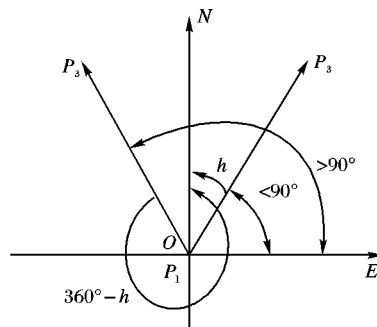


图 3 偏航角象限判断

2 应用结果

用 ADS-B 接收机在成都双流机场附近接收的民航飞机监视数据作为数据源,得到 Google Earth 上的实时航迹及六自由度飞行仿真如图 4~7 所示。

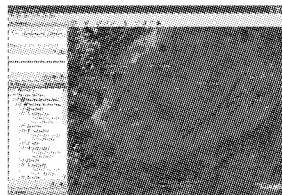


图 4 二维航迹图



图 5 从双流机场起飞的飞机

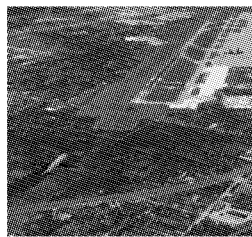


图 6 在双流机场降落的飞机



图 7 航路上的飞机

图 4 给出的是二维航迹图,飞机采用图片表示,二维航迹图便于监视整个区域的飞行动态。图 5~7 是三维航迹图,用位置点的空间连线表示三维航迹,并把每个位置点用垂线连到地面形成一个三维空间的面,直观地表示出了三维航迹。采用三维模型表示飞机位置及姿态,得到了六自由度飞行仿真。

3 结语

本文介绍了一种利用 Google Earth 提供的二次开发能力来实现航迹监视和飞行仿真的新方法。系统采用 B/S 架构,所有开发都在服务器端进行,客户端采用 Google Earth 浏览器,增加了系统的通用性。不必做地形建模、视景仿真、航迹绘制等便能得到飞机实时三维航迹以及六自由度飞行仿真。小结如下:

1) 利用 Google Earth 做仿真平台,用 KML 语言描述三维航迹和飞行姿态;

2) 通过把飞机真实监视数据引入到 Google Earth 中得到飞机实时三维航迹及六自由度飞行仿真;

3) 通过飞机前后两个位置点空间连线矢量近似计算出飞行姿态;

4) 3 个姿态坐标和 3 个位置坐标一起形成六自由度飞行仿真,飞机采用三维模型表示。

此系统既可以用于三维航迹研究分析、实时航迹监视以及六自由度飞行仿真,还可以把它作为一种新的航班动态查询工具。由于 Google Earth 的形象直观并包含了实时天气信息,因此非常便于公众理解实时航班动态,是否可能因为天气

出现延误等。

参考文献:

- [1] 黄葵,朱兴动. 应用 OpenGL 再现三维航迹[J]. 计算机应用, 2002, 22(4): 48-49.
- [2] 田甜,曹宁. 基于 OpenGL 实现雷达目标航迹的三维动态仿真[J]. 河海大学常州分校学报, 2006, 22(2): 30-33.
- [3] 梁伟,李新国. 直升机三维航迹规划与可视化仿真[J]. 计算机辅助工程, 2008, 17(2): 73-76.
- [4] 邱震宇,杨红雨,刘强. 三维大地形下的飞行航迹优化仿真[J]. 计算机仿真, 2008, 25(2): 59-62.
- [5] 江宽,龚小鹏. Google API 开发详解: Google Maps 与 Google Earth 双剑合璧[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [6] 王艳,何凭宗. 基于 VC++ 的 Google Earth KML 地标文件的自动生成及应用[J]. 北京测绘, 2009(2): 32-34.
- [7] 薛亚婷. 基于 Google Earth 及 KML 的数字校园设计与实现方法研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2007.
- [8] 赖德军. 基于 KML 格式的开滦煤矿土地利用信息系统研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2008.
- [9] 苑严伟,张小超,毛文华,等. 超低空无人飞行器虚拟现实技术实现与仿真[J]. 农业机械学报, 2009, 40(6): 147-152.

(上接第 3377 页)

在式(13)中,由于参数 a_1, b_1, x_0, y_0, r 均已知,因此求解二元一次方程就可求得交点 1 的 x 坐标,然后将其代入式(5)就可求得交点的 y 坐标。同理可求得交点 2、3、4 的坐标。

3 实验结果和分析

实验中对图 4 中 1 号开孔的尺寸进行测量,测量中连续采集 8 幅图像,并分别对 8 幅图像中的 1 号开孔进行测量,以评估测量的重复精度,测量结果如表 1 所示,从表 1 中的数据可以看出,测量的最大值和最小值间的差值(Max-Min)的最大值为 0.0854 pixel(像素分辨率为 0.01067 mm 时,其值为 0.91 μm),均方差最大值为 0.0282 pixel(像素分辨率为 0.01067 mm 时,其值为 0.30 μm),两者的值均很小,表明本文提出的 SMT 钢网尺寸检测方法是稳定、有效和可靠的,达到了快速、有效的实现钢网尺寸自动测量的目的。

表 1 测量结果

测量 次数	像素			
	圆弧 1 半径	圆弧 2 半径	直线段 1 长度	直线段 2 长度
1	24.7104	24.8380	73.7104	73.7098
2	24.7106	24.8375	73.7189	73.7172
3	24.7120	24.7998	73.7264	73.6956
4	24.6997	24.8506	73.7651	73.7213
5	24.7018	24.8179	73.6985	73.6895
6	24.6995	24.8539	73.7258	73.6714
7	24.7806	24.7968	73.6897	73.7568
8	24.7093	24.8005	73.7598	73.6732
均值	24.7167	24.8244	73.7243	73.7019
均方差	0.0268	0.0236	0.0268	0.0282
Max-Min	0.0809	0.0571	0.0754	0.0854

4 结语

在分析 SMT 钢网及其现有测量方法的基础上,提出了一

种基于视觉的快速、高效的 SMT 钢网自动视觉测量方法。在获取钢网 Gerber 文件信息的基础上,建立其与实际图像间的坐标映射关系。并采用 Gerber 文件图形信息在真实图像上确定其对应图形的大致位置以减少测量的图像处理时间,在此基础上采用粗、精亚像素定位方法及图形拟合算法实现钢网尺寸的快速测量。实验结果表明,本文所开发的基于视觉的 SMT 钢网自动视觉测量系统及相关算法能快速准确的实现钢网尺寸测量,从而有效地提高了钢网的测量效率及质量,为实现 SMT 钢网的自动测量提供了一种有效的方法。

参考文献:

- [1] 张晟. 精细间距 SMT 模板的制作研究[J]. 印制电路信息, 2003(11): 59-61.
- [2] 胡宏宇,花梁,迟志君. 适合高质量高速度印刷高聚物模版[J]. 电子工艺技术, 2002, 23(1): 20-23.
- [3] CHOI K-J, LEE Y-H, MOON J-W, et al. Development of an automatic stencil inspection system using modified Hough transform and fuzzy logic[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2007, 54(1): 604-611.
- [4] 王德胜. 运用 CAM 解决 GERBER 数据读入问题[J]. 计算机与数字工程, 2006, 34(10): 186-188.
- [5] 鲜飞. 利用 Gerber 文件提高电子组装生产效率和质量[J]. 电子与封装, 2006, 6(10): 58-60.
- [6] 周冬莲. DXF 与 Gerber 数据格式的转换[J]. 集成电路通讯, 2002, 20(3): 19-22.
- [7] 陈亮,郭雷,高世伟. 一种基于多尺度梯度的边缘提取方法[J]. 计算机应用, 2008, 28(12): 3129-3131.
- [8] CANNY J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698.
- [9] TABATABAI A J, MITCHELL O R. Edge location to subpixel values in digital imagery[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1984, 6(2): 188-201.
- [10] 张舞杰,杨义禄,李迪,等. 自动影像测量系统关键算法[J]. 光学精密工程, 2007, 15(2): 294-301.