

# 三维飞机运动目标图象序列的生成方法

马 兰 沈笑云 侯春萍

(中国民航学院三维显示技术研究所, 天津 300300)

**摘 要** 利用图象序列来检测、识别和选择运动飞机目标, 对于诸如航空管制和防空系统有着十分重要的意义. 通过运动目标的序列图象来研究运动目标的运动特征, 首先要利用序列图象估计目标运动参数和确定目标结构, 并建立观测模型, 进而才可通过动态三维显示技术迅速地将飞机的飞行动态特征在计算机屏幕上显示出来. 由此可见, 要进行运动目标研究, 就必须获得运动目标的序列图象, 而基于特征点重建的三维观测误差正态概率模型的三维飞机运动目标图象序列生成及最优运动估计是通过 OpenGL 三维图形动态库来实现的. 由这种方式产生的运动目标序列图象具有平滑、逼真的特点, 而且生成速度很快. 利用雷达数据进行的模拟试验表明, 该方法模拟的运动目标动态显示效果比较理想. 如果将实际景物与利用该方法生成的序列图象相叠加, 还能进行飞机性能试验和模拟训练, 因此, 该方法具有一定的应用价值.

**关键词** 图象序列 运动目标 三维 特征点 正态概率模型

**中图分类号:** TP391.9 V217 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-8961(2000)06-0521-04

## The Generation Method of Three-Dimensional Aircraft Motion Target in Image Sequence

MA Lan, SHEN Xiao-yun, HOU Chung-ping

(Three-Dimensional Display Technology Institute, Tianjin 300300)

**Abstract** Detection, identification, and selection of moving target through image sequence are very important to Air Traffic Control System and Air Defense System. To study image sequence of moving target, parameters of moving target should first be estimated, and its structure be identified, furthermore an observable model should be built to enable speedily display the performance of visible light radiation of flying target on computer screen adopting three-Dimensional display technology. Based on normal probability model under three-Dimensional observing with error, the generation and optimal estimation of motion parameters of moving target image sequence are realized by using OpenGL three-Dimensional graphics library. Hence the generated image sequence possesses the features of smooth, life-like and high speed. The result of dynamic display of moving target through simulating radar data is satisfactory. If the moving target image are synchronized with practical environment picture, this method will meet the requirement for flight performance test and simulation operation and has greatly valuable in this area.

**Keywords** Image sequence, Moving target, Three-Dimensional, Feature point, Normal probability model

## 0 引言

利用图象序列来检测、识别和选择运动飞机目标, 对于诸如航空管制和防空系统有着十分重要的意义. 通过人机交互, 能够迅速将一架飞机在飞行中的各种运动特征在计算机屏幕上显示出来, 使观察

者所看到的飞机序列图象与真实飞机的飞行相似.

通过运动目标的序列图象来研究运动目标的运动特征, 首先要利用序列图象来估计目标运动参数和确定目标的结构. 即通过对序列图象的处理, 可在具有系统噪声和测量噪声的情况下, 从统计的意义上对运动目标参数作出精确的估计. 若要解决考虑测量误差因素的 3D 目标运动估计问题, 则首先需

要建立视觉系统三维测量的误差模型,其次要作出基于该模型的最优运动估计,而视觉系统的三维建模已有不少模型问世,如 Blostein 首先获得了图象平面量化误差均匀分布的模型<sup>[1]</sup>,还有采用数字处理方法建立的模型,如 Deriche 提出的基于线段特征的正态误差模型<sup>[2]</sup>.

### 1 运动目标的运动特性和运动轨迹

在讨论运动目标的运动特性之前,需先分析一下刚体三维运动问题,即如果已知物体上  $N$  个点  $p_i$ , 其空间坐标为  $(X_i, Y_i, Z_i), i=1, 2, 3, \dots, N$ , 那么该物体的质心  $P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i$ , 根据物理学中质心的概念,物体质心的运动可以表示物体的运动.

现有已知对应关系的两个刚性三维点集  $P = \{p_i\}$  和  $Q = \{q_i\}, i=1, 2, \dots, N$ , 这里  $p, q$  的下标相同,表示  $p_i$  和  $q_i$  是对应点.若每个点是正态随机向量,且其分布的协方差矩阵为已知,即

$$p_i \sim N(p_i, \Gamma_{p_i}), q_i \sim N(q_i, \Gamma_{q_i})$$

则一般的刚体三维运动可用旋转  $R$  和平移  $t$  来表征,即

$$q_i = R p_i + t \tag{1}$$

我们希望在 LMS 意义下寻求最佳运动参数估计  $(\hat{R}, \hat{t})$ . 令运动后特征点为  $p'_i = R p_i + t$ . 为了定量地描述测量误差对运动参数估计的影响,采用下面马氏距离平方测度作为 LMS 估计的准则

$$e^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (q_i - p'_i)^T \Gamma_i^{-1} (q_i - p'_i) \rightarrow \min \tag{2}$$

其中  $\Gamma_i$  是对称矩阵

$$\Gamma_i = \Gamma_{q_i} + R \Gamma_{p_i} R^T \tag{3}$$

从上述可知,一般的刚体三维运动估计问题有 6 个未知参数,其中 3 个属于旋转矩阵,3 个属于位移向量.若采用标量三维运动估计的质心重合定理,则使得旋转和平移可以分别求解.周凌翔推广了这个定理<sup>[3]</sup>,将三维误差分布的最优 LMS 运动估计问题分解为类似的子问题,从而得出质心重合定理和运动分解定理.

**质心重合定理** 设  $\hat{R}, \hat{t}$  是式(2)的最小均方解,则当  $R = \hat{R}, t = \hat{t}$  时,点集  $\{q_i\}$  与  $\{p'_i\}$  的质心重合,即  $\bar{p}' = \bar{q}$ . 这里将相应点集的质心  $\bar{q}$  和  $\bar{p}'$  定义为

$$\bar{q} = \left| \sum \Gamma_i^{-1} \right|^{-1} \sum \Gamma_i^{-1} q_i$$

$$\bar{p}' = \left| \sum \Gamma_i \right|^{-1} \sum \Gamma_i p'_i \tag{4}$$

**运动分解定理** 上述最小均方运动估计问题中的方程式(2)可以分解为旋转和平移参数依次求解,即先计算旋转矩阵  $R = \hat{R}$ , 使得

$$e^2 = \frac{1}{2} \sum \left| (q_i - \bar{q}) - R(p_i - \bar{p}') \right|^2 \rightarrow \min \tag{5}$$

其中

$$\bar{q} = \left| \sum \Gamma_i^{-1} \right|^{-1} \sum \Gamma_i^{-1} q_i$$

$$\bar{p}' = \left| \sum \Gamma_i^{-1} R \right|^{-1} \sum \Gamma_i^{-1} R p_i$$

然后计算位移向量

$$\hat{t} = \left| \sum \hat{\Gamma}_i^{-1} \right|^{-1} \sum \hat{\Gamma}_i^{-1} (q_i - \hat{R} p_i) \tag{6}$$

式中,  $\hat{\Gamma}_i$  表示  $\Gamma_i$  在  $R = \hat{R}$  时的取值.

需要指出的是,本文讨论的是 3D-3D 运动估计问题,即两个对应点集都是由立体视觉系统重建的三维点组成.

由三维空间目标运动模型示意图(图 1)可见,根据已知图象帧的某一时刻的象点  $(X_{it}, Y_{it}), i=1, 2, \dots, N$ , 和一确定运动参数  $(R, t), t$  代表某一特定时刻,就可以推导出运动后新的一帧图象,其关系为:

假如运动前目标坐标为  $\begin{vmatrix} x \\ y \\ z \end{vmatrix}$ , 则运动后目标坐标为

$$\begin{vmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{vmatrix} = [R] \begin{vmatrix} x \\ y \\ z \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{vmatrix} \tag{7}$$

而运动前后图象点的关系为

$$\frac{Z_{in}}{f} \begin{vmatrix} X_{in} \\ Y_{in} \\ f \end{vmatrix} = \frac{Z_{it}}{f} \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X_{it} \\ Y_{it} \\ f \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \delta_z \end{vmatrix} \tag{8}$$

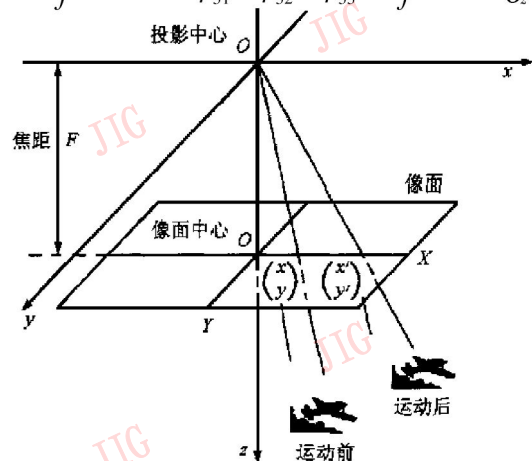


图 1 三维空间目标运动模型

$$\text{即 } X_{in} = f \frac{(r_{11}X_{it} + r_{12}Y_{it} + r_{13}f)Z_{it} + f\delta_x}{(r_{31}X_{it} + r_{32}Y_{it} + r_{33}f)Z_{it} + f\delta_z} \quad (9)$$

$$Y_{it} = f \frac{(r_{21}X_{it} + r_{22}Y_{it} + r_{23}f)Z_{it} + f\delta_y}{(r_{31}X_{it} + r_{32}Y_{it} + r_{33}f)Z_{it} + f\delta_z} \quad (10)$$

$$Z_{it} = \frac{(r_{31}X_{it} + r_{32}Y_{it} + r_{33}f)Z_{it}}{f} \quad (11)$$

在连续域,用上述公式就可以完成新的一帧图象的变换.上述式中 $(X_{it}, Y_{it}, Z_{it})$ 为已知图象帧的某一时刻的象点,  $(X_{in}, Y_{in}, Z_{in})$ 为目标运动后新的一帧图象的象点.

所谓质心分析的方法就是采用特征点方法观察目标,根据 Roach 和 Aggarwal 提出的方法<sup>[4]</sup>,运动的基本方程为

$$X = F \frac{a_{11}(x - x_0) + a_{12}(y - y_0) + a_{13}(z - z_0)}{a_{31}(x - x_0) + a_{32}(y - y_0) + a_{33}(z - z_0)}$$

$$Y = F \frac{a_{21}(x - x_0) + a_{22}(y - y_0) + a_{23}(z - z_0)}{a_{31}(x - x_0) + a_{32}(y - y_0) + a_{33}(z - z_0)}$$

这里 $(x, y, z)$ 是三维空间坐标系,  $(X, Y)$ 是象平面坐标系,  $F$ 是焦距,  $(x_0, y_0, z_0)$ 为透镜中心位置,  $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{33}$ 是摄像机位置常数 $(\alpha, \beta, \theta)$ 的函数.

由于在平行投影条件下,四点三帧图象即可唯一确定运动参数和深度信息,因此三维运动的参数可以沿用在正交投影下提取结构信息的线性算法,通过本质矩阵奇异值分解唯一确定.

## 2 三维飞机目标模型库的建立

在飞机目标体素模型的建立中,采用了体素构造法(CSG)和边界表示法(BRep)二者结合使用的方案,即利用 BRep 表示低层次物体,例如凸物体的具体形式;而利用 CSG 构造高层次的物体,使二者优势互补的方案.在具体的实现中,采用了 SGI 公司的 OpenGL 三维图形库和微软公司的 MFC 基类库,在 VC++ 5.0 环境下,建立了飞机目标体素模型.

OpenGL 由几百个过程和函数组成,用于支持用户对高质量(高分辨率、真彩色等)三维对象图象和图形的操作. OpenGL 的调用,涉及点、线、多边形及位图等对象的操作,许多 OpenGL 系统在实现“画”的动作时,需依赖于帧存的存在性,其性能也依赖于帧存的存在,而且它的大部分指令提供了立即接口操作方式,以便使被说明的对象能够马上被画到帧存上.

利用 OpenGL 产生三维飞机目标模型的步骤如下:

(1) 首先在帧存中定义一个窗口,然后在此窗口中进行各种“画”操作;

(2) 运用 3D 及 2D 图形的基本操作,包括转换矩阵,光照模型和光线跟踪,反混淆方法以及象素更新等操作;

(3) 利用 OpenGL 提供描述复杂的几何物体机制.

在采用 OpenGL 产生运动目标序列图象时,需将帧存的工作模式设置为双缓模式,此时程序就把帧存看成是两个视频存储器,但在任意时刻,只显示其中一个视频存储器的内容.当前,可见视频存储器称为前台视频存储器,不可见的正在画的视频存储器称为后台视频存储器.对于运动目标的序列图象,其连续的运动画面中既有固定部分,也有变化部分,固定部分实际上只画一次,OpenGL 可以使用前台视频存储器写和画图象,用后台视频存储器保存固定画面,再将两部分合成起来就形成了运动目标序列图象.

我们在建立分辨率为  $256 \times 256$  象素的样本飞机序列图象<sup>[5]</sup>时,飞机的姿态由方位、俯仰和深度在空间的角度(坐标值)来确定.然后利用雷达数据通过计算机处理给出的目标运动轨迹数据和卡尔曼滤波算法,连续产生运动目标序列图象,从而获得了运动目标直观的图象显示<sup>[6]</sup>.

在利用 OpenGL 进行三维动画画面的绘制时,首先必须进行象素格式的设置和演示上、下文的建立,并利用双缓冲器操作来切换画面,因而克服了在屏幕上进行传统的绘制和删除操作时,画面出现的跳跃问题,同时取得了平滑的动画连续效果.

## 3 试验结果和结论

为了验证本文的方法的效果,我们在奔腾 II 266 型微机上建立了一个运动目标模拟系统.通过调用 OpenGL 三维图象库,可以建立许多复杂目标的体素模型,并能够产生多种目标不同运动轨迹的序列图象.在实验中,首先将建立好的三维飞机目标体素模型调出,在计算机屏幕上连续显示,然后根据雷达传感器探测到的目标位置坐标数据,连续产生三维飞机目标运动的模拟图象.图 2 即为三维飞机目标在空中的飞行姿态示意图.

然后就可以通过模拟飞行屏幕和模拟 PPI 画面(图 3)两种方式对运动三维飞机进行观察.

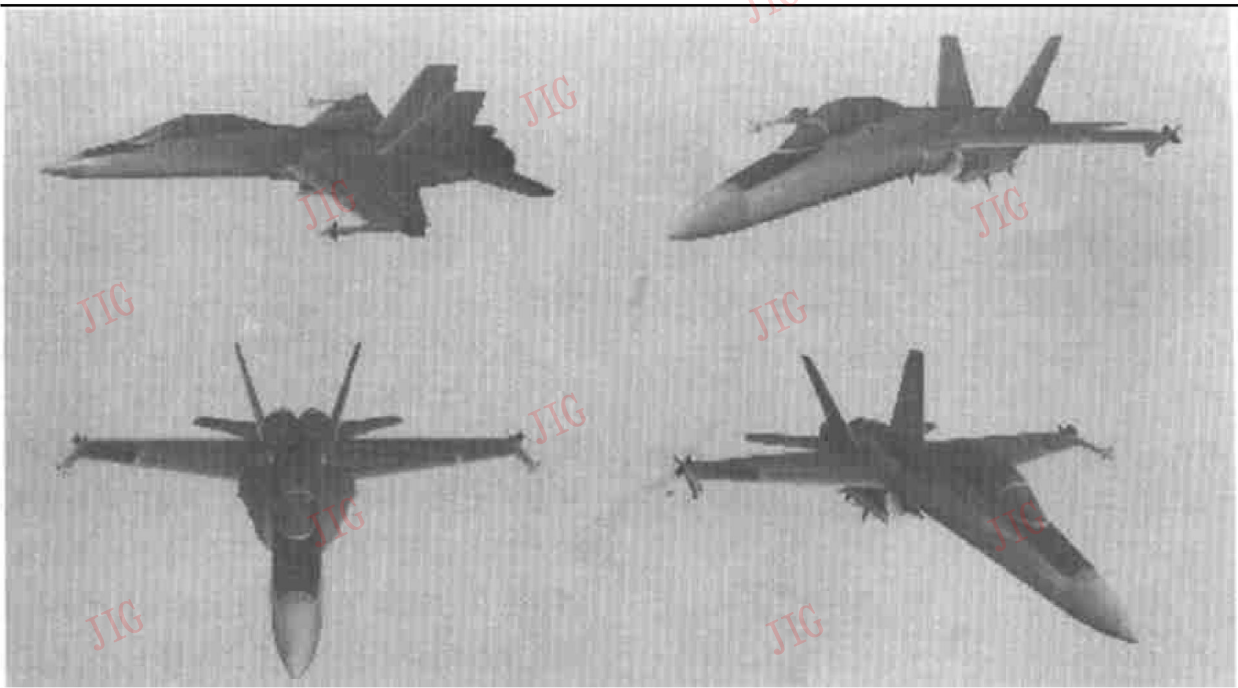


图2 三维飞机目标在空中的飞行姿态

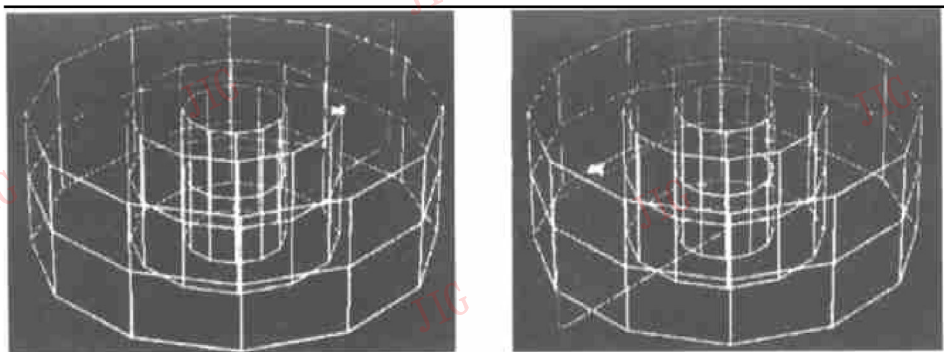


图3 PPI 显示器画面

通过上述试验表明,通过 OpenGL 利用基于运动估计算法产生的序列图象能够快速、准确地反映目标的运动动作.所以,如将用该方法模拟生成的三维飞机运动目标序列图象与实际景物相叠加,甚至可以用于飞机性能试验和飞行模拟训练,因此,该方法具有一定的应用价值.

### 参考文献

- 1 Blostein S D, Huang T S. Error analysis in determination of 3D point positions. IEEE Trans PAMI, 1987, 9: 752~ 765; and correction, 1988, 10: 765.
- 2 Deriche R, Valliant R, Faugeras O D. From noisy edge points to 3D reconstruction of a scene: A robust approach and its uncertainty analysis. In: Proc Scandinavian Conf Image Analysis, Denmark, 1991, 71~ 78.
- 3 周凌翔, 顾伟康. 三维 LMS 运动估计的迭代算法和线性算法. 电子学报, 1998, 26(1): 15~ 19.
- 4 Huang T S. Image sequence processing and dynamic scenic analysis. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1993.
- 5 唐国良, 荆仁杰, 姚庆栋. 基于矩阵特征的三维飞机目标识别. 电子学报, 1995, 23(4): 88~ 90.

- 6 李工宗, 韩忠芳, 马子墨. 图象序列的运动目标选择技术. 电子学报, 1998, 26(9): 34~ 39.



马兰 1966年生,1988年毕业于兰州大学计算机系,现任中国民航学院三维显示技术研究所助理研究员.参加了少数民族文字信息处理系统的研究,获得广播电视部科技进步二等奖.研究兴趣包括计算机视觉、图象处理和网页设计等.

沈笑云 1965年生,1989年毕业于西安电子科技大学研究生院,获工学硕士学位,现任中国民航学院三维显示技术研究所副研究员.从事计算机、视频立体视觉、图象处理的研究.

侯春萍 1961年生,1983年毕业于天津大学电子系研究生院,获工学硕士学位,1999年获博士学位,现在天津大学电子工程学院任教.从事计算机、视频立体视觉、图象处理的研究.