

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.11.003

飞行模拟器视景系统中视觉传感器仿真模型

陈春, 李陆冀, 刘兴

(海军指挥学院 科研部, 江苏 南京 210016)

摘要: 根据飞行模拟器视景系统的特点, 构建飞行模拟器视景系统的视觉传感器仿真模型。通过构建传感器覆盖区来构建飞行模拟器视景系统的仿真模型, 重点介绍了传感器覆盖区地面位置以及传感器性能指标的确定, 并测量了覆盖区中与视觉传感器仿真有关的一些变量。结果表明, 该模型有利于飞行模拟器的轨迹, 为类似轨迹类型设计提供了参考。

关键词: 视景系统; 视觉传感器; 仿真模型

中图分类号: N945.12; TP212.9 **文献标识码:** A

Vision Sensor Simulation Model of Visual Simulation System in Flight Simulator

Chen Chun, Li Luji, Liu Xing

(Dept. of Scientific & Research, Naval College of Command, Nanjing 210016, China)

Abstract: According to the characteristic of the visual simulation system in flight simulator, building the vision sensor simulation model of the visual simulation system in flight simulator by building the sensor footprint, and emphatically introduce the floor place of the sensor footprint and ensure confirm the capability index of sensor, and survey some variable in footprint which are relational to the vision sensor simulation. As a result, the model is propitious to the track of the flight simulator and provides reference to the simulative track design.

Keywords: visual simulation system; vision sensor; simulation model

0 引言

视景系统是飞行模拟器的重要组成部分, 可实时模拟飞机驾驶舱窗外的景象, 为飞行员提供有效的视觉信息, 创造真实的飞行环境, 其图形生成和显示质量直接影响飞行仿真的逼真性和飞行训练效果。完整的视景系统包括图像源和视觉传感器系统两大部分。其中, 视觉传感器系统决定了视场角、亮度、对比度等技术指标, 显得十分重要。与其它视景系统相比, 飞行模拟器视景系统具有其自身的特点, 包括场景覆盖范围大、涉及的场景对象复杂、视场角较大、对虚拟环境模拟和系统实时性要求较高等。故针对飞行模拟器视景系统的特点, 对飞行模拟器视景系统的视觉传感器仿真模型进行构建。

1 视觉传感器仿真模型

1.1 传感器覆盖区

飞行模拟器视景系统中需要计算传感器覆盖区的地面位置。观测时给出地面区域显示。覆盖区计算需要执行从传感器坐标到球体坐标的坐标转换。主要的描述符号和坐标转换如下:

J 坐标相对于 I 坐标的位置由 P_j^i 表示。J 坐标相对于 I 坐标的方位为: 偏航角 (ψ), 倾斜角 (θ), 滚

动角 (ϕ), 通过转换矩阵 C_j^i 从 I 坐标转换到 J 坐标。坐标转换矩阵计算见式 (1), 其中, $s_{(\cdot)}$ 和 $c_{(\cdot)}$ 分别表示 $\sin_{(\cdot)}$ 和 $\cos_{(\cdot)}$ 。式 (2) 给出了从 J 坐标到 I 坐标的逆转换。式 (3) 给出了点 K 从相对于 J 坐标的位置计算得到相对于 I 坐标的位置。

$$C_j^i = \begin{bmatrix} c_\theta c_\psi & c_\theta s_\psi & -s_\theta \\ -c_\phi s_\psi + s_\phi s_\theta c_\psi & c_\phi c_\psi + s_\phi s_\theta s_\psi & s_\phi s_\theta \\ s_\phi s_\psi + c_\phi s_\theta c_\psi & -s_\phi c_\psi + c_\phi s_\theta s_\psi & c_\phi c_\theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$C_i^j = C_j^i{}^T \quad (2)$$

$$P_k^i = C_i^j P_k^j \quad (3)$$

传感器覆盖区的位置由 4 组变量确定:

- 1) 传感器的视场特征。水平和垂直视场分别由 FOV_H 和 FOV_V 表示;
- 2) 传感器 (s) 坐标相对于飞行模拟器 (b) 体坐标的位置和方位 (P_s^b 和 C_s^b);
- 3) 飞行模拟器体坐标相对于球体 (e) 坐标的位置和方位 (P_b^e 和 C_b^e);
- 4) 惯性坐标中的地平面的 Z 区域 (Z_{Ground})。

传感器视场定义了从传感器坐标到沿着传感器转角指向单位矢量 n_{fi}^e 的变换矩阵 C_{fi}^s 。图 1 给出了

收稿日期: 2010-05-08; 修回日期: 2010-07-01

作者简介: 陈春 (1981-), 男, 安徽人, 博士研究生, 上尉, 从事作战模拟研究。

视场及其需要从传感器坐标到指定转角进行变换的相关转动角度。

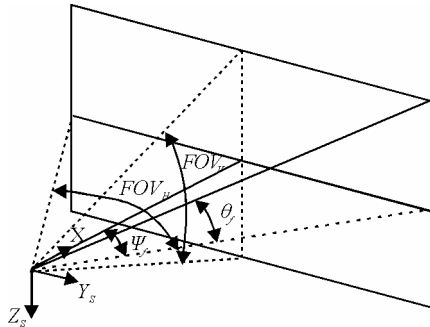


图 1 传感器坐标到指定转角进行变换的相关转动角度

式 (4) 中的偏航角 $\pm\psi_f$, 式 (5) 中的倾斜角 $\pm\theta_f$ 和 0 度滚动角给出了 4 个角度的变换矩阵。

$$\psi_f = \frac{FOV_H}{2} \quad (4)$$

$$\theta_f = \arctan\left(\tan\left(\frac{FOV_V}{2}\right)\cos\psi_f\right) \quad (5)$$

如图 1, 在传感器坐标系中, 在 XY 平面测量水平视场, 在 XZ 平面测量垂直视场。角度 ψ_f 和 θ_f 从传感器坐标转换成视场角。

图 2 通过与每个角度相对应的 4 个投影单位向量 n_{fi}^e 计算传感器覆盖区域、地球惯性坐标系、飞行模拟器体坐标系, 传感器坐标系分别用 e 、 b 、 s 表示。

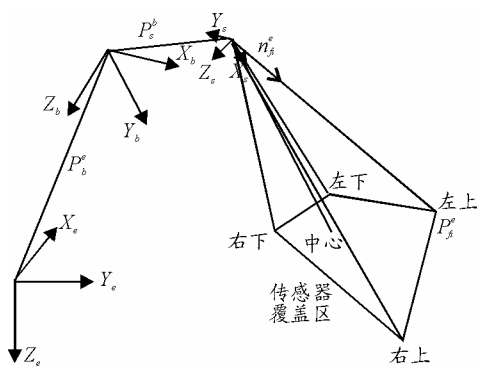


图 2 不同的坐标系和投影到地面的传感器覆盖区

不同的坐标系和投影到地面的传感器覆盖区如图 2, 通过上述转换后, 可根据式 (6) 计算单位向量的值, 所有单位向量的坐标原点就是式 (7) 中传感器的位置。

$$n_{fi}^e = C_e^b \times C_b^s \times C_{s_i}^f \times \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$P_s^e = P_b^e + C_e^b P_s^b \quad (7)$$

计算每个单位矢量与地面的交点, 求解线性参数方程 (9)、(10)、(11), 联立方程 (8) 可得到地面 XY 平面。

$$z = Z_{Ground} \quad (8)$$

$$x = x_0 + lt \quad (9)$$

$$y = y_0 + mt \quad (10)$$

$$z = z_0 + nt \quad (11)$$

$$P_s^e = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$n_{fi}^e = \begin{bmatrix} l \\ m \\ n \end{bmatrix} \quad (13)$$

可见, 该计算过程可以模拟所有类型的视觉传感器的矩形覆盖区, 包括在飞行模拟器上独立实现扫描、倾斜和变焦的传感器。

1.2 传感器性能指标

传感器覆盖区的计算确定了地面上传感器可以“看得见”的一块区域。这种计算不会给出此区域内每个点的传感器获取信息的质量指数, 容易在显示传感器覆盖区时产生误解。故需要在传感器覆盖区内引入一种特征项—像素密度, 作为传感器覆盖区像素覆盖率的性能指标。

为了在模拟器中显示覆盖区传感器属性的变化, 将传感器覆盖区分成像素数量相同的格子。呈现在地面的格子越大, 区域内的像素密度越小, 传感器获取的信息质量就不如像素密度高的区域。

格子的计算过程类似于前述过程。将视场有角度地分成 n 份, 每份包含相同数量的像素。在传感器覆盖区的四侧都要划分, 像前面一样进行单位矢量投影, 与地平面相交的部分就生成了如图 3 所示的格子。

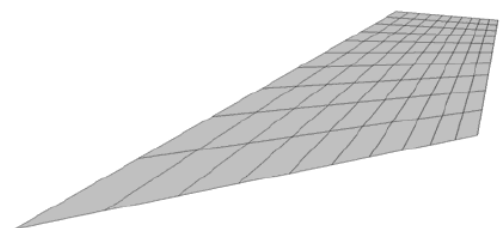


图 3 传感器地面覆盖区, 每个格子区域代表有相同数量的像素覆盖

(下转第 22 页)

优化设计提供依据。

3 结束语

建立航空相机成像仿真系统既有利于相机的优化设计、缩短研制周期，又可以降低研制成本，提高工作效率，具有重要的研究意义。实践表明，该仿真系统可以方便地对成像过程各个单元进行分析，对相机初始设计阶段的参数选择及综合性能评价有一定的参考意义。

参考文献：

[1] 陈世平. 空间相机设计与试验[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2003: 68-69.
 [2] JON C.LEACHTENAUER, RONALD G.DRIGGERS. 监

视与侦察成像系统[M]. 陈世平, 等 译. 北京: 中国科学技术出版社, 2007.
 [3] 陶家生. 基于模拟实验及计算机仿真的 CCD 航天相机影像分辨率的研究[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2003.
 [4] 徐中明. 光学遥感器的数字仿真研究[D]. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2002.
 [5] JEAN-LUC OLIVES, BRUNO LAMISCARRE, MARC GAZALET. Optimization of Electro-Optical Imaging System with an Image Quality Measure[J]. SPIE, 1997, 3025.
 [6] 陈晓丽, 冯勇, 龙夫年. TDI 线扫相机光学通道建模与仿真[J]. 光学技术, 2006, 32(5): 766-767.
 [7] 许永森, 丁亚林, 田海英, 等. 航空遥感器姿态像移仿真分析[J]. 激光与红外, 2007, 37(12): 1303-1304.
 [8] 黄秋, 陈亦庆, 高志峰, 等. 红外导引头成像系统无热化设计及试验验证[J]. 四川兵工学报, 2009(3): 78-80.

(上接第 7 页)

像素密度 (像素/m²) 作为覆盖区内传感器从每个具体的点返回质量的定量指标, 见方程式 (14), 区域内每一点 Q 的单向像素密度依赖于传感器的位置 P_s^e 和传感器的像素角度 γ。像素角度的计算见方程 (15), 像素角的计算依赖于传感器焦距 (δ, 通过像素测量), 像素角的变化依赖于图 4 所示的从坐标中心到 Q 点的偏移角度。角 α 是从传感器单位矢量到 Q 点和到地平面的法线形成的夹角, H 是传感器在地面以上的垂直高度。

$$\sigma = \frac{1}{H \sec^2(\alpha) \gamma} \tag{14}$$

$$\gamma = \frac{1}{\delta \sec^2 \beta} \tag{15}$$

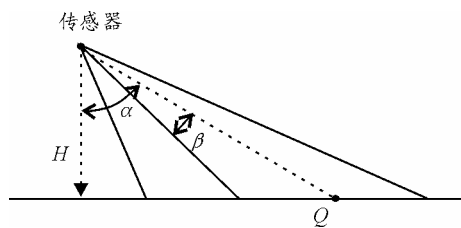


图 4 Q 点沿着传感器覆盖区一个方向计算像素密度所需的角

以上计算的是二维空间的像素密度, 在三维空间中, 可利用同样的方程计算每个点水平和垂直方向的像素密度, 并将两者相乘可得到像素密度的值。

计算格子中每个点的像素密度, 通过在覆盖区内划分最大像素密度, 可以获取相关的质量指标。相应的像素密度分布见图 5。在仿真中可以利用同样的过程来计算地面确切地貌区域的像素密度。

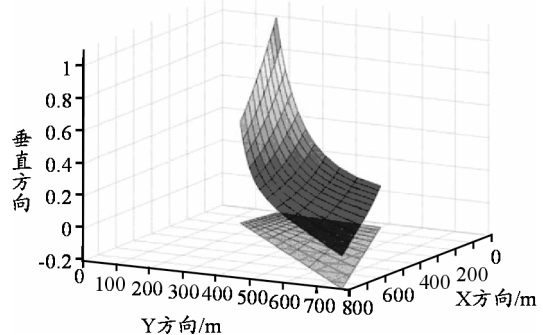


图 5 传感器覆盖区下每个点的相关像素密度

2 结论

该模型充分利用给定的传感器观察具体的区域或地貌, 有利于设计飞行模拟器的轨迹, 为通过调查、探测地貌并对其进行分类的方案设计轨迹类型提供了参考。但理想情况下地面是平坦的, 局限性很大且不真实, 将做进一步的研究。

参考文献：

[1] 张燕燕, 黄其涛, 等. 飞行模拟器视景系统的设计与实现[J]. 系统仿真学报, 2009(6): 3662-3667.
 [2] 谢广辉, 魏少宁. 飞行模拟器视景系统发展现状和趋势[J]. 航天医学与医学工程, 2003(6): 223-226.
 [3] 李京伟, 张利萍. 基于虚拟现实技术的飞行视景仿真[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(7): 1935-1937.
 [4] 吴晓君, 王昌金. 基于Creator/Vega的战场飞行视景系统的实时仿真[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(9): 2297-2300.
 [5] Nettleton, E., Ridley, M., Sukkarieh, S., Göktoğan, A.H., Durrant-Whyte, H.,(2004), Implementation of a Decentralised Sensing Network aboard Multiple UAVs”, Telecommunication Systems Special Issue: Wireless Sensor Networks, (26:2-4), 253-284.
 [6] 程明文, 刘勇志, 包小林. 基于FFOM的某型导弹模拟器设计方案评价模型[J]. 四川兵工学报, 2009(1): 88-90.