

文章编号: 1672-8785(2014)03-0017-06

红外场景实时生成驱动算法 及应用研究

王艳奎^{1,2} 郑 强^{1,2}

(1. 中国空空导弹研究院, 洛阳 471009;

2. 航空制导武器航空科技重点实验室, 洛阳 471009)

摘 要: 对红外成像半实物仿真系统中红外场景实时生成的驱动算法进行了研究。以红外场景实时生成在红外成像半实物仿真系统中的工程应用为背景, 设计了实时仿真过程中红外场景的初始战情场景映射算法、动态战情场景的实时映射算法及场景瞄准点的选择算法, 解决了红外场景实时生成在半实物仿真系统中的应用集成问题, 并通过多模式的动静态仿真和测试试验对算法进行了验证。

关键词: 场景映射; 瞄准点选择; 红外场景

中图分类号: TN216 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2014.03.004

Study of Driving Algorithm for Real-time Infrared Scene Generation

WANG Yan-kui^{1,2}, ZHENG Qiang^{1,2}

(1. China Air to Air Missile Academy, Luoyang 471009, China; 2. Aviation Key

Laboratory of Science and Technology on Airborne Guided Weapons, Luoyang 471009, China)

Abstract: The driving algorithm for generating infrared scenes in an infrared imaging hardware-in-the-loop simulation system in real time is studied. According to the engineering application of real-time infrared scene generation in the infrared imaging hardware-in-the-loop simulation system, the initial war situation scene mapping algorithm for infrared scenes, the real-time mapping algorithm for dynamic war situation scenes and the selection algorithm for scene aiming points in real-time simulation are designed. Several problems of the application of real-time infrared scene generation in the infrared imaging hardware-in-the-loop simulation system are solved. These algorithms are verified in multi-mode static and dynamic simulation and tests.

Key words: scene mapping; scene aiming point selection; infrared scene

0 引言

随着红外成像制导武器的发展, 人们对半实物仿真系统中红外场景模拟的逼真度、复杂度和实时性的需求越来越高^[1]。因此必须通过在线

红外场景实时生成技术弥补离线生成实时播放的不足, 实现复杂红外场景的实时生成^[3-5]。根据仿真需求完成场景的预先规划并根据弹道过程实现场景实时生成的驱动算法, 是红外场景实时生成技术在红外成像制导半实物仿真系

收稿日期: 2014-02-20

作者简介: 王艳奎(1981-), 男, 黑龙江佳木斯人, 工程师, 研究方向是系统建模与仿真技术。

E-mail: wyk3104@126.com

统中实现工程应用的关键^[4]。因此,必须设计与其相匹配的驱动算法,实现对想定战情的映射和实时战情的转换。本文对红外场景模拟器的实时生成驱动算法进行研究,重点解决红外场景模拟器在半实物仿真系统中实现红外场景实时生成驱动算法的设计和工程应用问题。

1 坐标系及基元转换矩阵的定义及应用

1.1 世界坐标系 $ox_wy_wz_w$

世界坐标系是场景实时生成过程中所有场景生成要素的公共参考基准。根据实时仿真过程对地形场景的应用需求,通过改变地形中心在世界坐标系中的坐标,可以实现弹道过程和地形尺寸的匹配。

1.2 虚拟发射惯性系 $ox_iy_iz_i$

虚拟发射惯性系是导弹实际发射惯性系在地形场景中的映射,其坐标原点的映射取决于依据实时仿真过程场景需求选择的导弹在地形场景中的攻击方向。通过改变导弹在地形场景中的初始坐标,可以将目标置于地形场景的不同区域,满足目标在场景中的航迹映射需求。其坐标轴的映射取决于攻击方向的选择和惯性系下的弹目视线角。

1.3 地形建模坐标系 $ox_my_mz_m$

地形中心坐标系是地形各要素设计的参考基准。根据地形中心坐标系中各要素的坐标,结合实时仿真需求,实现目标航迹在地形坐标系中的映射。

1.4 目标形体建模坐标系 $ox_cby_cz_c$

目标形体建模坐标系是目标形体 3D 建模的参考基准。根据目标形体坐标系中目标各要素的坐标,结合实时仿真需求可以实现瞄准点的选择。

1.5 目标体坐标系 $ox_csy_csz_c$

目标体坐标系是制导控制系统数字仿真中建立的坐标系。根据目标体坐标系和目标形体建模坐标系 3D 建模时的相对关系可以统一目标形体建模坐标系和数字仿真建模坐标系间的差异。

1.6 基元转换矩阵定义

为了坐标变换的方便,引入绕 x 、 y 、 z 轴的基元转换矩阵,变换矩阵中的 α 为旋转角。

$$M_x(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

$$M_y(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

$$M_z(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2 红外场景初始映射算法设计

2.1 目标初始点及攻击方向映射算法

目标初始点映射根据弹道过程对场景的需求并结合导弹实际发射条件确定初始时刻目标在地形坐标系中的位置。假设发射惯性系中目标的初始位置 rc_x0 、 rc_y0 、 rc_z0 , 则映射算法如下:

- (1) 根据仿真对目标所在场景的需求,人为选定目标在地形坐标系中的初始坐标 rmc_x0 、 rmc_z0 ;
- (2) 根据目标在地形坐标系中的 rmc_x0 、 rmc_z0 坐标,查找地形数据库,获得该点处的地形高度 Hc ;
- (3) 根据目标初始位置和地形高度,计算目标在地形坐标系中的 y 方向初始映射值:

$$rmc_y0 = rc_y0 + Hc$$

导弹攻击方向映射是根据弹道场景的想定所完成的一个映射。定义导弹在地形中对目标的映射攻击方向角为 $assault$, 即地形建模坐标系中导弹相对目标的矢量在地形建模坐标系中 ox_mz_m 平面上的投影与地形建模坐标系 ox_m 正向间的夹角,逆时针为正,范围为 $0 \sim 360^\circ$ 。根据仿真需要,可以人为直接想定攻击方向,也可以通过想定目标在地形中的初始姿态角间接完成

攻击方向的想定。间接想定时需要根据目标初始姿态角等信息解算出攻击方向。

2.2 虚拟发射惯性系的坐标原点映射算法

根据目标相对导弹的位置在发射惯性系中的坐标 $rorc_x0$ 、 $rorc_y0$ 、 $rorc_z0$, 可以计算出弹目距离在发射惯性系水平面上的投影距离:

$$rorc_x0 = rr_x0 - rc_x0$$

$$rorc_y0 = rr_y0 - rc_y0$$

$$rorc_z0 = rr_z0 - rc_z0$$

$$R = \sqrt{rorc_x0^2 + rorc_y0^2}$$

因此, 虚拟发射惯性系的原点位于以过目标映射点且垂直于地形建模坐标系 ox_mz_m 面的直线为中心、线半径为 R 的圆柱面与地形表面的交线上。然后, 计算虚拟发射惯性系的原点相对目标初始映射点的水平面相对坐标:

$$rorcmap_x0 = R \cos(assault)$$

$$rorcmap_z0 = -R \sin(assault)$$

其次, 计算虚拟发射惯性系的坐标原点在地形建模坐标系中的水平坐标:

$$rri_x0 = rmc_x0 + rorcmap_x0$$

$$rri_z0 = rmc_z0 + rorcmap_z0$$

最后, 计算虚拟发射惯性系的坐标原点在地形建模坐标系中的垂直坐标: 根据 rri_x0 、 rri_z0 查找地形数据库, 获得点 (rri_x0, rri_z0) 处的地形高度 Hi , 则虚拟发射惯性系坐标原点在地形建模坐标系中的垂直坐标为

$$rri_y0 = Hi$$

2.3 虚拟发射惯性系坐标轴映射

虚拟发射惯性系的 oy_i 轴平行于地形建模坐标系的 oy_m 轴。 ox_i 轴是沿目标映射点在地形建模坐标系水平面上的投影对虚拟发射惯性系的原点在地形建模坐标系水平面上投影的矢量绕 oy_i 轴旋转 $\text{atan}(\frac{rorc_z0}{rorc_x0})$ 角度后的方向。 oz_i 与

ox_i 和 oy_i 构成右手坐标系。因此, 可确定虚拟发射惯性系相对地形建模坐标系的变换矩阵 A , 算法如下:

(1) 将地形建模坐标系 ox_m 轴绕 oy_m 轴旋转 θ_1 角度后, 与目标映射点在地形建模坐标系水平面上的投影相对于虚拟发射惯性系原点在地形建模坐标系水平面上的投影矢量重合:

$$\theta_1 = \pi + assault$$

(2) 将地形建模坐标系 ox_m 轴绕 oy_m 轴旋转 θ_2 角度后即得到虚拟发射惯性系的 ox_i 轴:

$$\theta_2 = \text{atan}(\frac{rorc_z0}{rorc_x0})$$

(3) 计算地形建模坐标系到虚拟发射惯性系的变换矩阵 A :

$$A = M_y(\theta_1 + \theta_2)$$

2.4 瞄准点选择算法

假设需要的瞄准点在目标形体建模坐标系中的坐标为 $sight_bx$ 、 $sight_by$ 、 $sight_bz$:

(1) 目标瞄准点在目标形体建模坐标系中对应的矢量在世界坐标系中的初始投影为

$$\begin{bmatrix} sight_wx0 \\ sight_wy0 \\ sight_wz0 \end{bmatrix} = G_0 \begin{bmatrix} sight_bz \\ sight_bz \\ sight_bz \end{bmatrix}$$

$$G_0 = M_y(ψ_{icw_drive0})M_x(γ_{macw_drive0}) \cdot M_z(k_{thetacw_drive0})$$

(2) 目标瞄准点在目标形体建模坐标系中对应的矢量在世界坐标系中的实时投影为

$$\begin{bmatrix} sight_wx \\ sight_wy \\ sight_wz \end{bmatrix} = G_1 \begin{bmatrix} sight_bz \\ sight_bz \\ sight_bz \end{bmatrix}$$

$$G_1 = M_y(ψ_{icw_drive})M_z(k_{thetacw_drive}) \cdot M_x(γ_{macw_drive})$$

3 红外场景弹道的驱动算法设计

3.1 目标位置的驱动算法

(1) 目标初值位置的驱动算法

设地形建模坐标系的原点相对世界坐标系原点的偏移量为 $mapx$ 、 $mapy$ 、 $mapz$ ，则目标初始位置在世界坐标系中的坐标为

$$\begin{bmatrix} rcw_drive x0 \\ rcw_drive y0 \\ rcw_drive z0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} rmc_x0 \\ rmc_y0 \\ rmc_z0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} mapx \\ mapy \\ mapz \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} sight_wx0 \\ sight_wy0 \\ sight_wz0 \end{bmatrix}$$

(2) 目标实时位置驱动算法

假设发射惯性系中目标实时位置为 rc_x 、 rc_y 、 rc_z ，则目标在世界坐标系中的坐标为

$$\begin{bmatrix} rcw_drive x \\ rcw_drive y \\ rcw_drive z \end{bmatrix} = A^{-1} \begin{bmatrix} rc_x \\ rc_y \\ rc_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} rri_x0 \\ rri_y0 \\ rri_z0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} mapx \\ mapy \\ mapz \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} sight_wx \\ sight_wy \\ sight_wz \end{bmatrix}$$

式中， A 是地形建模坐标系到虚拟发射惯性系的变换矩阵。

3.2 导弹位置驱动算法

(1) 导弹初始位置驱动算法

根据目标相对导弹的位置在发射惯性系中的初值坐标 $rorc_x0$ 、 $rorc_y0$ 、 $rorc_z0$ ，可得导弹初始位置在世界坐标系中的坐标：

$$\begin{bmatrix} rrw_drive x0 \\ rcw_drive y0 \\ rcw_drive z0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} rcw_drive x0 \\ rcw_drive y0 \\ rcw_drive z0 \end{bmatrix} - A^{-1} \begin{bmatrix} rorc_x0 \\ rorc_y0 \\ rorc_z0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} mapx \\ mapy \\ mapz \end{bmatrix}$$

(2) 导弹实时位置驱动算法

根据目标相对导弹的位置在发射惯性系中的实时坐标 $rorc_x$ 、 $rorc_y$ 、 $rorc_z$ ，可得导弹实时位置在世界坐标系中的坐标：

$$\begin{bmatrix} rrw_drive x \\ rcw_drive y \\ rcw_drive z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} rcw_drive x \\ rcw_drive y \\ rcw_drive z \end{bmatrix} - A^{-1} \begin{bmatrix} rorc_x \\ rorc_y \\ rorc_z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} mapx \\ mapy \\ mapz \end{bmatrix}$$

4 红外场景姿态驱动算法设计

考虑到目标形体 3D 建模坐标系可能与制导控制系统数字仿真目标建模坐标系不一致，如果不在目标形体 3Dk 建模时对形体建模坐标系进行约束，那么在目标形体姿态驱动算法设计中必须考虑如何解决因为二者不一致所带来的问题，使目标红外场景满足仿真弹道需要。

当完成目标形体的 3D 建模后，目标形体建模坐标系就确定了；在完成制导控制系统数字仿真目标建模后，目标体坐标系也可确定了。因此，可通过旋转目标形体使目标体坐标系与旋转前目标形体建模坐标系重合，从而确定附加目标姿态角驱动。假设附加目标姿态角驱动为 $phic_ad$ 、 $thetac_ad$ 、 $gamac_ad$ ，具体算法如下：

(1) 沿目标形体建模坐标系偏航方向转动，使目标体坐标系的一个轴与初始目标形体坐标系重合；

(2) 沿旋转后得到的目标形体建模坐标系的俯仰或横滚方向转动一个角度，使目标体坐标系与目标形体建模坐标系重合。

4.1 目标形体姿态初值驱动算法

假设目标相对惯性系的初始姿态角为 $psic0$ 、 $kthetac0$ 、 $gamac0$ ，则目标体坐标系相对虚拟发射惯性系的变换矩阵 B 为

$$B = M_x(gamac0)M_z(kthetac0)M_y(psic0)$$

根据附加目标姿态角驱动 $psic_ad$ 、 $kthetac_ad$ 、 $gamac_ad$ 计算姿态矩阵 C ，则：

$$C = M_x(gamac_ad)M_z(kthetac_ad)M_y(psic_ad)$$

考虑到地形建模坐标系和世界坐标系坐标轴平行, 综上可得目标体坐标系相对世界坐标系的变换矩阵 D :

$$D = BA$$

考虑附加目标姿态角矩阵和目标体坐标系相对世界坐标系的变换矩阵, 可计算出目标形体姿

态驱动矩阵 E :

$$E = DC$$

令 $F = DC$, 得:

$$E = F$$

假设目标形体姿态驱动初值为 φ_0 、 ϑ_0 、 γ_0 , 将上式展开可得:

$$\begin{bmatrix} \cos \vartheta_0 \cos \varphi_0 & \sin \vartheta_0 & -\cos \vartheta_0 \sin \varphi_0 \\ -\sin \vartheta_0 \cos \varphi_0 \cos \gamma_0 + \sin \varphi_0 \sin \gamma_0 & \cos \vartheta_0 \cos \gamma_0 & \sin \vartheta_0 \sin \varphi_0 \cos \gamma_0 + \cos \varphi_0 \sin \gamma_0 \\ \sin \vartheta_0 \cos \varphi_0 \sin \gamma_0 + \sin \varphi_0 \cos \gamma_0 & -\cos \vartheta_0 \sin \gamma_0 & -\sin \vartheta_0 \sin \varphi_0 \sin \gamma_0 + \cos \varphi_0 \cos \gamma_0 \end{bmatrix} = \cdots$$

$$\cdots \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} & F_{13} \\ F_{21} & F_{22} & F_{23} \\ F_{31} & F_{32} & F_{33} \end{bmatrix}$$

设目标形体姿态角范围为

$$\begin{cases} -180^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \\ -90^\circ \leq \vartheta \leq 90^\circ \\ -180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ \end{cases}$$

因此, 可以根据展开式及目标形体姿态角驱动范围约束条件, 通过反三角运算完成目标形体姿态初值计算^[2]。目标形体姿态初值驱动为

$$\begin{bmatrix} psicw_drive0 \\ kthetacw_drive0 \\ gamacw_drive0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varphi_0 \\ \vartheta_0 \\ \gamma_0 \end{bmatrix}$$

4.2 目标形体姿态实时驱动算法

假设目标相对惯性系的实时姿态角为 $psic$ 、 $kthetac$ 、 $gamac$, 则目标体坐标系相对虚拟发射惯性系的变换矩阵 G 为

$$G = M_x(gamac)M_z(kthetac)M_y(psic)$$

则

$$D = GA$$

考虑附加目标姿态角矩阵和目标体坐标系相对世界坐标系的变换矩阵, 可计算出目标形体姿态驱动矩阵 E :

$$E = DC$$

因此, 可以根据上式及目标形体姿态角驱动范围约束条件, 通过反三角运算完成目标形体姿态实时计算^[2]。目标形体姿态实时驱动为

$$\begin{bmatrix} psicw_drive \\ kthetacw_drive \\ gamacw_drive \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varphi \\ \vartheta \\ \gamma \end{bmatrix}$$

5 仿真实验

根据红外成像制导控制半实物仿真系统的工作时序, 进行场景实时生成条件下算法验证仿真时序的设计, 具体如下:

(1) 由银河仿真机发送用于在完成仿真过程中对红外场景模拟器进行控制的控制字, 包括初始化控制字、仿真开始控制字和仿真结束控制字;

(2) 根据红外场景模拟器返回的状态字判断场景模拟器的当前状态, 以便完成仿真时序的控制, 包括初始化完成状态、正常运行状态、故障状态和停止运行状态字;

(3) 利用初始化参数用于完成场景模拟器初始场景的加载, 参数包括仿真步长、干扰投放时刻、目标个数、导弹初始位置、导弹初始姿态、

目标初始位置、目标初始姿态、地形中心偏移量和瞄准点偏移量；

(4) 通过实时仿真参数完成场景模拟器实时场景的驱动，参数包括仿真时钟、导弹实时位置、导弹实时姿态、目标实时位置、目标实时姿态。

红外场景实时生成的应用验证仿真控制流程如图 1 所示。

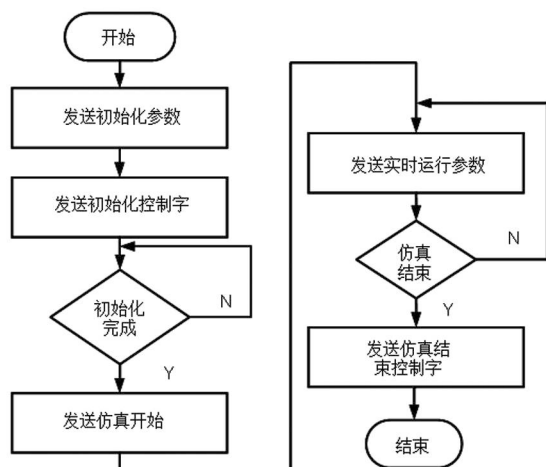


图 1 仿真应用验证流程图

根据仿真应用验证流程，在银河仿真工作站开发了算法静态测试和动态仿真验证程序，对算法的有效性进行了试验验证。

6 结论

(1) 本文的算法从红外场景模拟的工程应用角度出发，全面考虑了实际应用过程中场景模拟的算法设计问题，适应性广。

(2) 目前该算法在红外成像空地制导武器半实物仿真系统中已得到了成功应用。通过多模式动静态性能仿真和测试验证试验，证明该方法能够有效解决实时仿真和动态测试过程中红外场景的实时生成过程与半实物仿真系统的集成应用问题、初始战情场景映射问题、动态战情场景的实时驱动问题及场景瞄准点的选择问题，对工程上解决战情场景的实时仿真问题具有参考意义。

参考文献

- [1] 方辉煜. 防空导弹武器系统仿真[M]. 北京: 中国宇航出版社, 1995.
- [2] 钱杏芳, 林瑞雄, 赵亚男. 导弹飞行力学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.
- [3] 张凯. 实时红外目标背景图像合成技术研究[D]. 西安: 西北工业大学学位论文, 2004.
- [4] 王明明, 郝颖明, 朱枫, 等. 空中目标红外辐射特性计算与实时仿真[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(8): 1979-1984.
- [5] 陈铮, 沙江, 童一峻, 等. 基于 DSP 阵列的海面目标红外图像实时仿真系统研究[J]. 光学与光电技术, 2012, 10(5): 54-57.

(上接第 16 页)

5 结束语

分析和仿真结果表明，在窑筒体中利用红外技术进行监察时，为了更好地获取红外数据，必须使红外镜头工作在最佳环境温度下。采用直降法与模糊 PID 控制相结合的思想，可以很好地对其进行精确制冷。

参考文献

- [1] 王琦. (研制恒温控制器) 新型 PID 恒温控制器的研制[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
- [2] 刘金琨. 先进 PID 控制 Matlab 仿真. 第 3 版[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [3] 覃强. 模糊 PID 温度控制方案的仿真优选及其实现[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2002.
- [4] 韩大平. 模糊 PID 控制算法在回转窑温度控制中的应用研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2005.