



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103186906 A

(43) 申请公布日 2013. 07. 03

(21) 申请号 201110447686. 5

(22) 申请日 2011. 12. 28

(71) 申请人 中国科学院沈阳自动化研究所
地址 110016 辽宁省沈阳市东陵区南塔街
114 号

(72) 发明人 郝颖明 付双飞 朱枫 石坤
王明明

(74) 专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限
公司 21002
代理人 周秀梅 许宗富

(51) Int. Cl.
G06T 11/00(2006. 01)

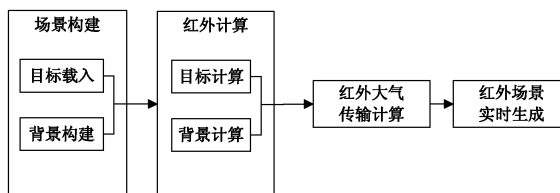
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种海天背景下多类目标的红外动态场景实时仿真方法

(57) 摘要

本发明涉及计算机红外成像仿真领域, 尤其涉及海天背景下多类目标的红外动态场景实时仿真方法。本发明包括红外建模、场景构建、红外计算、红外大气传输、红外场景实时生成, 最后渲染生成红外场景实时仿真图像。本发明较一般红外场景仿真的优点是: 仿真场景内容丰富, 能在同一场景中包含海面、天空、舰船及多种型号的飞机; 在复杂场景情况下依然能满足实时要求, 不仅根据当前数据实时构建动态场景, 而且实时模拟生成红外场景图像。



1. 一种海天背景下多类目标的红外动态场景实时仿真方法,其特征在于,包括以下步骤:

红外建模:建立海天背景、空中目标和舰船目标的几何模型和红外辐射模型;

场景构建:根据上述模型构建包含指定类型和数目几何模型的场景;

红外计算:根据红外辐射模型计算场景的红外辐射;

红外大气传输:将指数雾化模型和大气消光系数相结合,模拟红外大气传输效果;

红外场景实时生成:将红外辐射值转化成灰度值,映射到场景中的几何模型上;根据所需实时数据计算并设置视点方位、目标方位和背景位置;基于视点方位,渲染生成红外场景实时仿真图像。

2. 根据权利要求1所述的一种海天背景下多类目标的红外动态场景实时仿真方法,其特征在于,所述海天背景包括天空穹顶、云、动态波浪海面。

3. 根据权利要求2所述的一种海天背景下多类目标的红外动态场景实时仿真方法,其特征在于,所述海天背景中云反射太阳辐射的反射因子为

$$f_r = 0.5 * (1 + \cos \theta) \quad (1)$$

其中 θ 为太阳直射方向与云方向夹角。

4. 根据权利要求1所述的一种海天背景下多类目标的红外动态场景实时仿真方法,其特征在于,所述空中目标的几何模型具有特定的层次结构,具体为:

目标根节点下一层为部件组节点,包括:发动机、尾喷管、尾焰、蒙皮、机头、机身、水平机翼、尾翼,组节点由更小的组节点或面元构成,按规则为模型根节点和部件组节点命名。

5. 根据权利要求1所述的一种海天背景下多类目标的红外动态场景实时仿真方法,其特征在于,所述舰船目标的几何模型具有特定的层次组织结构,具体为:

舰船组织结构分为三层:根节点、组节点和面元;将舰船的各部件定义成组节点,组节点由面元构成,面元数目尽可能少,同时,每个面元为三角面元或四边形面元;面元为舰船几何模型的基本组成单元,由面元组成各个部件,由部件构成根节点,即舰船几何模型。

6. 根据权利要求1所述的一种海天背景下多类目标的红外动态场景实时仿真方法,其特征在于,所述场景构建中海面背景的构建采用离线技术,具体为:

按指定的帧速生成 T 时间内需要渲染的所有海面波浪高度场数据并保存离线数据;所述离线数据中一帧数据定义为海面组件,多个海面组件相接平铺构成大面积海面;海面组件网格的点数为 2 的 n 次幂;在线渲染时,以 T 为周期循环渲染保存的海面组件。

7. 根据权利要求1所述的一种海天背景下多类目标的红外动态场景实时仿真方法,其特征在于,所述红外计算中使用 GPU 进行海面背景的红外辐射计算。

8. 根据权利要求1所述的一种海天背景下多类目标的红外动态场景实时仿真方法,其特征在于,所述红外大气传输中指数雾化模型和大气消光系数相结合的方法为:为场景设置指数雾化模型,设置雾的浓度为大气消光系数,设置雾的颜色为红外背景的颜色。

9. 根据权利要求1所述的一种海天背景下多类目标的红外动态场景实时仿真方法,其特征在于,所述红外场景实时生成中海面背景场景的生成采用基于视点渲染技术,具体为:

首先,根据视点位置、视线方向和观测视场角等参数确定可视空间区域;然后,标记可视空间与海平面相交边界构成的四边形平面,四边形内部区域为要渲染海面场景的区域;

最后,在确定的四边形区域内部平铺海面组件;当视点位置改变后,重复上述步骤,重新绘制可见区域的海面场景。

10. 根据权利要求 1 所述的一种海天背景下多类目标的红外动态场景实时仿真方法,其特征在于,所述红外场景实时生成中空中目标红外模型的生成以节点为单位映射红外纹理,具体为:

根据量化得到的灰度信息生成空中目标各部件的红外纹理图像,将红外纹理图像贴到几何模型相应的部件节点上;

所述红外场景实时生成中舰船目标红外模型的生成采用 Shadow Map 实时阴影技术进行舰船接收太阳直射辐射的遮挡计算。

一种海天背景下多类目标的红外动态场景实时仿真方法

技术领域

[0001] 本发明涉及计算机红外成像仿真领域,尤其涉及海天背景下多类目标的红外动态场景实时仿真方法。

背景技术

[0002] 红外动态场景的计算机实时仿真涉及计算机红外成像仿真领域,是场景仿真技术的重要组成部分,它利用计算机来模拟红外成像系统,仿真动态红外场景,并实时生成红外传感器所能观察到的红外场景图像,对成像系统评估、算法改进、人员训练等具有重要的应用价值。

[0003] 自 70 年代末、80 年代初,各发达国家就对其进行了大量的科研投入,并由此取得了卓有成效的研究进展。典型的仿真软件产品有:仿真舰船红外图像的 OSMOSIS、美国 DVP 公司用于相机成像和视频模拟的红外成像仿真器 IRISM、美国技术服务公司(TSC)的红外特征建模工具 IRGen、实时红外传感器仿真的应用程序接口 RealIR 和高保真物理热红外多光谱/高光谱传感器仿真器 IRHSS、MetaVR 公司实时红外场景仿真的 MetaVR IRserver 软件、英国 Equipe Electronics 公司包含雷达和红外传感器仿真的实时可视化仿真软件 Blue Sky/Blue Sky II、美国 CACI MTL Systems 公司的嵌入式动态红外仿真软件 EZ*IR 等。但由于红外成像仿真的军事敏感性,国外对此类技术和软件的采用高度封锁策略,或价格非常昂贵,或无法获取。

[0004] 国内在该方面起步较晚,但经过近二十年的发展,在背景和目标红外仿真理论和研究方法方面取得了很大的进步,并针对特定用途开发出了具有一定实用价值的仿真软件。船舶系统工程部和上海交通大学的徐杲、任海刚和黄雅琳等人提出了面向舰船实时红外仿真的快速算法,并针对舰船红外抑制和红外对抗研究需求开发了一套具有自主知识产权的舰船红外仿真系统 RIS(Real-time Infrared Simulator)。RIS 综合考虑了海天背景、大气传输等环境因素对舰船红外热像模拟和红外识别的影响,可以达到实时精度,但该系统更多地关注于舰船红外特性的模拟,对于海天背景模型进行了一定的简化。中科院大气研究所和安徽光机所等单位在大气模型研究方面比较突出。前者主要是在 LOWTRAN7 基础上进行了一些理论和实验研究,并开展 LOWTRAN7 汉化推广工作。后者利用卫星遥感数据,采用“离散坐标法”确定特定区域、特定时刻实际环境气象参数,对有关目标理论建模合成研究颇有实用价值。同时,航天二院 207 所、西安电子科技大学对地面背景和海天背景红外辐射进行了理论和实验研究,建立了初步理论模型,其中海面背景建模的局限性比较大。专利《一种海洋背景下的红外仿真图像平台及其图像生成方法》描述了一种海洋背景红外图像生成方法,构建了红外仿真平台,并可利用该平台进行相关实验研究,该方法中涉及到的海洋背景红外数据均来自于实地采集图像,具有一定局限性。

[0005] 当前红外场景计算机仿真中,多基于 OpenGL 或 Direct3D 等基本 API 进行场景构建和渲染,这对编写代码带来一定的挑战,随着开源技术的发展,当前已经出现了多款较为成熟的开源三维渲染引擎,如 OSG(基于 OpenGL)和 OGRE(基于 OpenGL 和 Direct3D),这些

引擎封装了底层 API 函数接口,为使用提供友好的接口,支持多种格式模型读入,同时包含有高级计算机图形学技术。基于这些引擎进行红外场景仿真研究,可以使我们更关注于红外仿真理论和技术的研究。

[0006] 总之,国外在红外建模和仿真领域的研究较为系统化,并对红外场景仿真所涉及的关键技术进行了深入研究,能够实现高精度、多波段、多样化环境的红外场景仿真系统,但由于保密或购买昂贵的原因不容易得到。而国内的研究多数只对特定类型背景或目标进行单独研究,虽然也有同时包括了目标和背景的综合系统,但目标和背景的类型还不够丰富、整体仿真效果也不够理想,缺乏自主开发的具有丰富目标和背景类型的通用红外场景仿真系统。

发明内容

[0007] 针对现有技术中存在的问题,为解决同一红外场景中背景和目標类型单调、整体仿真成像效果不够理想的问题,本发明利用现有的计算机硬件条件和软件技术,融合海天背景和多类目标的红外仿真,提出一种海天背景下多类目标的红外动态场景实时仿真方法。

[0008] 本发明为实现上述目的所采用的技术方案是:一种海天背景下多类目标的红外动态场景实时仿真方法,包括以下步骤:

[0009] 红外建模:建立海天背景、空中目标和舰船目标的几何模型和红外辐射模型;

[0010] 场景构建:根据上述模型构建包含指定类型和数目几何模型的场景;

[0011] 红外计算:根据红外辐射模型计算场景中的红外辐射;

[0012] 红外大气传输:将指数雾化模型和大气消光系数相结合,模拟红外大气传输效果;

[0013] 红外场景实时生成:将红外辐射值转化成灰度值,映射到场景中的几何模型上;根据所需实时数据计算并设置视点方位、目标方位和背景位置;基于视点方位,渲染生成红外场景实时仿真图像。

[0014] 所述海天背景包括天空穹顶、云、动态波浪海面。

[0015] 所述海天背景中云反射太阳辐射的反射因子为

$$[0016] \quad f_r = 0.5 * (1 + \cos \theta) \quad (1)$$

[0017] 其中 θ 为太阳直射方向与云方向夹角。

[0018] 所述空中目标的几何模型具有特定的层次结构,具体为:

[0019] 目标根节点下一层为部件组节点,包括:发动机、尾喷管、尾焰、蒙皮、机头、机身、水平机翼、尾翼,组节点由更小的组节点或面元构成,按规则为模型根节点和部件组节点命名。

[0020] 所述舰船目标的几何模型具有特定的层次组织结构,具体为:

[0021] 舰船组织结构分为三层:根节点、组节点和面元;将舰船的各部件定义成组节点,组节点由面元构成,面元数目尽可能少,同时,每个面元为三角面元或四边形面元;面元为舰船几何模型的基本组成单元,由面元组成各个部件,由部件构成根节点,即舰船几何模型。

[0022] 所述场景构建中海面背景的构建采用离线技术,具体为:

[0023] 按指定的帧速生成 T 时间内需要渲染的所有海面波浪高度场数据并保存离线数据 ; 所述离线数据中一帧数据定义为海面组件, 多个海面组件相接平铺构成大面积海面 ; 海面组件网格的点数为 2 的 n 次幂 ; 在线渲染时, 以 T 为周期循环渲染保存的海面组件。

[0024] 所述红外计算中使用 GPU 进行海面背景的红外辐射计算。

[0025] 所述红外大气传输中指数雾化模型和大气消光系数相结合的方法为 : 为场景设置指数雾化模型, 设置雾的浓度为大气消光系数, 设置雾的颜色为红外背景的颜色。

[0026] 所述红外场景实时生成中海面背景场景的生成采用基于视点渲染技术, 具体为 :

[0027] 首先, 根据视点位置、视线方向和观测视场角等参数确定可视空间区域 ; 然后, 标记可视空间与海平面相交边界构成的四边形平面, 四边形内部区域为要渲染海面场景的区域 ; 最后, 在确定的四边形区域内部平铺海面组件 ; 当视点位置改变后, 重复上述步骤, 重新绘制可见区域的海面场景。

[0028] 所述红外场景实时生成中空中目标红外模型的生成以节点为单位映射红外纹理, 具体为 :

[0029] 根据量化得到的灰度信息生成空中目标各部件的红外纹理图像, 将红外纹理图像贴到几何模型相应的部件节点上 ;

[0030] 所述红外场景实时生成中舰船目标红外模型的生成采用 Shadow Map 实时阴影技术进行舰船接收太阳直射辐射的遮挡计算。

[0031] 本发明较一般红外场景仿真的优点是 : 仿真场景内容丰富, 能在同一场景中包含海面、天空、舰船及多种型号的飞机 ; 在复杂场景情况下依然能满足实时要求, 不仅根据当前数据实时构建动态场景, 而且实时模拟生成红外场景图像。

附图说明

[0032] 图 1A 为云层对太阳直射辐射反射简化处理中天空区域划分示意图 ;

[0033] 图 1B 为反射因子与 θ 关系示意图 ;

[0034] 图 2 为空客 A320 几何模型层次结构图 ;

[0035] 图 3 为某型号舰船几何模型层次结构图 ;

[0036] 图 4 为红外场景实时模拟框图 ;

[0037] 图 5 为多个海面组件构成大面积海面示意图 ;

[0038] 图 6 为基于视点渲染技术示意图 ;

[0039] 图 7 为根据灰度值生成的灰度图像序列示意图 ;

[0040] 图 8 为以节点为单位的红外纹理映射示意图 ;

[0041] 图 9 为本发明的具体实施方案流程图。

具体实施方式

[0042] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0043] 1. 海天背景下多类目标红外动态场景的红外建模

[0044] 海天背景红外建模 : 几何模型构建方面采用半球体模拟天空穹顶, 采用 Diamond-Square 算法生成二维云纹理模拟云体形态 ; 采用 Gerstner-Wave 海面波浪模拟算法构建海面波浪模型, 这里使用 2D FFT 技术快速计算海面几何模型数据, 引入 Geomipmap

技术优化组织海面几何模型数据；红外辐射计算方面采用 Brunt 提出的经验公式和云体灰体模型计算天空红外辐射，设计太阳辐射反射因子计算云体反射太阳辐射；采用 Wilson 公式和灰体模型计算海水自身辐射，采用近似模型计算天空和海面反射环境辐射。

[0045] 设计太阳辐射反射因子计算云体反射太阳辐射，该因子用公式表述如下：

$$[0046] \quad f_r = 0.5 * (1 + \cos \theta) \quad (1)$$

[0047] 具体如图 1 所示。图 1A 是按是否反射太阳辐射将天空进行区域划分，分为：反射区、部分反射区和不反射区；其中 θ 为太阳直射方向与云方向夹角，这里的方向定义为太阳（云）与天空球中心连线的方向。图 1B 是反射因子 f_r 随 θ 变化曲线图，曲线表明：当 θ 角绝对值较小时， f_r 的取值也小（接近 0），此时对应不反射区；当 θ 角绝对值较大时， f_r 的取值也大（接近 1），此时对应部分反射区和反射区。云体是否反射太阳辐射及反射太阳辐射量的大小，很大程度上由云和太阳之间的位置关系决定，太阳辐射反射因子可以很好地反映这种关系。设计太阳辐射反射因子，可以大大减小天空红外辐射计算量。

[0048] 空中目标红外建模：几何模型构建方面建立包含指定组节点的多种型号空中目标几何模型，并转成指定格式的模型文件，采用粒子系统构建空中目标尾焰 3D 几何模型；红外辐射计算方面考虑海平面温度随季节而变化、空中声速随大气温度而变化，采用改进的公式计算高空大气温度，并引入速度转换公式计算飞行马赫数，得出精确的蒙皮驻点温度，最后，按灰体辐射理论计算飞机各部件的红外辐射。

[0049] 为便于红外实时计算和渲染，几何建模时必须将飞机发动机、尾喷管、尾焰、蒙皮、机头、机身、水平机翼、尾翼等不同部件分别构建成单独的组节点，并按一定规则为模型根节点和各部件节点命名。如：根节点命名为所建飞机的型号；左右机翼分别命名为“wingl”、“wingr”；发动机若包含左、右 2 个则将其分别命名为“engine1”、“engine2”，相应的尾喷管命名为“spout1”、“spout2”，若仅 1 个则将其命名为“engine”，尾喷管命名为“spout”；水平尾翼若包含左、右 2 片则将其分别命名为“tailhl”、“tailhr”，若只 1 片则命名为“tailh”；垂直尾翼若包含左、右 2 片则将其分别命名为“tailvl”、“tailvr”，若仅 1 片则命名为“tailv”；机头命名为“bodya”；机身从前往后依次为“bodyb”、“bodyc”、“bodyd”；若不包含上述某部件，则不建立该部件节点。空客 A320 的几何模型层次结构如图 2 所示。

[0050] 舰船目标红外建模：几何模型构建方面采用简化和近似策略建立包含体现舰船红外形态特征的主要部分的几何模型，保存为数据文件，几何模型具有特定树形组织结构；红外辐射建模方面采用基于“贡献因子”的红外辐射方法计算舰船的辐射因子并保存为离线数据，基于贡献因子数据进行红外辐射计算，采用近似模型计算反射环境红外辐射。

[0051] 本技术方案中某型号舰船几何模型层次结构如图 3 所示。经过近似和简化后，将舰船的各部件定义成组节点（以字母 g 开头的节点），组节点由面元构成，面元数目应尽可能的少，同时，每个面元须保证为三角面元或四边形面元。面元为舰船几何模型的基本组成单元，由面元组成各个部件，由部件构成舰船几何模型。

[0052] 2. 海天背景下多类目标红外动态场景的实时模拟

[0053] 海天背景下多类目标红外动态场景的实时模拟，不仅包括海面背景、天空背景，还可以同时包括多个同类或不同类目标的任意组合，在保证复杂场景整体红外仿真效果的前提下，采用多种优化技术实时模拟红外动态场景、生成红外图像。红外场景实时模拟的框图如图 4 所示。

[0054] 场景构建:场景构建包括载入指定类型和数目的目标几何模型,和构建海天背景几何模型。采用离线数据技术构建海面背景几何模型,即在实时渲染之前预生成海面几何模型数据,减少实时阶段计算量。离线数据技术描述如下:首先,确定海面波浪最大时间周期 T ,按一定的帧速生成 T 时间内需要渲染的所有海面波浪高度场数据并保存离线数据,在线渲染时,以 T 为周期循环渲染保存的高度场数据。其次,确定海面组件网格大小,海面组件是构成海面的基本单元,多个海面组件相接排列构成大面积海面,如图 5 所示。海面组件网格的长度或宽度(网格点数)一般为 2 的 n 次幂。结合海面波浪最大时间周期 T ,确定所要计算生成的海面组件总数。

[0055] 红外计算:根据实时数据,计算目标和背景的红外辐射。海面背景的红外辐射计算量在总计算量中所占比重较大,使用传统的 CPU 计算难以达到实时性要求,这里使用 GPU 进行海面背景的红外辐射计算,采用基于 OpenGL 的 GLSL 着色语言编写海面背景红外辐射计算代码,利用 GPU 的高速并行计算特性,快速计算海面背景红外辐射,使得红外场景仿真达到实时性要求。

[0056] 红外大气传输:采用指数雾化模型与大气消光系数结合的方法,模拟红外大气传输效果。首先,为场景添加雾化效果,分布模式设为指数雾化分布;然后,根据即时环境数据,按照现有的红外大气传输模型,实时计算大气平均透过率,再按式(2)算出大气消光系数,设置雾的浓度为大气消光系数,设置雾的颜色为红外背景的颜色。

$$[0057] \quad \gamma(\lambda) = -\frac{\ln(\bar{\tau}_a(\lambda))}{R} \quad (2)$$

[0058] 式中, $\gamma(\lambda)$ 为大气消光系数, $\bar{\tau}_a(\lambda)$ 为大气平均透过率, R 为辐射传输距离。

[0059] 红外场景实时生成:红外场景实时生成包括:首先,将红外计算结果按线性规则转化成灰度值,映射到目标和背景几何模型上;然后,根据实时数据计算并设置视点方位、目标方位和背景位置;最后,基于视点位置,渲染生成红外场景仿真图像。

[0060] 采用基于视点渲染技术渲染生成海面背景场景,可以实时决定渲染的海面几何模型的面积,而非采用固定的海面面积,大大减少实时渲染海面数据量。基于视点渲染技术描述如下:首先,根据视点位置、视线方向和观测视场角等参数确定可视空间区域;然后,标记可视空间与海平面相交边界构成的四边形平面,四边形内部区域为可见区域,也是要渲染海面场景的区域;最后,根据确定的四边形区域,在其内部平铺海面组件,平铺效果如图 6 所示。当视点位置改变后,重复上述步骤,重新绘制可见区域的海面场景。

[0061] 采用以节点为单位映射红外纹理的方法生成空中目标红外模型。首先,根据即时的空中目标信息,按照空中目标红外辐射建模部分所述的红外辐射建模方法,计算每个空中目标各部位的红外辐射亮度,按线性量化准则把辐射亮度量化成灰度值;其次,根据得出的灰度值生成一系列的灰度图像,如图 7 所示;然后,以空中目标红外辐射建模部分所建空中目标几何模型中的各个部位的组节点为单位,把红外图像贴到相应的组节点外表,就得到红外的三维目标,如图 8 所示。

[0062] 采用 Shadow Map 实时阴影技术进行舰船接收太阳直射辐射的遮挡计算,模拟阴影效果。Shadow Map 实时阴影技术可以快速计算出舰船接收太阳直射辐射的遮挡情况,只有未遮挡区域的舰船表面红外辐射才加入太阳直射辐射分量,亮度也高,而遮挡区域的亮度低,从而模拟舰船表面的阴影效果。

[0063] 3. 本实施方式实现程序基于 OSG 三维渲染引擎,使用 VC++2005 编写,实验平台是联想台式机,Intel Core2 Duo CPU E7500 2.93GHz,2.00GB,ATI Radeon HD 4600 Series。

[0064] 使用建模工具 Multigen-Creator 建立各型号飞机和舰船的几何模型,几何模型的组织结构需要符合图 2 和图 3 所示指定要求,保存模型为 flt 格式;为提高红外仿真时模型加载速度,使用 OSG 编写格式转换程序将 flt 格式的模型转换成 ive 格式,保存为模型文件。

[0065] 软件初始化,配置传感器基本信息(分辨率、波段、视场角、初始位姿等)和环境基本信息(大气湿度、能见度、大气温度、海水温度、近地面风速、场景中心经纬度等),将目标几何模型从指定路径读入内存,并生成天空几何模型,构建初始化数据树,作为实时渲染阶段构建场景树的模型数据来源。创建场景树根节点,并按具体实施方式步骤 2 所述的红外大气传输实时模拟方法,为其添加雾化效果。

[0066] 采用树状结构构建场景树,从数据树中读取天空几何模型,添加到场景树中,按具体实施方式步骤 1 所述的海面几何模型构建方法,生成海面离线数据,按具体实施方式步骤 2 所述,基于离线数据和视点渲染技术生成特定面积和位置的海面几何模型,并添加到场景树中。

[0067] 根据动态的目标基本信息,从数据树中读取相应型号的目标几何模型添加到场景树中,设同种型号的目标数目为 n ,当 n 大于 1 时,采用深拷贝技术将该型号的目标几何模型拷贝 $n-1$ 份,添加到场景树中。

[0068] 根据动态的目标位姿信息,设置目标在场景中的位置和姿态。

[0069] 根据传感器的位置和运动特性,计算并设置场景中视点的位置和方向,并基于离线数据技术和视点渲染技术更新海面几何模型的位置和面积。

[0070] 按具体实施方式步骤 1 和步骤 2 所述的红外辐射计算方法和渲染技术,分别计算场景中背景和目标的红外辐射值,并以各自相应的方法为 3D 几何模型添加红外效果。

[0071] 按具体实施方式步骤 2 所述的红外大气传输实时模拟方法,计算和设置雾效参数。

[0072] 渲染当前红外场景,包括更新场景构成、视点位置和方向、目标位置和姿态、背景和目标的红外效果、红外大气传输效果,输出红外图像。

[0073] 当前场景渲染完成后,将目标节点从场景树中移除,为下一帧重构场景树做准备。

[0074] 重复更新红外场景并生成红外图像,直到收到停止渲染指令。

[0075] 该具体实施方式的流程图如图 9 所示。

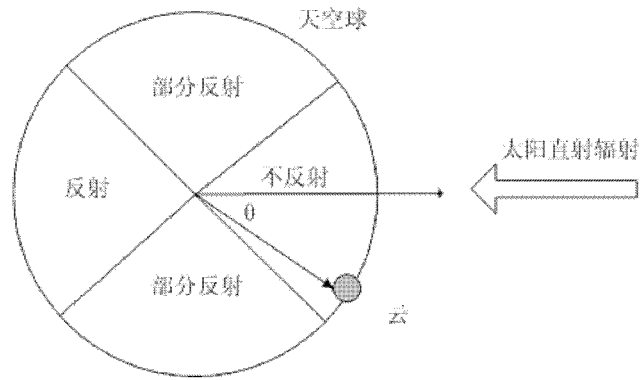


图 1A

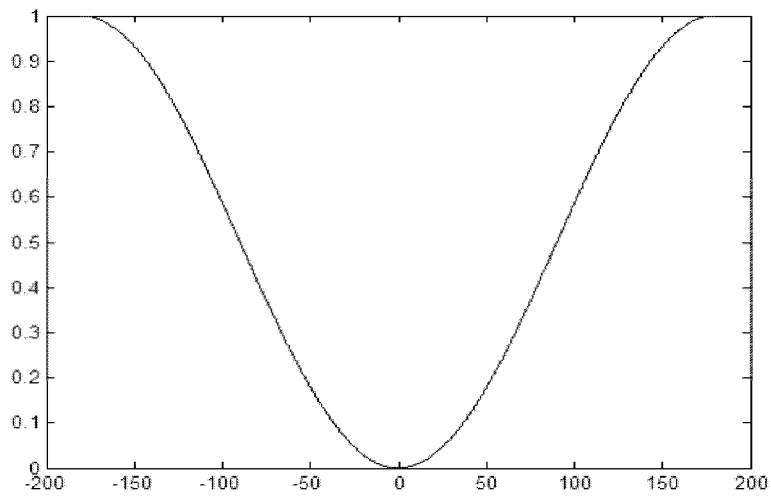


图 1B

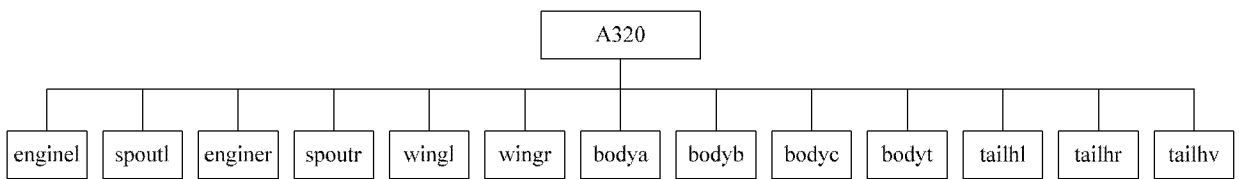


图 2

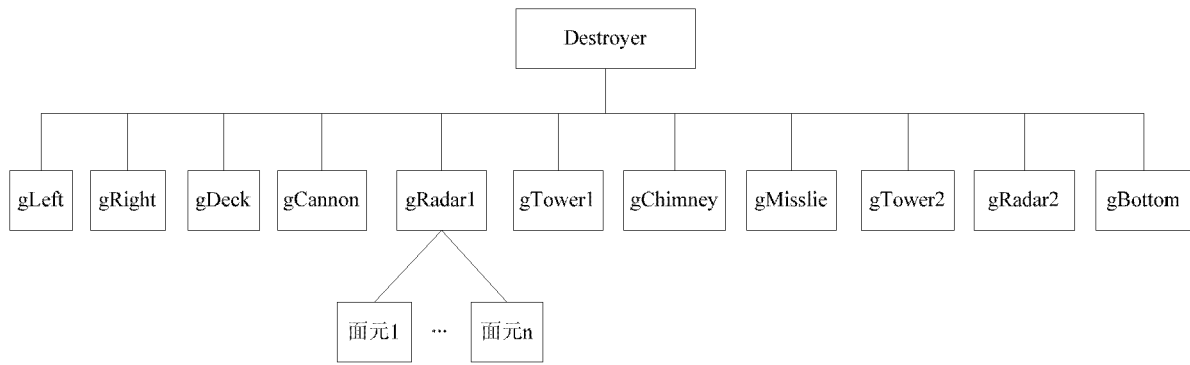


图 3

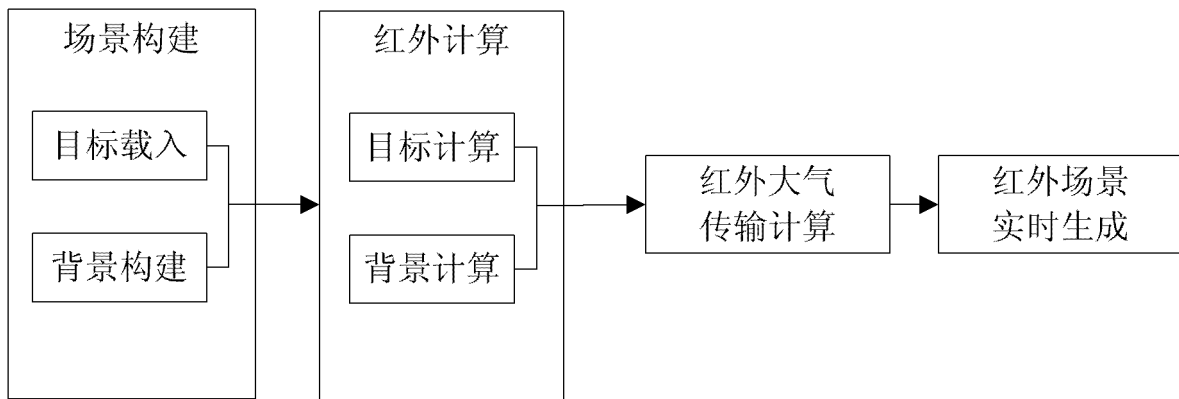


图 4

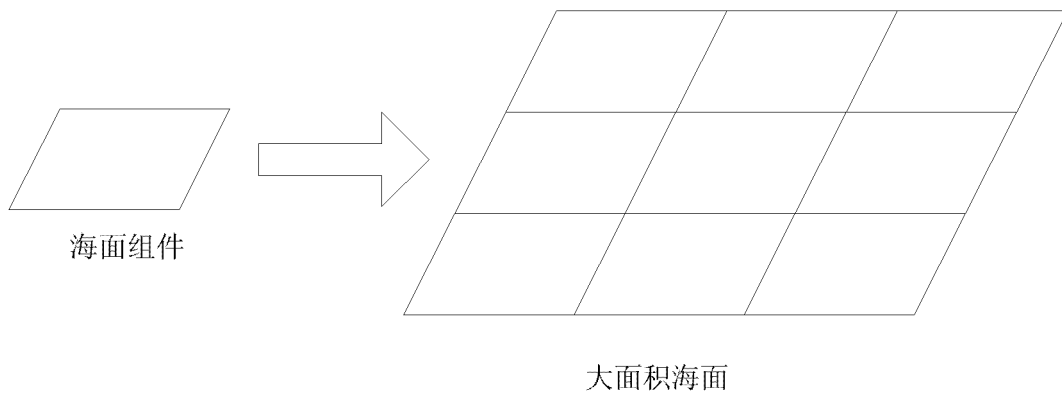


图 5

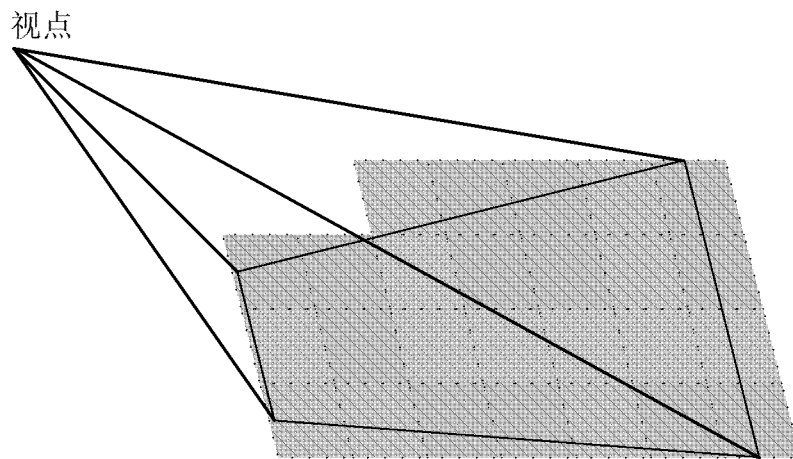


图 6

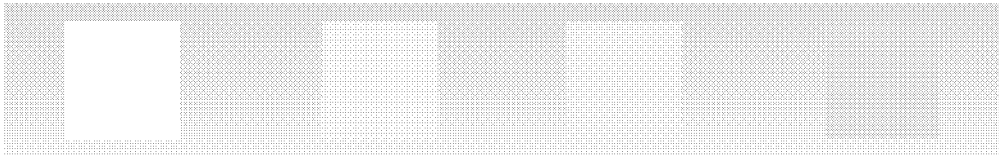


图 7

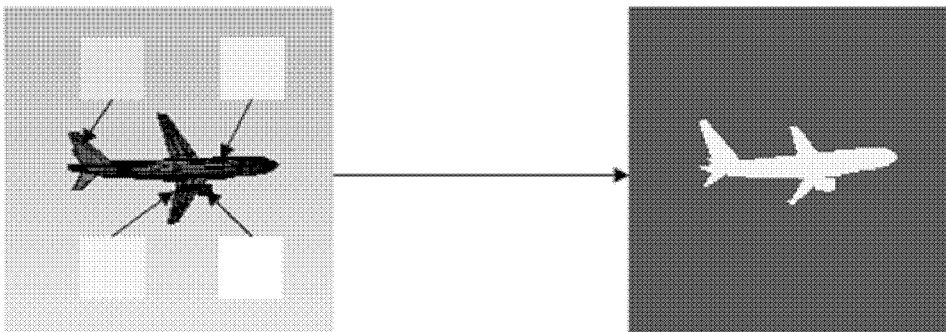


图 8

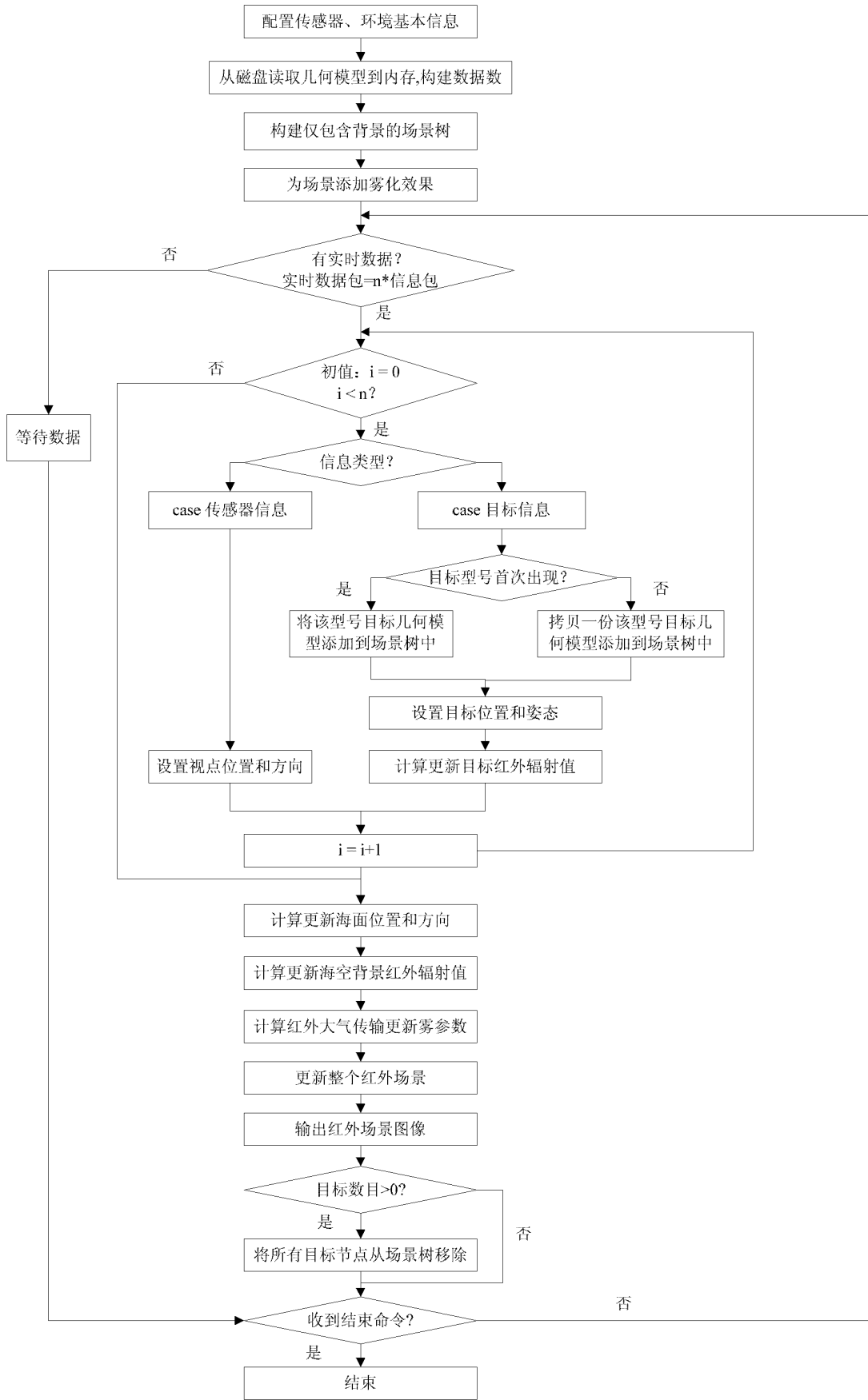


图 9