

空间光学遥感器对实际地物成像的计算机仿真系统

申请号：[201110452715.7](#)

申请日：2011-12-30

申请(专利权)人 [中国科学院长春光学精密机械与物理研究所](#)

地址 [130033 吉林省长春市东南湖大路3888号](#)

发明(设计)人 [孙阳](#) [闫锋](#) [薛栋林](#) [郑立功](#) [张学军](#)

主分类号 [G06T17/05\(2011.01\)I](#)

分类号 [G06T17/05\(2011.01\)I](#)

公开(公告)号 [102568034A](#)

公开(公告)日 [2012-07-11](#)

专利代理机构 [长春菁华专利商标代理事务所 22210](#)

代理人 [王淑秋](#)



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102568034 B

(45) 授权公告日 2014. 01. 15

(21) 申请号 201110452715. 7

(22) 申请日 2011. 12. 30

(73) 专利权人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路 3888 号

(72) 发明人 孙阳 闫锋 薛栋林 郑立功 张学军

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 王淑秋

(51) Int. Cl.

G06T 17/05 (2011. 01)

(56) 对比文件

CN 102129713 A, 2011. 07. 20, 全文.

CN 101706573 A, 2010. 05. 12, 全文.

CN 101320065 A, 2008. 12. 10, 全文.

CN 102243074 A, 2011. 11. 16, 全文.

JP 特开 2006-259377 A, 2006. 09. 28, 全文.

US 2006/0169932 A1, 2006. 08. 03, 全文.

张召才等. 异步推扫式遥感立体成像仿真系统.《红外与激光工程》. 2010, 第 39 卷 (第 5 期), 全文.

马岩等. 基于 CCD 成像单元仿真测试系统的实时性实现.《液晶与显示》. 2008, 第 23 卷 (第 2 期), 全文.

审查员 胡妮

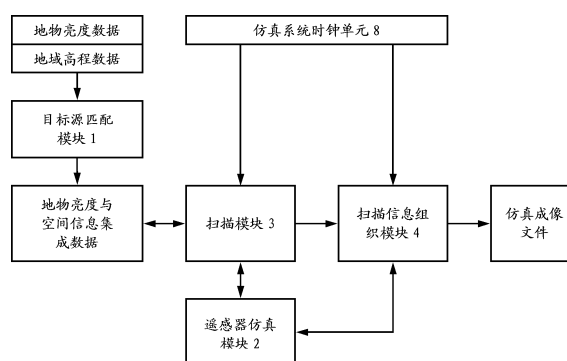
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

空间光学遥感器对实际地物成像的计算机仿真系统

(57) 摘要

本发明涉及一种空间光学遥感器对实际地物成像的计算机仿真系统,该系统的目标源匹配模块将地物亮度与空间信息集成数据提供给扫描模块;遥感器仿真模块为扫描模块和扫描信息组织模块提供遥感器轨道参数、姿态参数、光学系统焦距、光学系统各个子视场的点扩散函数和图像传感器物理参数;仿真系统时钟单元为扫描模块和扫描信息组织模块提供时间同步信息;扫描模块根据接收的信息得到各像元的图像坐标灰度时间序列并将其提供给扫描信息组织模块;扫描信息组织模块依据接收的信息得到对地成像仿真图像亮度矩阵。本发明能够对任意轨道上任意姿态的空间光学遥感器对地成像过程进行仿真,结构紧凑,易于面对实际科研需求进行升级。



1. 一种空间光学遥感器对实际地物成像的计算机仿真系统,其特征包括目标源匹配模块、遥感器仿真模块、仿真系统时钟单元、扫描模块和扫描信息组织模块;

目标源匹配模块:以地物亮度数据和地域高程数据为输入,由内部的地物比例调整运算器将依照自然距离比例尺的地物亮度数据重新规划为按照地球坐标系中空间立体角坐标分布的规划亮度矩阵,由内部的高程匹配运算器将地域高程数据规划为与规划亮度矩阵配套的高程分布矩阵,然后将规划亮度矩阵与高程分布矩阵融合,得到带有立体地形分布信息的地物亮度与空间信息集成数据;地物亮度与空间信息集成数据提供给扫描模块;

遥感器仿真模块包括轨道模拟单元、姿态模拟单元、光学系统模拟单元和图像传感器模拟单元;轨道模拟单元为扫描模块提供遥感器轨道参数;姿态模拟单元为扫描模块提供遥感器在轨姿态参数;光学系统模拟单元为扫描模块提供遥感器光学系统的焦距,为扫描信息组织模块提供根据遥感器光学系统结构所计算出遥感器光学系统各个子视场的点扩散函数;图像传感器模拟单元为扫描模块和扫描信息组织模块提供遥感器的图像传感器物理参数;

仿真系统时钟单元:为扫描模块和扫描信息组织模块提供时间同步信息;

扫描模块包括扫描时序控制器、像素映射单元、高程效果耦合单元和曝光模拟单元;

扫描时序控制器:利用仿真系统时钟单元提供的时间同步信息及图像传感器模拟单元提供的图像传感器物理参数,得到对地遥感过程中图像传感器各像元的成像时间序列,并将各像元的成像时间序列提供给像素映射单元;

像素映射单元:根据轨道模拟单元提供的遥感器轨道参数、姿态模拟单元提供的遥感器姿态参数、光学系统模拟单元提供的遥感器光学系统焦距和图像传感器模拟单元提供的图像传感器物理参数,按照物像空间几何关系计算图像传感器各像元与地面景物之间的空间几何关系,获得各像元在遥感过程全程对应的地物坐标序列;根据各像元在遥感过程全程对应的地物坐标序列、地物亮度与空间信息集成数据中的规划亮度矩阵和扫描时序控制器提供的图像传感器各像元的成像时间序列得到图像传感器各像元对应的地物坐标亮度时间序列;各像元对应的地物坐标亮度时间序列提供给高程效果耦合单元;

高程效果耦合单元:根据地物亮度与空间信息集成数据中的高程分布矩阵对图像传感器各像元对应的地物坐标亮度时间序列中的亮度数据进行插值,实现高程修正,得到修正地物坐标亮度时间序列;修正地物坐标亮度时间序列提供给曝光模拟单元;

曝光模拟单元:根据图像传感器模拟单元提供的图像传感器物理参数对高程效果耦合单元提供的修正地物坐标亮度时间序列中各点亮度值进行模拟曝光运算,获得图像传感器各像元的图像坐标灰度时间序列;各像元的图像坐标灰度时间序列提供给扫描信息组织模块;

扫描信息组织模块:依据仿真系统时钟单元提供的时间同步信息、图像传感器模拟单元提供的图像传感器物理参数和曝光模拟单元提供的图像传感器各像元的图像坐标灰度时间序列,排列出对地成像图像,再将排列出的对地成像图像与光学系统模拟单元提供的光学系统各个视场的点扩散函数卷积,得到对地成像仿真图像亮度矩阵。

2. 根据权利要求1所述的空间光学遥感器对实际地物成像的计算机仿真系统,其特征在于所述像素映射单元:利用式(1)确定连接物像的斜光线相对卫星的空间姿态(ξ , η);

$$\begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \xi_0 \\ \eta_0 \end{bmatrix} + \arctan \left(\begin{bmatrix} \cos \zeta_0 & -\sin \zeta_0 \\ \sin \zeta_0 & \cos \zeta_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} / F \right) \quad (1)$$

其中 ζ_0 , ξ_0 , η_0 分别为卫星偏航、横滚、俯仰姿态角, (x_0, y_0) 为图像传感器各像元坐标, F 为遥感器的光学系统焦距;

利用式(2) 计算连接物像的斜光线与卫星——星下点连线的夹角 θ ;

$$\tan^2 \theta = \tan^2 \xi + \tan^2 \eta \quad (2)$$

利用式(3) 计算物像之间距离 l ;

$$l = (R + H) \cos \theta - \sqrt{R^2 - (R + H)^2 \sin^2 \theta} \quad (3)$$

其中 R 为地球半径, H 为卫星轨高;

利用式(4) 计算地表连接星下点与景物的大圆圆弧的张角 φ ;

$$R^2 + (R + H)^2 - l^2 = 2R(R + H) \cos \varphi \quad (4)$$

根据 φ 和连接物像的斜光线相对卫星的空间姿态 (ξ, η) , 利用球面角公式计算获得地物的经纬度, 从而确定图像传感器各像元与地面景物之间的空间几何关系。

3. 根据权利要求1 所述的空间光学遥感器对实际地物成像的计算机仿真系统, 其特征在于所述目标源匹配模块: 在规划亮度矩阵时, 对图像在南北和东西方向进行适应图像对应区域经纬度范围的拉伸。

4. 根据权利要求1 所述的空间光学遥感器对实际地物成像的计算机仿真系统, 其特征在于所述图像传感器模拟单元提供的图像传感器物理参数包括 CCD 物理参数和 TDI-CCD 物理参数。

5. 根据权利要求1 所述的空间光学遥感器对实际地物成像的计算机仿真系统, 其特征在于所述扫描信息组织模块包括推扫式成像组织单元和凝视式成像组织单元; 推扫式成像组织单元依据仿真系统时钟单元提供的时间同步信息、图像传感器模拟单元提供的 TDI-CCD 物理参数和模拟曝光单元所产生的图像坐标灰度时间序列, 排列出对地成像图像, 再将排列出的对地成像图像与光学系统模拟单元所提供的光学系统各个视场的点扩散函数 (PSF) 卷积, 得到 TDI-CCD 对地成像仿真图像亮度矩阵; 凝视式成像组织单元依据仿真系统时钟单元提供的时间同步信息、图像传感器模拟单元提供的 CCD 物理参数和模拟曝光单元所产生的图像坐标灰度时间序列, 排列出对地成像图像, 再将排列出的对地成像图像与光学系统模拟单元所提供的光学系统各个视场的点扩散函数卷积, 得到 CCD 对地成像仿真图像亮度矩阵。

空间光学遥感器对实际地物成像的计算机仿真系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种在空间应用领域中辅助空间光学遥感器光学性能检测的计算机仿真系统,尤其是能对各种空间姿态下推扫式或凝视式空间光学遥感器对三维地形起伏的地物成像过程进行仿真的系统。

背景技术

[0002] 空间光学遥感器对地成像仿真是空间光学遥感器设计制造工作中的重要环节。目前,对空间光学遥感器对地成像过程的仿真主要采取硬件手段:根据地球自转和遥感器在轨飞行运动状态计算出空间光学遥感器与地面目标之间的相对运动关系,根据该运动关系,使用滚筒、三轴气浮平台或旋转臂等方法模拟空间光学遥感器与地面目标之间的相对运动,将空间光学遥感器(或仅用 CCD 与若干简单光学元件代替空间光学遥感器)与模拟地面目标的靶标安装在模拟装置上,实现硬件仿真成像。

[0003] 但是,硬件仿真成像手段具有以下局限:

[0004] 1. 由于受机械结构限制,硬件仿真平台所模拟的遥感器轨道与姿态参数变化范围较窄,在不修改机械结构设计的前提下,难以模拟多种轨道与姿态的空间光学遥感器对地成像,尤其难以模拟椭圆轨道上遥感器对地成像过程。

[0005] 2. 由于机械部件的加工精度和电子学元件的同步精度限制,硬件仿真平台的同步失配、机械振动等误差对仿真成像的干扰是难以忽略和无法避免的。此外,硬件仿真平台往往难以模拟地球的三维椭球面地表对平面像面成像的影响:多数仿真平台使用平面靶标,一些平台使用带有立体起伏地形的模板作为成像靶标,但是仍难以反映像面各点与椭球面地表上各点景物位置的准确投影关系,从而难以模拟遥感成像因受地球的椭球面地表影响而导致的图像畸变变化情况和地物推扫范围。因此,目前仿真成像平台的功能局限于以使用平面条纹靶检测遥感器成像质量为主,使用景物靶验证遥感器成像效果为辅的阶段,限制了仿真平台在更广领域的应用。

[0006] 3. 遥感对地成像硬件仿真平台为满足遥感器与目标源布局需要,一般具有较大的复杂结构,且带有至少保证一个自由度的活动件模拟遥感器在轨运动。如果平台具有遥感器多姿态成像仿真功能,则活动件更多。带有活动件的复杂机械部件对加工质量和维护工作提出了较高要求。此外,对平台的进一步升级也比较困难。

发明内容

[0007] 本发明要解决的技术问题是提供一种能够对各种轨道上的空间光学遥感器以任意姿态对地成像进行仿真,同时易于维护和升级的空间光学遥感器对实际地物成像的计算机仿真系统。

[0008] 为了解决上述技术问题,本发明的空间光学遥感器对实际地物成像的计算机仿真系统包括目标源匹配模块、遥感器仿真模块、仿真系统时钟单元、扫描模块和扫描信息组织模块;

[0009] 目标源匹配模块 :以地物亮度数据和地域高程数据为输入,由内部的地物比例调整运算器将依照自然距离比例尺的地物亮度数据重新规划为按照地球坐标系中空间立体角坐标分布的规划亮度矩阵,由内部的高程匹配运算器将地域高程数据规划为与规划亮度矩阵配套的高程分布矩阵,然后将规划亮度矩阵与高程分布矩阵融合,得到带有立体地形分布信息的地物亮度与空间信息集成数据;地物亮度与空间信息集成数据提供给扫描模块;

[0010] 所述遥感器仿真模块包括轨道模拟单元、姿态模拟单元、光学系统模拟单元和图像传感器模拟单元;轨道模拟单元为扫描模块提供遥感器轨道参数;姿态模拟单元为扫描模块提供遥感器在轨姿态参数;光学系统模拟单元为扫描模块提供遥感器光学系统的焦距,为扫描信息组织模块提供根据遥感器光学系统结构所计算出遥感器光学系统各个子视场的点扩散函数;图像传感器模拟单元为扫描模块和扫描信息组织模块提供遥感器的图像传感器物理参数;

[0011] 仿真系统时钟单元 :为扫描模块和扫描信息组织模块提供时间同步信息;

[0012] 所述扫描模块包括扫描时序控制器、像素映射单元、高程效果耦合单元和曝光模拟单元;

[0013] 扫描时序控制器 :利用仿真系统时钟单元提供的时间同步信息及图像传感器模拟单元提供的图像传感器物理参数,得到对地遥感过程中图像传感器各像元的成像时间序列,并将各像元的成像时间序列提供给像素映射单元;

[0014] 像素映射单元 :根据轨道模拟单元提供的遥感器轨道参数、姿态模拟单元提供的遥感器姿态参数、光学系统模拟单元提供的遥感器光学系统焦距和图像传感器模拟单元提供的图像传感器物理参数,按照物像空间几何关系计算图像传感器各像元与地面景物之间的空间几何关系,获得各像元在遥感过程全程对应的地物坐标序列;根据各像元在遥感过程全程对应的地物坐标序列、地物亮度与空间信息集成数据中的规划亮度矩阵和扫描时序控制器提供的图像传感器各像元的成像时间序列得到图像传感器各像元对应的地物坐标亮度时间序列;各像元对应的地物坐标亮度时间序列提供给高程效果耦合单元;

[0015] 高程效果耦合单元 :根据地物亮度与空间信息集成数据中的高程分布矩阵对图像传感器各像元对应的地物坐标亮度时间序列中的亮度数据进行插值,实现高程修正,得到修正地物坐标亮度时间序列;修正地物坐标亮度时间序列提供给曝光模拟单元;

[0016] 曝光模拟单元 :根据图像传感器模拟单元提供的图像传感器物理参数对高程效果耦合单元提供的修正地物坐标亮度时间序列中各点亮度值进行模拟曝光运算,获得图像传感器各像元的图像坐标灰度时间序列;各像元的图像坐标灰度时间序列提供给扫描信息组织模块;

[0017] 扫描信息组织模块 :依据仿真系统时钟单元提供的时间同步信息、图像传感器模拟单元提供的图像传感器物理参数和曝光模拟单元提供的图像传感器各像元的图像坐标灰度时间序列,排列出对地成像图像,再将排列出的对地成像图像与光学系统模拟单元提供的光学系统各个视场的点扩散函数卷积,得到对地成像仿真图像亮度矩阵。

[0018] 所述像素映射单元 :利用式 (1) 确定连接物像的斜光线相对卫星的空间姿态 (ξ , η);

$$[0019] \quad \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \xi_0 \\ \eta_0 \end{bmatrix} + \arctan \left(\begin{bmatrix} \cos \zeta_0 & -\sin \zeta_0 \\ \sin \zeta_0 & \cos \zeta_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} / F \right) \quad (1)$$

[0020] 其中 ζ_0 , ξ_0 , η_0 分别为卫星偏航、横滚、俯仰姿态角, (x_0, y_0) 为图像传感器各像元坐标, F 为遥感器的光学系统焦距;

[0021] 利用式 (2) 计算连接物像的斜光线与卫星——星下点连线的夹角 θ ;

$$[0022] \quad \tan^2 \theta = \tan^2 \xi + \tan^2 \eta \quad (2)$$

[0023] 利用式 (3) 计算物像之间距离 l :

$$[0024] \quad l = (R + H) \cos \theta - \sqrt{R^2 - (R + H)^2 \sin^2 \theta} \quad (3)$$

[0025] 其中 R 为地球半径, H 为卫星轨高; 的靶标模型能够模拟基于椭球面地表的立体地形

[0026] 利用式 (4) 计算地表连接星下点与景物的大圆圆弧的张角 φ ;

[0027]

$$R^2 + (R + H)^2 - l^2 = 2R(R + H) \cos \varphi \quad (4)$$

[0028] 根据 φ 和连接物像的斜光线相对卫星的空间姿态 (ξ , η), 利用球面角公式计算获得地物的经纬度, 从而确定图像传感器各像元与地面景物之间的空间几何关系。

[0029] 所述高程分布矩阵中包含景物所在地形高程信息和在球面地表基础上对地球椭球面地表的高程修正信息。

[0030] 本发明的有益效果:

[0031] 1. 能够对任意轨道上任意姿态的空间光学传感器对地成像过程进行仿真。

[0032] 2. 排除了硬件仿真平台所引入的机械与电子学误差, 能够准确计算在轨环境下各时刻传感器像面各点与地物的对应关系; 能够对具有人为规定地形起伏的立体景物进行成像仿真。采用的靶标模型能够模拟基于椭球面地表的立体地形; 靶标地形高程分布可自定义, 选择范围广。由于仿真成像图像的每一点都基于立体地形与像面的投影关系计算获得, 因此能够将地物在像面上的投影畸变反映出来, 并给出精确的成像范围。允许在像面上定义多个成像区域, 对多块 CCD 在像面上布局进行仿真。这样, 本发明不但能够提供验证传感器成像质量的仿真扫描图像, 而且能够给出精确的传感器地面成像覆盖范围和地物投影畸变信息, 以及采取各种 CCD 布局方案的扫描结果, 为轨道选择、光学系统设计、图像传感器在像面上布局设计、多景遥感图像拼接技术开发和 MTF 技术开发等多种应用提供仿真验证功能, 拓宽了传感器对地成像仿真技术的应用范围。

[0033] 3. 模块清晰, 结构紧凑, 易于面对实际科研需求进行升级。

[0034] 所述目标源匹配模块: 在规划亮度矩阵时, 对图像在南北和东西方向进行适应图像对应区域经纬度范围的拉伸。这样, 可以防止高纬地区的仿真结果受纬线距离缩短影响而产生畸变。

[0035] 所述图像传感器模拟单元提供的图像传感器物理参数包括 CCD 物理参数和 TDI-CCD 物理参数。

[0036] 所述扫描信息组织模块包括推扫式成像组织单元和凝视式成像组织单元; 推扫式成像组织单元依据仿真系统时钟单元提供的时间同步信息、图像传感器模拟单元提供的 TDI-CCD 物理参数和模拟曝光单元所产生的图像坐标灰度时间序列, 排列出对地成像图像, 再将排列出的对地成像图像与光学系统模拟单元所提供的光学系统各个视场的点扩散函

数 (PSF) 卷积, 得到 TDI-CCD 对地成像仿真图像亮度矩阵; 凝视式成像组织单元依据仿真系统时钟单元提供的时间同步信息、图像传感器模拟单元提供的 CCD 物理参数和模拟曝光单元所产生的图像坐标灰度时间序列, 排列出对地成像图像, 再将排列出的对地成像图像与光学系统模拟单元所提供的光学系统各个视场的点扩散函数卷积, 得到 CCD 对地成像仿真图像亮度矩阵。

[0037] 本发明空间光学遥感器的成像方式可以在推扫式和凝视式之间进行选择, 对于推扫式成像, 能够实现准确的同步扫描成像, 同时易于维护和升级。适用于 TDI-CCD 推扫式和面阵 CCD 凝视式传感器对地成像过程的仿真。

附图说明

[0038] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步说明。

[0039] 图 1 是本发明的空间光学传感器对实际地物成像的计算机仿真系统结构框图。

[0040] 图 2 目标源匹配模块结构框图。

[0041] 图 3 传感器仿真模块结构框图。

[0042] 图 4 扫描模块结构框图。

[0043] 图 5 扫描信息组织模块结构框图。

[0044] 图中 1. 目标源匹配模块, 2. 传感器仿真模块, 3. 扫描模块, 4. 扫描信息组织模块, 8. 仿真系统时钟单元, 10. 地物比例调整运算器, 11. 高程匹配运算器, 12. 轨道模拟单元, 13. 姿态模拟单元, 14. 光学系统模拟单元, 15. 图像传感器模拟单元, 16. 扫描时序控制器, 17. 像素映射单元, 18. 高程效果耦合单元, 21. 曝光模拟单元, 19. 推扫式成像组织单元, 20. 凝视式成像组织单元。

[0045] 图 6 为传感器各像元与地面景物之间的空间几何关系示意图。

[0046] 图中 1 为物像之间距离, R 为地球半径, H 为卫星轨高, θ 为连接物像的斜光线与卫星——星下点连线的夹角, φ 为地表连接星下点与景物的大圆圆弧的张角。

具体实施方式

[0047] 如图 1 所示, 本发明的空间光学传感器对实际地物成像的计算机仿真系统包括目标源匹配模块 1, 传感器仿真模块 2, 扫描模块 3, 扫描信息组织模块 4, 仿真系统时钟单元 8。

[0048] 如图 2 所示, 所述目标源匹配模块 1 包括地物比例调整运算器 10、高程匹配运算器 11。

[0049] 目标源匹配模块 1 以地物亮度数据和地域高程数据为输入, 地物亮度数据的格式为能够兼容遥感、航拍或人工模拟的二维平面图像, 图像依照自然距离比例尺, 从图像亮度矩阵数值精度方面, 可以是灰度位图或浮点数矩阵; 从图像光谱数量方面, 可以是单光谱、多光谱或高光谱。地物亮度数据可以从图像文件中获取, 地域高程数据针对图像用计算机解算获得。

[0050] 在目标源匹配模块 1 中, 地物亮度数据经过地物比例调整运算器 10 处理: 根据地物亮度数据所在地表经纬度范围, 按照经纬度重新规划亮度矩阵坐标, 使用插值算法获得亮度矩阵内各点亮度值, 得到规划亮度矩阵。在规划亮度矩阵坐标时, 对图像在南北和东西方向进行适应图像对应区域经纬度范围的拉伸, 这样, 可以防止高纬地区的仿真结果受纬

线距离缩短影响而产生畸变。

[0051] 地域高程数据的格式为按自然长度比例尺或经纬度比例尺分布的二维高程矩阵,经过高程匹配运算器 11 规划为与亮度矩阵配套的高程分布矩阵。

[0052] 规划亮度矩阵和高程分布矩阵耦合为地物亮度与空间信息集成数据。

[0053] 遥感目标区域的地物亮度数据和地域高程数据输入到目标源匹配模块 1 中,经过比例调整和高程匹配过程,按照地球坐标系中空间立体角坐标重新规划,以满足扫描模块 3 中的数据处理需求,得到遥感目标区域内各点亮度与高程信息集成的地物亮度与空间信息集成数据。

[0054] 如图 3 所示,遥感器仿真模块 2 包括轨道模拟单元 12、姿态模拟单元 13、光学系统模拟单元 14 和图像传感器模拟单元 15。

[0055] 轨道模拟单元 12 采用轨道半长轴 a 、轨道偏心率 e 、升交点赤经 Ω_N 、轨道倾角 i 、极角 ω_N 和卫星经过近地点时刻 t_p 六个轨道要素定义卫星在轨道上的飞行状态,赤道惯性坐标系中,卫星在任一时刻的位置由以下方程组定义:

$$[0056] \begin{cases} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cos f} \begin{bmatrix} \cos \Omega_N \cos(\omega_N + f) - \sin \Omega_N \sin(\omega_N + f) \cos i \\ \sin \Omega_N \cos(\omega_N + f) + \cos \Omega_N \sin(\omega_N + f) \cos i \\ \sin(\omega_N + f) \sin i \end{bmatrix} \\ \sin E = \frac{\sqrt{1-e^2} \sin f}{1+e \cos f} \\ \cos E = \frac{e + \cos f}{1+e \cos f} \\ t - t_p = \sqrt{\frac{a^3}{\mu}} (E - e \sin E) \end{cases}$$

[0057] 其中 f 为真近点角, E 为偏近点角, t 为计算卫星位置的时刻。 μ 为地心引力常数, $\mu = G \times M_e = 398600.44 \text{ km}^3/\text{s}^2$, G 为万有引力常数, M_e 为两体地球等效质量,近似为地球质量。

[0058] 姿态模拟单元 13 使用欧拉方位角定义遥感器在轨姿态。

[0059] 光学系统模拟单元 14 对遥感器光学系统的光学结构进行仿真,并使用 CODEV 光学分析软件,根据遥感器光学系统结构计算遥感器的光学系统各个子视场的点扩散函数 (PSF)。

[0060] 图像传感器模拟单元 15 对 CCD 和 TDI-CCD 进行仿真,为扫描模块 3 和扫描信息组织模块 4 提供 CCD 幅宽、像元尺寸、行频、量子效率、信噪比等物理参数,或者为扫描模块 3 和扫描信息组织模块 4 提供 TDI-CCD 的幅宽、像元尺寸、行频、量子效率、信噪比和积分级次等物理参数。

[0061] 遥感器仿真模块 2 能够对遥感器轨道、姿态、光学系统与图像传感器 (包括 CCD 和 TDI-CCD) 的运动特征和物理特性进行仿真。其中轨道模拟单元 12 和姿态模拟单元 13 能够为扫描模块 3 提供遥感器轨道参数、遥感器姿态参数。光学系统模拟单元能够为扫描模块 3 提供光学系统焦距,为扫描信息组织模块 4 提供遥感器的光学系统各个子视场的点扩散函数 (PSF)。图像传感器模拟单元 15 为扫描模块 3 提供图像传感器物理参数,包括凝视型 CCD

的幅宽、像元尺寸、行频、量子效率、信噪比；TDI-CCD 的幅宽、像元尺寸、行频、积分级次、量子效率、信噪比；为扫描信息组织模块 4 提供凝视型 CCD 的幅宽、像元尺寸、行频，TDI-CCD 的幅宽、行频、像元尺寸、积分级次。

[0062] 仿真系统时钟单元 8 为扫描模块 3 和扫描信息组织模块 4 提供统一的对地扫描时间基准。

[0063] 如图 4 所示，扫描模块 3 包括扫描时序控制器 6、像素映射单元 17、高程效果耦合单元 18 和曝光模拟单元 21。

[0064] 扫描模块 3 从遥感器仿真模块 2 获取遥感器轨道参数、遥感器姿态参数、遥感器的光学系统焦距和图像传感器的物理参数，建立整个对地遥感成像过程中像面各时刻各点与地物亮度与空间信息集成数据中亮度数据一一对应关系。

[0065] 扫描时序控制器 16：使用仿真系统时钟单元 8 所提供的时间同步信息及图像传感器模拟单元 15 提供的图像传感器物理参数（包括 CCD 的幅宽、像元尺寸、行频和 TDI-CCD 的幅宽、像元尺寸、行频、积分级次），按照时刻——凝视式 CCD 像元行列坐标（或 TDI-CCD 各积分级像元坐标）的规则排出在遥感成像过程全程各像元的物像空间几何关系计算序列，得到对地遥感过程中图像传感器各像元的成像时间序列。

[0066] 像素映射单元 17：根据轨道模拟单元 12 提供的遥感器轨道参数、姿态模拟单元 13 提供的遥感器姿态参数、光学系统模拟单元 14 提供的光学系统焦距和图像传感器模拟单元 15 提供的 CCD 物理参数（包括 CCD 和 TDI-CCD 的幅宽、像元尺寸），按照物像空间几何关系计算遥感器各像元与地面景物之间的空间几何关系，获得各像元在遥感过程全程对应的地物坐标序列；根据各像元在遥感过程全程对应的地物坐标序列、地物亮度与空间信息集成数据中的规划亮度矩阵和扫描时序控制器 16 提供的各像元的成像时间序列，得到各像元对应的地物坐标亮度时间序列。

[0067] 如图 6 所示，遥感器各像元与地面景物之间的空间几何关系（即像面上像元坐标 (x_0, y_0) 与景物的经纬度之间的空间几何关系）由以下方程组决定：

[0068]

$$\begin{cases} l = (R + H) \cos \theta - \sqrt{R^2 - (R + H)^2 \sin^2 \theta} \\ R^2 + (R + H)^2 - l^2 = 2R(R + H) \cos \varphi \\ \tan^2 \theta = \tan^2 \xi + \tan^2 \eta \end{cases}$$

[0069] 其中 l 为物像之间距离， R 为地球半径， H 为卫星轨高， θ 为连接物像的斜光线与卫星——星下点连线的夹角， φ 为地表连接星下点与景物的大圆圆弧的张角。

[0070] 连接物像的斜光线相对卫星的空间姿态 (ξ, η) 由下式确定：

$$[0071] \quad \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \xi_0 \\ \eta_0 \end{bmatrix} + \arctan \left(\begin{bmatrix} \cos \zeta_0 & -\sin \zeta_0 \\ \sin \zeta_0 & \cos \zeta_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} / F \right)$$

[0072] 其中 (ζ_0, ξ_0, η_0) 为卫星偏航、横滚、俯仰姿态角， (x_0, y_0) 为 CCD 像面上像元坐标， F 为遥感器光学系统的焦距。

[0073] 根据 φ 和连接物像的斜光线相对卫星的空间姿态 (ξ, η) ，利用球面角公式可以计算获得地物的经纬度。

[0074] 高程效果耦合单元 18：根据地物亮度与空间信息集成数据中的高程分布矩阵对

图像传感器各像元对应的地物坐标亮度时间序列中的亮度数据进行插值,实现高程修正,得到修正后的 CCD 像元对应的地物坐标亮度时间序列。

[0075] 曝光模拟单元 21:根据图像传感器模拟单元 15 所提供的量子效率、信噪比,对高程效果耦合单元 18 提供的修正后的 CCD 像元对应的地物坐标亮度时间序列中各点亮度值进行模拟曝光运算,实现光电转换,获得 CCD 各像元采集的图像坐标灰度时间序列。

[0076] 如图 5 所示,扫描信息组织模块 4 包括推扫式成像组织单元 19 和凝视式成像组织单元 20;推扫式成像组织单元 19 和凝视式成像组织单元 20 分别对应遥感器的两种成像方式。推扫式成像组织单元 19 依据仿真系统时钟单元 8 提供的时间同步信息、图像传感器模拟单元 15 提供的 CCD 幅宽、行频、像元尺寸、积分级次和模拟曝光单元 21 所产生的图像坐标灰度时间序列,排列出对地成像图像,再将排列出的对地成像图像与光学系统模拟单元所提供的光学系统各个视场的点扩散函数 (PSF) 卷积,得到 TDI-CCD 对地成像仿真图像亮度矩阵,即仿真成像文件。凝视式成像组织单元 20 依据仿真系统时钟单元 8 提供的时间同步信息、图像传感器模拟单元提供的 CCD 幅宽、行频、像元尺寸和模拟曝光单元所产生的图像坐标灰度时间序列,排列出对地成像图像,再将排列出的对地成像图像与光学系统模拟单元所提供的光学系统各个视场的点扩散函数 (PSF) 卷积,得到 CCD 对地成像仿真图像亮度矩阵,即仿真成像文件。

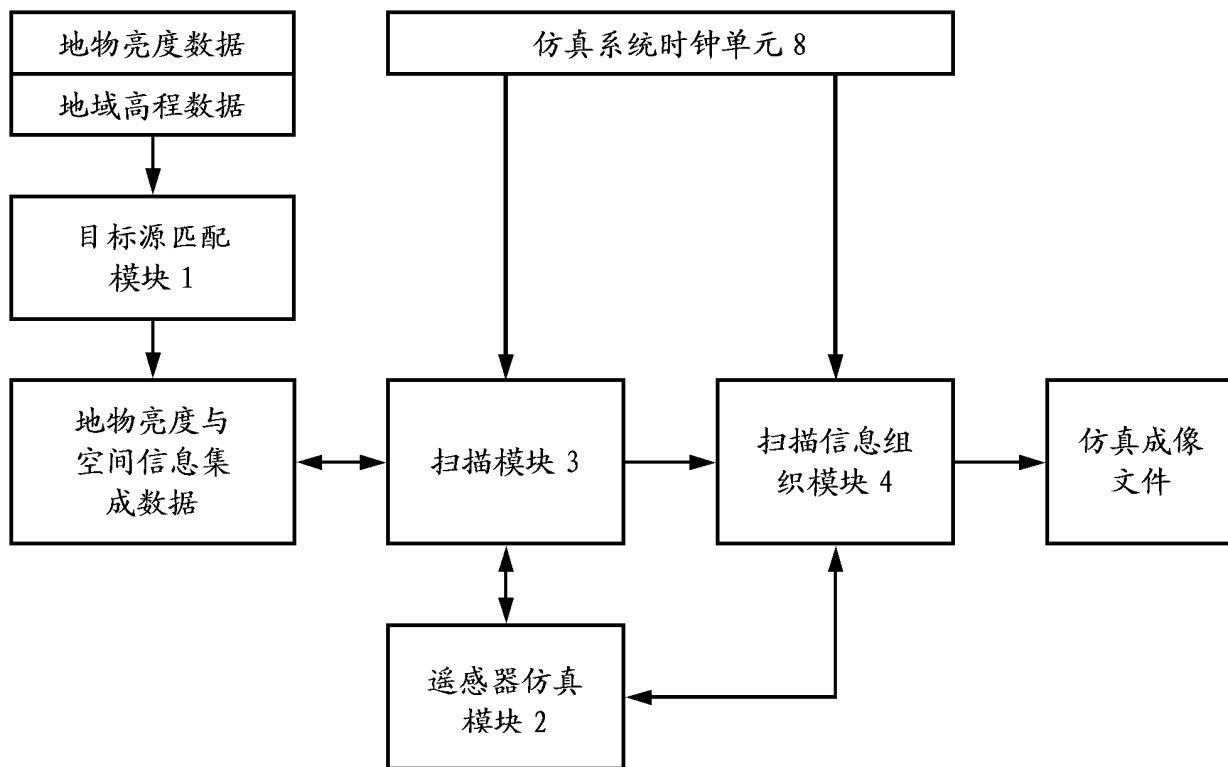


图 1

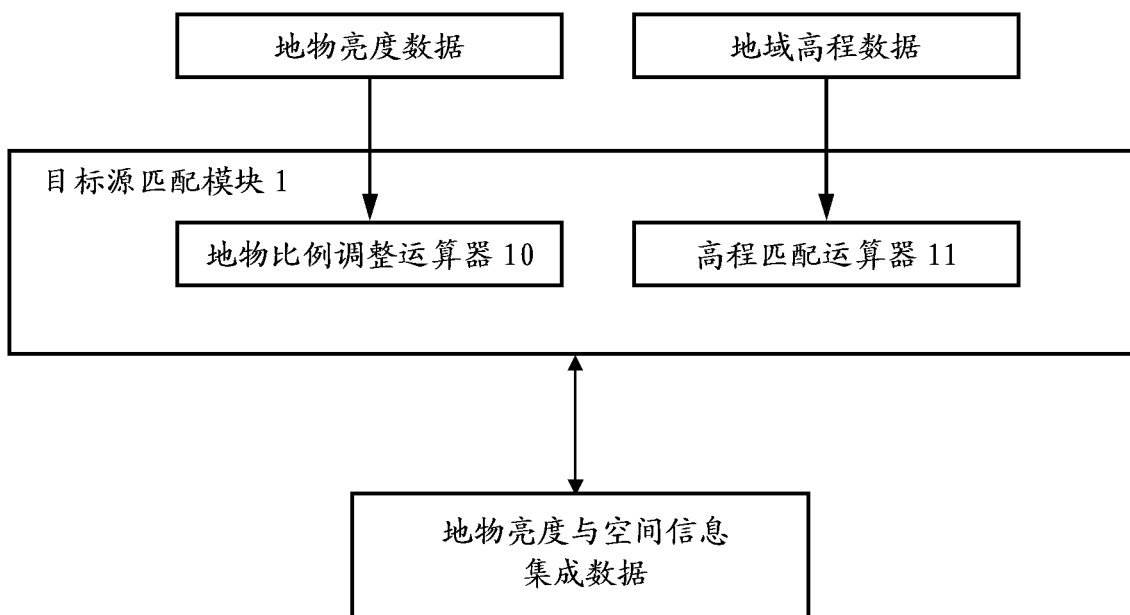


图 2

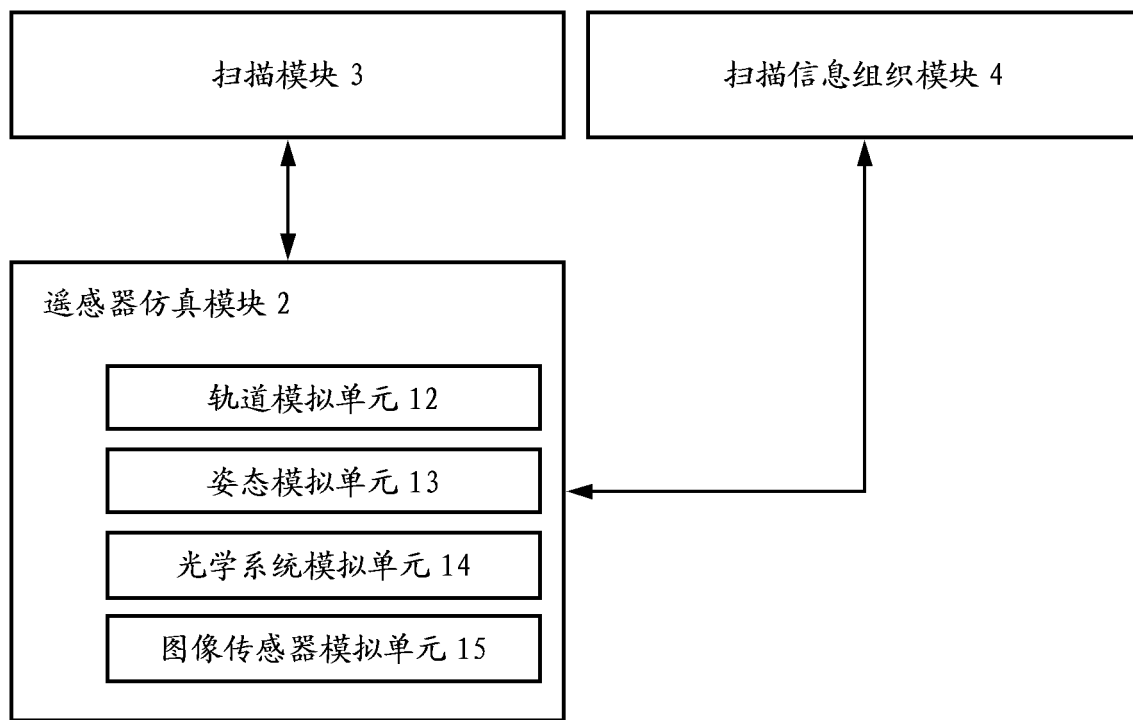


图 3

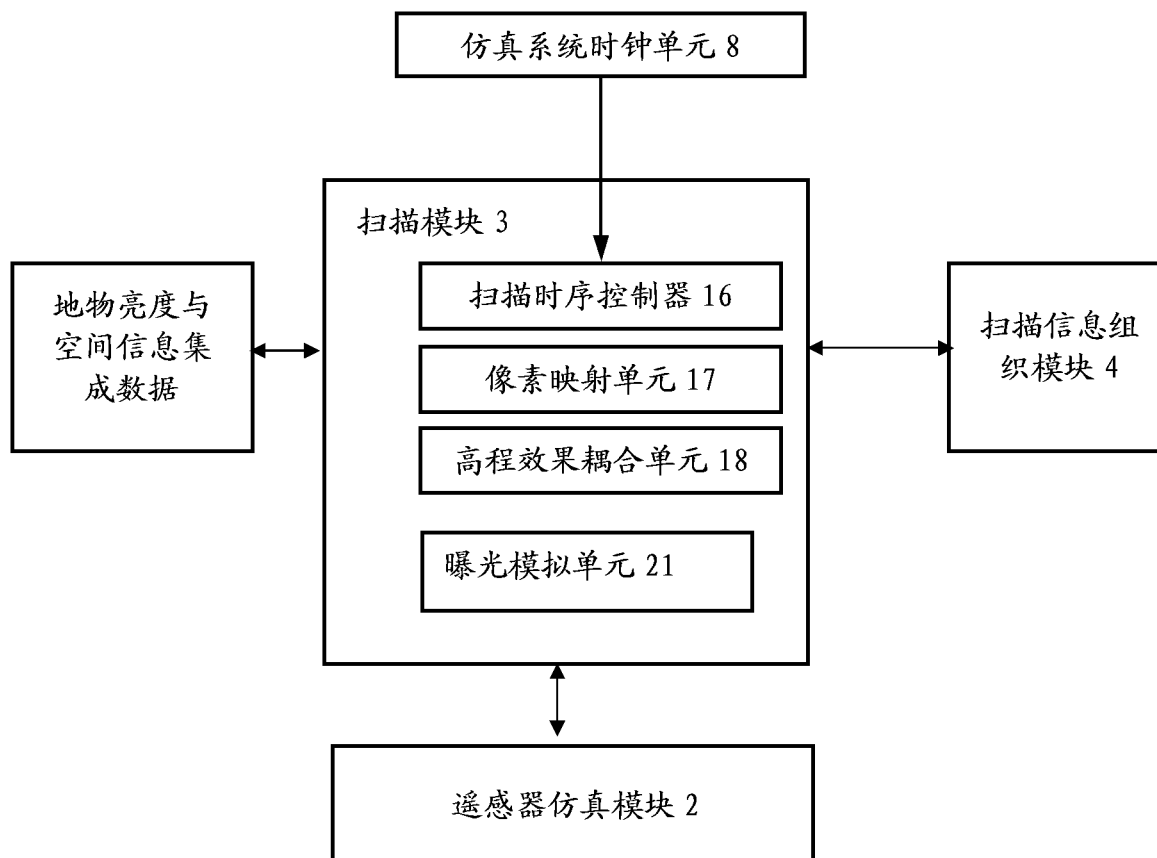


图 4

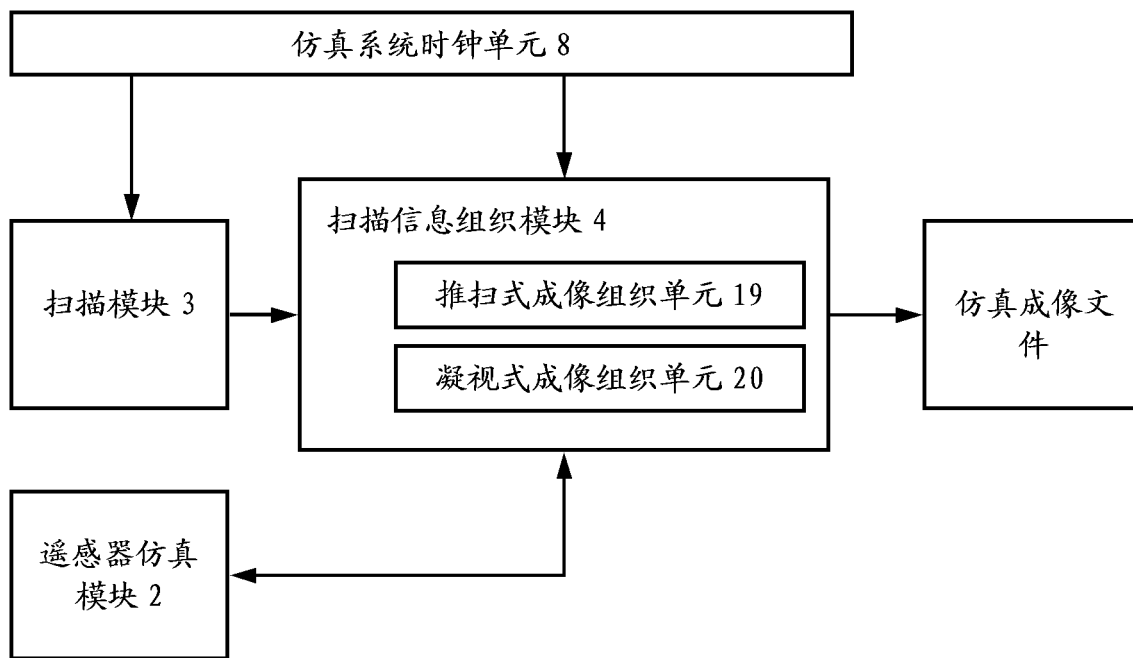


图 5

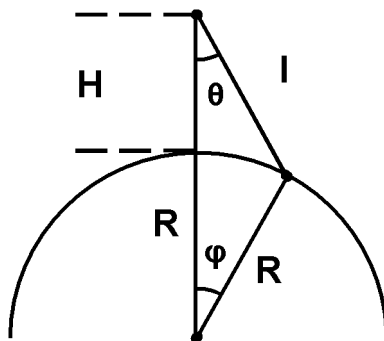


图 6