



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112084628 A

(43) 申请公布日 2020.12.15

(21) 申请号 202010801204.0

H04B 17/40 (2015.01)

(22) 申请日 2020.08.11

(71) 申请人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 吕林立 李文皓 张珩 肖歆昕 冯冠华 赵志杰

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理事务所(普通合伙) 11390

代理人 焦海峰

(51) Int. Cl.

G06F 30/20 (2020.01)

G06T 11/20 (2006.01)

G06T 11/40 (2006.01)

H04B 7/185 (2006.01)

权利要求书4页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

一种极多层高效卫星覆盖性分析方法

(57) 摘要

本发明公开了一种极多层高效卫星覆盖性分析方法,具体为:计算卫星对地覆盖域和对空覆盖域的地心角和星下点的地心经度和地心纬度;求解卫星对地覆盖域和对空覆盖域边界的空间数据模型;并进行分类修正和墨卡托投影处理,以获得覆盖域边界在墨卡托图上的空间数据模型;获得卫星对天球的覆盖域墨卡托投影图,以及叠加多颗卫星覆盖域生成的星座覆盖图像,分析并获取星座覆盖图像的覆盖重数与RGB色彩模式的对应关系;求取星座覆盖图像的面密度矩阵并初始化和赋值;求取覆盖域的覆盖需求权重矩阵,并对覆盖域的覆盖性进行分析。本发明可以快速、精确的确定卫星/星座对地、对空两种探测模式下任一时刻的覆盖性指标,为星座的覆盖性分析提供依据。



1. 一种极多层高效卫星覆盖性分析方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤100、获取卫星地面探测背景下对目标天球表面的覆盖域,以及卫星深空探测背景下对目标天球表面的覆盖域,分别记为卫星对地覆盖域和对空覆盖域,并且分别计算卫星对地覆盖域和对空覆盖域的地心角;

步骤200、视地心为球心,把地心和卫星的连线与地球球面的交点定义为星下点,由球面三角公式得所述星下点的地心经度和地心纬度;

步骤300、基于地心角、星下点的地心经度和地心纬度,求解卫星对地覆盖域和对空覆盖域边界的空间数据模型;

步骤400、对所述卫星对地覆盖域和所述对空覆盖域的边界的空间数据模型依次进行分类修正和墨卡托投影处理,以获得覆盖域边界在墨卡托图上的空间数据模型;

步骤500、通过GIS制图技术处理覆盖域边界在墨卡托图上的空间数据模型,获得卫星对天球的覆盖域墨卡托投影图,以及叠加多颗卫星覆盖域生成的星座覆盖图像;

步骤600、分析并获取所述星座覆盖图像的覆盖重数与RGB色彩模式的对应关系;

步骤700、求取所述星座覆盖图像上各个像素点所对应的实际地理面积以获取面密度矩阵,并以星座覆盖图像大小初始化面密度矩阵,然后对面密度矩阵的每个元素赋值以求取面密度矩阵A;

步骤800、求取覆盖域的覆盖需求权重矩阵,并对其进行赋值;

步骤900、求解覆盖性矩阵,并对覆盖域的覆盖性进行分析。

2. 根据权利要求1所述的一种极多层高效卫星覆盖性分析方法,其特征在于,所述步骤100中所述卫星对地覆盖域在地球表面是以星下点为圆心的球冠,所述卫星对空覆盖域在目标天球表面是以星下点为圆心的球带;

$$\text{卫星对地覆盖域地心角 } \varphi = \frac{\pi}{2} - \theta - \arccos\left(\frac{R_e + H_s}{R_e} \sin \theta\right);$$

$$\text{卫星对空覆盖域内环地心角 } \varphi_{\min} = \arccos\left(\frac{R_e}{R_e + H_s}\right) - \arccos\left(\frac{R_e}{R_e + H_h}\right);$$

$$\text{卫星对空覆盖域外环地心角 } \varphi_{\max} = \arccos\left(\frac{R_e}{R_e + H_s}\right) + \arccos\left(\frac{R_e}{R_e + H_h}\right);$$

其中, θ 为卫星探测半锥角; R_e 为地球半径, H_s 为卫星高度; H_h 为目标天球高度。

3. 根据权利要求2所述的一种极多层高效卫星覆盖性分析方法,其特征在于,所述步骤200中所述地心经度和所述地心纬度的求解公式为:

$$\begin{cases} Lon = \arcsin(\sin i \sin u) \\ Lat = \Omega + \Delta\lambda - (G_0 + \omega_e \Delta t); \end{cases}$$

其中, $\tan \Delta\lambda = \cos i \tan u$, i 为卫星轨道倾角, u 为 t 时刻卫星纬度幅角, Ω 为升交点赤经, G_0 为初始时刻 t_0 的格林尼治恒星时角, $\omega_e = 7.292115 \times 10^{-5}$ (rad/s)为地球自转角速度, $\Delta\lambda$ 与 u 同象限。

4. 根据权利要求3所述的一种极多层高效卫星覆盖性分析方法,其特征在于,所述步骤300中卫星对地覆盖域边界的空间数据模型的求取方法包括:

地心地固系下目标天球的球面方程为:

$x^2 + y^2 + z^2 = R_0^2$, 其中 R_0 为天球半径;

则以星下点与天球球心连线为轴向的锥面方程为:

$$\cos^2 \varphi (x^2 + y^2 + z^2) - (lx + my + nz)^2 = 0;$$

轴向的方向余弦 l, m, n 为:

$$\begin{cases} l = \cos(Lat) \cos(Lon) \\ m = \cos(Lat) \sin(Lon) \\ n = \sin(Lat) \end{cases}$$

联立球面方程与锥面方程即为地心地固系下的球冠边界:

$$M_0 = \{(x, y, z) | x^2 + y^2 + z^2 = R_0^2, (\cos^2 \varphi)(x^2 + y^2 + z^2) - (lx + my + nz)^2 = 0, x \in R, y \in R, z \in R\};$$

由映射关系: $\begin{cases} lon = atan(y/x) \\ lat = asin(z/R_0) \end{cases}, M_0 \rightarrow M$, 集合 M 为球冠边界的经纬度点集构成边界的空间

数据模型, 边界内区域即卫星对地覆盖域;

所述卫星对空覆盖域边界的空间数据模型的求取方法包括:

同卫星对地覆盖域边界的空间数据模型的求取过程, 分别求得球带内边界空间数据模型 M_{in} 和球带外边界空间数据模型 M_{out} , 内外边界之间区域即为卫星对天球的覆盖域, 即为卫星对空覆盖域。

5. 根据权利要求4所述的一种极多层高效卫星覆盖性分析方法, 其特征在于, 所述步骤400空间数据模型的处理方法包括:

对球冠边界空间数据模型 M 、球带内边界空间数据模型 M_{in} 和球带外边界空间数据模型 M_{out} 分别进行修正, 已知任意两星下点的地心经度($LonA, LatA$), 地心纬度($LonB, LatB$)求距离公式为:

$$\begin{aligned} C &= \sin(LatA) * \sin(LatB) * \cos(LonA - LonB) + \cos(LatA) * \cos(LatB); \\ D &= R_0 * \text{acos}(C) * Pi / 180 \end{aligned};$$

其中, C 为过渡量, 没有物理含义, d_n 表示星下点距离北极点的距离可由上式求得, d_s 表示星下点距离南极点的距离可由上式求得, d_e 表示星下点距离 180° 经线的最短距离由GIS空间数据的拓扑运算获得;

记修正后的卫星对地覆盖域边界的空间数据模型为球冠边界空间数据模型 M' , 记修正后的卫星对空覆盖域内外边界的空间数据模型分别为球带内边界空间数据模型 M_{in}' 和球带外边界空间数据模型 M_{out}' ; 并全部进行墨卡托投影, 映射关系为:

$$\begin{cases} x = R_0 lon \\ y = R_0 \ln[\tan(\frac{\pi}{4} + \frac{lat}{2})] \end{cases}, M' \rightarrow M'', M_{in}' \rightarrow M_{in}'', M_{out}' \rightarrow M_{out}'';$$

获得覆盖域边界在墨卡托图上的空间数据模型, 分别为球冠边界空间数据模型 M'' , 球带内边界空间数据模型 M_{in}'' , 球带外边界空间数据模型 M_{out}'' 。

6. 根据权利要求3所述的一种极多层高效卫星覆盖性分析方法, 其特征在于, 所述步骤500包括:

步骤501、应用GIS制图技术将天球初始化为指定分辨率的墨卡托地图底图；

步骤502、在GIS上新建覆盖域可视化图层；

步骤503、在所述覆盖域可视化图层上,对M”或M_{in}”、M_{out}”采用基于方位角右转算法创建覆盖域的多边形几何对象；

步骤504、在所述覆盖域可视化图层上,以用户指定颜色及一定的透明度对所述多边形几何对象进行颜色填充,即可获得该卫星对天球的覆盖域墨卡托投影图；

步骤505、将星座中的其他卫星的覆盖域依次循环叠加在所述覆盖域可视化图层上,生成最终的星座覆盖图像。

7. 根据权利要求6所述的一种极多层高效卫星覆盖性分析方法,其特征在于,所述步骤600分析并获取所述星座覆盖图像的覆盖重数与RGB色彩模式的对应关系具体包括:

提取覆盖域可视化图层并读取图像R、G、B通道像素矩阵；

基于用户指定颜色分析像素与覆盖重数对应关系,覆盖性图中覆盖域颜色深浅与星座对该区域覆盖重数一一对应,具体算法如下:

设原图颜色为RGB_{old},新叠加颜色为RGB_{new},透明度为 α ,则新生成图颜色为:RGB=RGB_{old}*(1- α)+RGB_{new}* α 。

8. 根据权利要求7所述的一种极多层高效卫星覆盖性分析方法,其特征在于,所述步骤700的面密度矩阵求取方法包括:

对于目标天球的墨卡托投影图,纬线圈lat上各像元实际地理面积为 $a_0 = (2\pi R_0 \cos(\text{lat})/N)^2$,其中 $N = 256 * 2^n$,n为墨卡托地图层级;

利用投影逆变换求出矩阵某行上任一像素坐标对应纬度,则该行像元实际地理面积全部赋值为 a_0 ;

依此逐行赋值求得面密度矩阵A。

9. 根据权利要求8所述的一种极多层高效卫星覆盖性分析方法,其特征在于,所述步骤800覆盖需求权重矩阵还包括:

以覆盖域图像大小初始化全0权重矩阵;

根据不同的分析任务,进行不同的权重矩阵Q赋值;

分析局部覆盖面积及覆盖率,将该局部区域权重赋值为1,其余部分赋值为0;

分析全球覆盖面积及覆盖率,则权重矩阵赋值为全1矩阵;

分析综合覆盖性,则可根据不同地区覆盖性需求的差异对各区域赋不同权重值。

10. 根据权利要求9所述的一种极多层高效卫星覆盖性分析方法,其特征在于,所述步骤900覆盖域的覆盖性进行分析方法包括:

求解覆盖性矩阵,在覆盖域图像上分别检索各重覆盖对应RGB值,真值处赋值为1,否则赋值为0。从而获得各重覆盖性矩阵 $C_i (i = 1, 2, 3, \dots)$;

求解加权覆盖性矩阵 $C_{qi} = C_i * Q (i = 1, 2, 3, \dots)$;

求解覆盖性指标 $B_i = \sum \sum C_{qi} * A (i = 1, 2, 3, \dots)$;

在局部覆盖性分析中,所述覆盖性指标为局部各重覆盖面积,用各重覆盖面积分别除以局部总面积可获得局部各重覆盖率;

在全球覆盖性分析中,所述覆盖性指标为全球各重覆盖面积,用各重覆盖面积分别除以局部总面积可获得全球各重覆盖率;

在综合覆盖性分析中,所述覆盖性指标为各重覆盖综合指标;
基于所述覆盖性指标绘制覆盖性柱状图,输出覆盖性报告。

一种极多层高效卫星覆盖性分析方法

技术领域

[0001] 本发明实施例涉及卫星组网通信技术领域,具体涉及一种极多层高效卫星覆盖性分析方法。

背景技术

[0002] 卫星覆盖性分析广泛应用于卫星任务规划、成像侦察等航天任务中。尤其是星座覆盖性能分析,它是星座优化设计中的一个重要环节,对于复杂星座构型,由于星座的覆盖性能难以用解析的方法求解,因此统计的方法成为目前广泛使用的有效方法。

[0003] 传统星座覆盖性能统计方法最常用的是网格法,该方法是基于网格划分覆盖区域,逐点求解覆盖性,采样覆盖结果的基本思路,由于其覆盖性分析过程中采用逐点计算,因此覆盖性精度模拟与网格划分紧密耦合,网格划分细密时覆盖性分析精度提高,但计算量增大;网格划分粗略时,覆盖性分析精度下降,计算量减小。无法兼具高分析效率与高分析精度。

[0004] 随着天基互联网(如SPACEX的Starlink计划)的蓬勃发展,庞大星座(例如starlink计划发射40000多颗卫星组网)的星间可用链路分析需要同时具有极多层、极多点和高精度的覆盖性分析能力,现有方法在应对此问题时可能不再适用。

发明内容

[0005] 为此,本发明提供一种极多层高效卫星覆盖性分析方法,以解决现有技术中的问题。

[0006] 为了实现上述目的,本发明的实施方式提供如下技术方案:

[0007] 在本发明实施例的一个方面,提供了一种极多层高效卫星覆盖性分析方法,包括如下步骤:

[0008] 步骤100、获取卫星地面探测背景下对目标天球表面的覆盖域,以及卫星深空探测背景下对目标天球表面,分别记为卫星对地覆盖域和对空覆盖域,并且分别计算卫星对地覆盖域和对空覆盖域的地心角;

[0009] 步骤200、视地球为球心,把地心和卫星的连线与地球球面的交点定义为星下点,由球面三角公式得所述星下点的地心经度和地心纬度;

[0010] 步骤300、基于地心角、星下点的地心经度和地心纬度,求解卫星对地覆盖域和对空覆盖域边界的空间数据模型;

[0011] 步骤400、对所述卫星对地覆盖域和所述对空覆盖域的边界的空间数据模型依次进行分类修正和墨卡托投影处理,以获得覆盖域边界在墨卡托图上的空间数据模型;

[0012] 步骤500、通过GIS制图技术处理覆盖域边界在墨卡托图上的空间数据模型,获得卫星对天球的覆盖域墨卡托投影图,以及叠加多颗卫星覆盖域生成的星座覆盖图像;

[0013] 步骤600、分析并获取所述星座覆盖图像的覆盖重数与RGB色彩模式的对应关系;

[0014] 步骤700、求取所述星座覆盖图像上各个像素点所对应的实际地理面积以获取面

密度矩阵,并以星座覆盖图像大小初始化面密度矩阵,然后对面密度矩阵的每个元素赋值以求取面密度矩阵A;

[0015] 步骤800、求取覆盖域的覆盖需求权重矩阵,并对其进行赋值;

[0016] 步骤900、求解覆盖性矩阵,并对覆盖域的覆盖性进行分析。

[0017] 作为本发明的一种优选方案,所述步骤100中所述卫星对地覆盖域在地球表面是以星下点为圆心的球冠,所述卫星对空覆盖域在目标天球表面是以星下点为圆心的球带;

[0018] 卫星对地覆盖域地心角 $\varphi = \frac{\pi}{2} - \theta - \arccos\left(\frac{R_e + H_s}{R_e} \sin \theta\right)$;

[0019] 卫星对空覆盖域内环地心角 $\varphi_{\min} = \arccos\left(\frac{R_e}{R_e + H_s}\right) - \arccos\left(\frac{R_e}{R_e + H_h}\right)$;

[0020] 卫星对空覆盖域外环地心角 $\varphi_{\max} = \arccos\left(\frac{R_e}{R_e + H_s}\right) + \arccos\left(\frac{R_e}{R_e + H_h}\right)$;

[0021] 其中, θ 为卫星探测半锥角; R_e 为地球半径, H_s 为卫星高度; H_h 为目标天球高度。

[0022] 作为本发明的一种优选方案,所述步骤200中所述地心经度和所述地心纬度的求解公式为:

[0023]
$$\begin{cases} Lon = \arcsin(\sin i \sin u) \\ Lat = \Omega + \Delta\lambda - (G_0 + \omega_e \Delta t) \end{cases}$$
;

[0024] 其中, $\tan \Delta\lambda = \cos i \tan u$, i 为卫星轨道倾角, u 为 t 时刻卫星纬度幅角, Ω 为升交点赤经, G_0 为初始时刻 t_0 的格林尼治恒星时角, $\omega_e = 7.292115 \times 10^{-5}$ (rad/s)为地球自转角速度, $\Delta\lambda$ 与 u 同象限。

[0025] 作为本发明的一种优选方案,所述步骤300中卫星对地覆盖域边界的空间数据模型的求取方法包括:

[0026] 地心地固系下目标天球的球面方程为:

[0027] $x^2 + y^2 + z^2 = R_0^2$;其中 R_0 为天球半径;

[0028] 则以星下点与天球球心连线为轴向的锥面方程为:

[0029] $\cos^2 \varphi (x^2 + y^2 + z^2) - (lx + my + nz)^2 = 0$;

[0030] 轴向的方向余弦 l, m, n 为:

[0031]
$$\begin{cases} l = \cos(Lat) \cos(Lon) \\ m = \cos(Lat) \sin(Lon) \\ n = \sin(Lat) \end{cases}$$

[0032] 联立球面方程与锥面方程即为地心地固系下的球冠边界:

[0033] $M_0 = \{(x, y, z) | x^2 + y^2 + z^2 = R_0^2, (\cos^2 \varphi)(x^2 + y^2 + z^2) - (lx + my + nz)^2 = 0, x \in R, y \in R, z \in R\}$;

[0034] 由映射关系: $\begin{cases} lon = \text{atan}(y/x) \\ lat = \text{asin}(z/R_0) \end{cases}, M_0 \rightarrow M$,集合 M 为球冠边界的经纬度点集构成边界

的空间数据模型,边界内区域即卫星对地覆盖域;

[0035] 所述卫星对空覆盖域边界的空间数据模型的求取方法包括:

[0036] 同卫星对地覆盖域边界的空间数据模型的求取过程,分别求得球带内边界空间数据模型 M_{in} 和球带外边界空间数据模型 M_{out} ,内外边界之间区域即为卫星对天球的覆盖域,即为卫星对空覆盖域。

[0037] 作为本发明的一种优选方案,所述步骤400空间数据模型的处理方法包括:

[0038] 对球冠边界空间数据模型 M 、球带内边界空间数据模型 M_{in} 和球带外边界空间数据模型 M_{out} 分别进行修正,已知任意两星下点的地心经度($LonA, LatA$),地心纬度($LonB, LatB$)求距离公式为:

$$[0039] \quad \begin{aligned} C &= \sin(LatA) * \sin(LatB) * \cos(LonA - LonB) + \cos(LatA) * \cos(LatB); \\ D &= R_0 * \text{acos}(C) * Pi / 180 \end{aligned}$$

[0040] 其中, C 为过度量,没有物理含义, d_n 表示星下点距离北极点的距离可由上式求得, d_s 表示星下点距离南极点的距离可由上式求得, d_e 表示星下点距离 180° 经线的最短距离由GIS空间数据的拓扑运算获得;

[0041] 记修正后的卫星对地覆盖域边界的空间数据模型为球冠边界空间数据模型 M' ,记修正后的卫星对空覆盖域内外边界的空间数据模型分别为球带内边界空间数据模型 M_{in}' 和球带外边界空间数据模型 M_{out}' ;并全部进行墨卡托投影,映射关系为:

$$[0042] \quad \begin{cases} x = R_0 lon \\ y = R_0 \ln[\tan(\frac{\pi}{4} + \frac{lat}{2})] \end{cases}, M' \rightarrow M'', M_{in}' \rightarrow M_{in}'', M_{out}' \rightarrow M_{out}'';$$

[0043] 获得覆盖域边界在墨卡托图上的空间数据模型,分别为球冠边界空间数据模型 M'' ,球带内边界空间数据模型 M_{in}'' ,球带外边界空间数据模型 M_{out}'' 。

[0044] 作为本发明的一种优选方案,所述步骤500包括:

[0045] 步骤501、应用GIS制图技术将天球初始化为指定分辨率的墨卡托地图底图;

[0046] 步骤502、在GIS上新建覆盖域可视化图层;

[0047] 步骤503、在所述覆盖域可视化图层上,对 M'' 或 M_{in}'' 、 M_{out}'' 采用基于方位角右转算法创建覆盖域的多边形几何对象;

[0048] 步骤504、在所述覆盖域可视化图层上,以用户指定颜色及一定的透明度对所述多边形几何对象进行颜色填充,即可获得该卫星对天球的覆盖域墨卡托投影图;

[0049] 步骤505、将星座中的其他卫星的覆盖域依次循环叠加在所述覆盖域可视化图层上,生成最终的星座覆盖图像。

[0050] 作为本发明的一种优选方案,所述步骤600分析并获取所述星座覆盖图像的覆盖重数与RGB色彩模式的对应关系具体包括:

[0051] 提取覆盖域可视化图层并读取图像R、G、B通道像素矩阵;

[0052] 基于用户指定颜色分析像素与覆盖重数对应关系,覆盖性图中覆盖域颜色深浅与星座对该区域覆盖重数一一对应,具体算法如下:

[0053] 设原图颜色为 RGB_old ,新叠加颜色为 RGB_new ,透明度为 α ,则新生成图颜色为: $RGB = RGB_old * (1 - \alpha) + RGB_new * \alpha$ 。

[0054] 作为本发明的一种优选方案,所述步骤700的面密度矩阵求取方法包括:

[0055] 对于目标天球的墨卡托投影图,纬线圈 lat 上各像元实际地理面积为 $a_0 = (2\pi R_0 \cos(lat) / N)^2$,其中 $N = 256 * 2^n$, n 为墨卡托地图层级;

- [0056] 利用投影逆变换求出矩阵某行上任一像素坐标对应纬度,则该行像元实际地理面积全部赋值为 a_0 ;
- [0057] 依此逐行赋值求得面密度矩阵A。
- [0058] 作为本发明的一种优选方案,所述步骤800覆盖需求权重矩阵还包括:
- [0059] 以覆盖域图像大小初始化全0权重矩阵;
- [0060] 根据不同的分析任务,进行不同的权重矩阵Q赋值;
- [0061] 分析局部覆盖面积及覆盖率,将该局部区域权重赋值为1,其余部分赋值为0;
- [0062] 分析全球覆盖面积及覆盖率,则权重矩阵赋值为全1矩阵;
- [0063] 分析综合覆盖性,则可根据不同地区覆盖性需求的差异对各区域赋不同权重值。
- [0064] 作为本发明的一种优选方案,所述步骤900覆盖域的覆盖性进行分析方法包括:
- [0065] 求解覆盖性矩阵,在覆盖域图像上分别检索各重覆盖对应RGB值,真值处赋值为1,否则赋值为0。从而获得各重覆盖性矩阵 $C_i (i=1,2,3,\dots)$;
- [0066] 求解加权覆盖性矩阵 $C_{qi}=C_i*Q (i=1,2,3,\dots)$;
- [0067] 求解覆盖性指标 $B_i = \sum \sum C_{qi}*A (i=1,2,3,\dots)$;
- [0068] 在局部覆盖性分析中,所述覆盖性指标为局部各重覆盖面积,用各重覆盖面积分别除以局部总面积可获得局部各重覆盖率;
- [0069] 在全球覆盖性分析中,所述覆盖性指标为全球各重覆盖面积,用各重覆盖面积分别除以局部总面积可获得全球各重覆盖率;
- [0070] 在综合覆盖性分析中,所述覆盖性指标为各重覆盖综合指标;
- [0071] 基于所述覆盖性指标绘制覆盖性柱状图,输出覆盖性报告。
- [0072] 本发明的实施方式具有如下优点:
- [0073] 本发明可以快速、精确的确定卫星/星座对地、对空两种探测模式下任一时刻的覆盖性指标,为星座的覆盖性分析提供依据,也对基于星座覆盖性的星座优化问题提供了有效的技术支撑。

附图说明

- [0074] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是示例性的,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图引伸获得其它的实施附图。
- [0075] 图1为本发明提供的方法流程示意图;
- [0076] 图2为本发明实施例中卫星对地覆盖域的模型平面和立体示意图;
- [0077] 图3为本发明实施例中卫星对空覆盖域的模型平面和立体示意图。

具体实施方式

- [0078] 以下由特定的具体实施例说明本发明的实施方式,熟悉此技术的人士可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点及功效,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0079] 本发明提供一种极多层高效卫星覆盖性分析方法,主要是由目标任务确定目标天球,分析对地面的覆盖性,则目标天球半径为地球半径,探讨对空间覆盖性,则目标天球半径为空间天球。

[0080] 由不同的探测背景,选择不同的覆盖模型。同时由卫星轨道方程求得卫星轨道及星下点。结合星下点与天球覆盖模型,求得覆盖域边界空间数据模型,基于GIS及本发明中分类修正法对空间数据模型修正、墨卡托投影后进行GIS制图。

[0081] 由卫星覆盖性图层结合相应投影的面密度矩阵及由目标任务决定的权重矩阵得出覆盖性分析报告。

[0082] 具体的,如图1所示,本发明的方法包括如下步骤:

[0083] 步骤100、获取卫星地面探测背景下对目标天球表面的覆盖域,以及卫星深空探测背景下对目标天球表面,分别记为卫星对地覆盖域和对空覆盖域,并且分别计算卫星对地覆盖域和对空覆盖域的地心角;如图2的a和b所示,分别表示卫星对地覆盖域的覆盖性模型的平面示意图和立体图;图3的a和b分别表示卫星对空覆盖域的覆盖性模型的平面示意图和立体图。

[0084] 卫星对地覆盖域在地球表面是以星下点为圆心的球冠,所述卫星对空覆盖域在目标天球表面是以星下点为圆心的球带;

[0085] 卫星对地覆盖域地心角 $\varphi = \frac{\pi}{2} - \theta - \arccos\left(\frac{R_e + H_s}{R_e} \sin \theta\right)$;

[0086] 卫星对空覆盖域内环地心角 $\varphi_{\min} = \arccos\left(\frac{R_e}{R_e + H_s}\right) - \arccos\left(\frac{R_e}{R_e + H_h}\right)$;

[0087] 卫星对空覆盖域外环地心角 $\varphi_{\max} = \arccos\left(\frac{R_e}{R_e + H_s}\right) + \arccos\left(\frac{R_e}{R_e + H_h}\right)$;

[0088] 其中, θ 为卫星探测半锥角; R_e 为地球半径, H_s 为卫星高度; H_h 为目标天球高度。

[0089] 步骤200、视地球为球心,把地心和卫星的连线与地球球面的交点定义为星下点,由球面三角公式得所述星下点的地心经度和地心纬度;

[0090] 所述地心经度和所述地心纬度的求解公式为:

[0091]
$$\begin{cases} Lon = \arcsin(\sin i \sin u) \\ Lat = \Omega + \Delta\lambda - (G_0 + \omega_e \Delta t) \end{cases}$$

[0092] 其中, $\tan \Delta\lambda = \cos i \tan u$, i 为卫星轨道倾角, u 为 t 时刻卫星纬度幅角, Ω 为升交点赤经, G_0 为初始时刻 t_0 的格林尼治恒星时角, $\omega_e = 7.292115 \times 10^{-5}$ (rad/s)为地球自转角速度, $\Delta\lambda$ 与 u 同象限。

[0093] 步骤300、基于地心角、星下点的地心经度和地心纬度,求解卫星对地覆盖域和对空覆盖域边界的空间数据模型;

[0094] 卫星对地覆盖域边界的空间数据模型的求取方法包括:

[0095] 地心地固系下目标天球的球面方程为:

[0096] $x^2 + y^2 + z^2 = R_0^2$,其中 R_0 为天球半径;

[0097] 则以星下点与天球球心连线为轴向的锥面方程为:

$$[0098] \quad \cos^2 \varphi (x^2 + y^2 + z^2) - (lx + my + nz)^2 = 0 ;$$

[0099] 轴向的方向余弦 l, m, n 为:

$$[0100] \quad \begin{cases} l = \cos(Lat) \cos(Lon) \\ m = \cos(Lat) \sin(Lon) \\ n = \sin(Lat) \end{cases}$$

[0101] 联立球面方程与锥面方程即为地心地固系下的球冠边界:

$$[0102] \quad M_0 = \{(x, y, z) | x^2 + y^2 + z^2 = R_0^2, (\cos^2 \varphi)(x^2 + y^2 + z^2) - (lx + my + nz)^2 = 0, x \in R, y \in R, z \in R\};$$

[0103] 由映射关系: $\begin{cases} lon = atan(y/x) \\ lat = asin(z/R_0) \end{cases}, M_0 \rightarrow M$, 集合 M 为球冠边界的经纬度点集构成边界

的空间数据模型, 边界内区域即卫星对地覆盖域;

[0104] 所述卫星对空覆盖域边界的空间数据模型的求取方法包括:

[0105] 同卫星对地覆盖域边界的空间数据模型的求取过程, 分别求得球带内边界空间数据模型 M_{in} 和球带外边界空间数据模型 M_{out} , 内外边界之间区域即为卫星对天球的覆盖域, 即为卫星对空覆盖域。

[0106] 步骤400、对所述卫星对地覆盖域和所述对空覆盖域的边界的空间数据模型依次进行分类修正和墨卡托投影处理, 以获得覆盖域边界在墨卡托图上的空间数据模型;

[0107] 空间数据模型的处理方法包括:

[0108] 对球冠边界空间数据模型 M 、球带内边界空间数据模型 M_{in} 和球带外边界空间数据模型 M_{out} 分别进行修正, 已知任意两星下点的地心经度($LonA, LatA$), 地心纬度($LonB, LatB$)求距离公式为:

$$[0109] \quad \begin{aligned} C &= \sin(LatA) * \sin(LatB) * \cos(LonA - LonB) + \cos(LatA) * \cos(LatB); \\ D &= R_0 * \arccos(C) * \pi / 180 \end{aligned}$$

[0110] 其中, C 为过度量, 没有物理含义, d_n 表示星下点距离北极点的距离可由上式求得, d_s 表示星下点距离南极点的距离可由上式求得, d_e 表示星下点距离 180° 经线的最短距离由GIS空间数据的拓扑运算获得;

[0111] 记修正后的卫星对地覆盖域边界的空间数据模型为球冠边界空间数据模型 M' , 记修正后的卫星对空覆盖域内外边界的空间数据模型分别为球带内边界空间数据模型 M_{in}' 和球带外边界空间数据模型 M_{out}' ; 并全部进行墨卡托投影, 映射关系为:

$$[0112] \quad \begin{cases} x = R_0 lon \\ y = R_0 \ln[\tan(\frac{\pi}{4} + \frac{lat}{2})] \end{cases}, M' \rightarrow M'', M_{in}' \rightarrow M_{in}'', M_{out}' \rightarrow M_{out}'';$$

[0113] 获得覆盖域边界在墨卡托图上的空间数据模型, 分别为球冠边界空间数据模型 M'' , 球带内边界空间数据模型 M_{in}'' , 球带外边界空间数据模型 M_{out}'' 。

[0114] 记卫星对地覆盖域的球面半径为 r , 卫星对地覆盖域的边界点集在墨卡托图上投影包括三类:

[0115] 第一类, $d_n > r, d_s > r, d_e \geq r$, 这种情况下 $M' = M$;

[0116] 第二类: $d_n > r, d_s > r, d_e < r$, 这种情况下,

[0117] 东半球几何对象的数据模型为:

$$[0118] \quad M'_r = \{(lon, lat) \mid lon > 0, lon \in M, lat \in M\}$$

[0119] 西半球几何对象的数据模型为:

$$[0120] \quad M'_l = \{(lon, lat) \mid lon < 0, lon \in M, lat \in M\}$$

[0121] 第三类: $d_n \leq r$ 或 $d_s \leq r$, 这种情况下, $M' = M \cup M_1 \cup M_2 \cup M_3$;

$$[0122] \quad \text{其中北极: } \begin{cases} M_1 = \{(lon, lat) \mid lon = -180^\circ, lat_0 < lat \leq 90^\circ\} \\ M_2 = \{(lon, lat) \mid -180^\circ \leq lon \leq 180^\circ, lat = 90^\circ\} \\ M_3 = \{(lon, lat) \mid lon = 180^\circ, lat_0 < lat \leq 90^\circ\} \end{cases}$$

$$[0123] \quad \text{南极: } \begin{cases} M_1 = \{(lon, lat) \mid lon = -180^\circ, -90^\circ \leq lat < lat_0\} \\ M_2 = \{(lon, lat) \mid -180^\circ \leq lon \leq 180^\circ, lat = -90^\circ\} \\ M_3 = \{(lon, lat) \mid lon = 180^\circ, -90^\circ \leq lat < lat_0\} \end{cases}$$

[0124] lat_0 为覆盖域边界与 180° 经线交点纬度。

[0125] 作为本发明的一种优选方案, 记卫星对空覆盖域的内环球面半径为 r_{in} , 外环球面半径为 r_{out} , 卫星对空覆盖域的边界点集在墨卡托图上投影包括五类:

[0126] 第一类: $d_n > r_{out}, d_s > r_{out}, d_e > r_{out}$, 这种情况下 $M_{in}' = M_{in}, M_{out}' = M_{out}$;

[0127] 第二类: $d_n > r_{in}, d_s > r_{in}, d_e \geq r_{in}, d_n \leq r_{out}$ 或 $d_s \leq r_{out}$, 这种情况下:

$$[0128] \quad M_{in}' = M_{in}, M_{out}' = M_{out} \cup M_1 \cup M_2 \cup M_3。$$

[0129] 第三类: $d_n \leq r_{in}$ 或 $d_s \leq r_{in}, d_n \leq r_{out}$ 或 $d_s \leq r_{out}$, 这种情况下:

$$[0130] \quad M_{in}' = M_{in} \cup M_1 \cup M_2 \cup M_3, M_{out}' = M_{out} \cup M_1 \cup M_2 \cup M_3;$$

[0131] 第四类: $d_e \geq r_{in}, d_n > r_{out}, d_s > r_{out}, d_e < r$, 这种情况下:

[0132] 星下点经度 $Lon > 0$ 时:

[0133] 东半球几何对象的数据模型为:

$$[0134] \quad M'_{inr} = M_{in}, M'_{outr} = \{(lon, lat) \mid lon > 0, lon \in M_{out}, lat \in M_{out}\};$$

[0135] 西半球几何对象的数据模型为:

$$[0136] \quad M'_{outl} = \{(lon, lat) \mid lon < 0, lon \in M_{out}, lat \in M_{out}\}$$

[0137] 星下点经度 $Lon < 0$ 时:

[0138] 东半球几何对象的数据模型为:

$$[0139] \quad M'_{outr} = \{(lon, lat) \mid lon > 0, lon \in M_{out}, lat \in M_{out}\}$$

[0140] 西半球几何对象的数据模型为:

$$[0141] \quad M'_{inl} = M_{in}, M'_{outl} = \{(lon, lat) \mid lon < 0, lon \in M_{out}, lat \in M_{out}\}$$

[0142] 第五类: $d_e < r_{in}, d_n > r_{out}, d_s > r_{out}$, 这种情况下:

[0143] 东半球几何对象的数据模型为:

$$[0144] \quad M'_{inr} = \{(lon, lat) \mid lon > 0, lon \in M_{in}, lat \in M_{in}\}$$

$$[0145] \quad M'_{outr} = \{(lon, lat) \mid lon > 0, lon \in M_{out}, lat \in M_{out}\}$$

[0146] 西半球几何对象的数据模型为:

$$[0147] \quad M'_{inl} = \{(lon, lat) \mid lon < 0, lon \in M_{in}, lat \in M_{in}\}$$

$$[0148] \quad M'_{outl} = \{(lon, lat) \mid lon < 0, lon \in M_{out}, lat \in M_{out}\}。$$

[0149] 步骤500、通过GIS制图技术处理覆盖域边界在墨卡托图上的空间数据模型, 获得

卫星对天球的覆盖域墨卡托投影图,以及叠加多颗卫星覆盖域生成的星座覆盖图像;具体包括:

[0150] 步骤501、应用GIS制图技术将天球初始化为指定分辨率的墨卡托地图底图;

[0151] 步骤502、在GIS上新建覆盖域可视化图层;

[0152] 步骤503、在所述覆盖域可视化图层上,对 M'' 或 M_{in}'' 、 M_{out}'' 采用基于方位角右转算法创建覆盖域的多边形几何对象;基于 M'' 创建的几何对象为简单实心多边形,基于 M_{in}'' 、 M_{out}'' 创建的为空心多边形;

[0153] 方位角右转算法还可以用其他算法代替,相应实现算法还有基于图模型的多边形自动并行构建算法、基于夹角变化趋势的多边形自动生成算法、基于拓扑信息的多边形数据自动生成算法(PG-TI)等;

[0154] 步骤504、在所述覆盖域可视化图层上,以用户指定颜色及一定的透明度对所述多边形几何对象进行颜色填充,即可获得该卫星对天球的覆盖域墨卡托投影图;对所述多边形几何对象进行颜色填充采用的算法包括内部点扩散算法、复数积分算法、射线算法、扫描算法和边界代数算法;

[0155] 步骤505、将星座中的其他卫星的覆盖域依次循环叠加在所述覆盖域可视化图层上,生成最终的星座覆盖图像。

[0156] 以上步骤100-步骤500主要通过对覆盖域边界的空间数据模型进行分类修正,使其可以直接基于方位角算法创建覆盖域边界几何对象进行区域填充,无需对区域内逐点进行覆盖性判定,这在分析时间上优于传统方法,可以将卫星覆盖域快速可视化。

[0157] 本发明覆盖域边界基于矢量数据确定,这保证了覆盖域的精确表达,网格法基于网格划分进行覆盖域确定,网格划分较大时覆盖域边界无法保持足够的精度。

[0158] 步骤600、分析并获取所述星座覆盖图像的覆盖重数与RGB色彩模式的对应关系;具体包括:

[0159] 提取覆盖域可视化图层并读取图像R、G、B通道像素矩阵;

[0160] 基于用户指定颜色分析像素与覆盖重数对应关系,覆盖性图中覆盖域颜色深浅与星座对该区域覆盖重数一一对应,具体算法如下:

[0161] 设原图颜色为 RGB_old ,新叠加颜色为 RGB_new ,透明度为 α ,则新生成图颜色为: $RGB = RGB_old * (1 - \alpha) + RGB_new * \alpha$;

[0162] 例如白色底图(255,255,255)叠加透明度为0.2的蓝色(0,0,255)覆盖域,则 m 重覆盖域R、G、B颜色分别为:

[0163] $R = G = 255 * (1 - 0.2)^m$

[0164] $B = 255$ 。具体如下表:

[0165]	1 重	(204, 204, 255)
	2 重	(163, 163, 255)
	3 重	(130, 130, 255)
	4 重	(104, 104, 255)
	5 重	(83, 83, 255)
	...	

[0166] 步骤700、求取所述星座覆盖图像上各个像素点所对应的实际地理面积以获取面密度矩阵,并以星座覆盖图像大小初始化面密度矩阵,然后对面密度矩阵的每个元素赋值以求取面密度矩阵A;面密度矩阵求取方法包括:

[0167] 对于目标天球的墨卡托投影图,纬线圈lat上各像元实际地理面积为 $a_0 = (2\pi R_0 \cos(\text{lat})/N)^2$,其中 $N = 256 * 2^n$,n为墨卡托地图层级;

[0168] 利用投影逆变换求出矩阵某行上任一像素坐标对应纬度,则该行像元实际地理面积全部赋值为 a_0 ;

[0169] 依此逐行赋值求得面密度矩阵A。

[0170] 步骤800、求取覆盖域的覆盖需求权重矩阵,并对其进行赋值;

[0171] 以覆盖域图像大小初始化全0权重矩阵;

[0172] 根据不同的分析任务,进行不同的权重矩阵Q赋值;

[0173] 分析局部覆盖面积及覆盖率,将该局部区域权重赋值为1,其余部分赋值为0;

[0174] 分析全球覆盖面积及覆盖率,则权重矩阵赋值为全1矩阵;

[0175] 分析综合覆盖性,则可根据不同地区覆盖性需求的差异对各区域赋不同权重值。

[0176] 步骤900、求解覆盖性矩阵,并对覆盖域的覆盖性进行分析,具体的:

[0177] 先求解覆盖性矩阵,在覆盖域图像上分别检索各重覆盖对应RGB值,真值处赋值为1,否则赋值为0。从而获得各重覆盖性矩阵 $C_i (i = 1, 2, 3, \dots)$;

[0178] 然后求解加权覆盖性矩阵 $C_{qi} = C_i * Q (i = 1, 2, 3, \dots)$;

[0179] 再求解覆盖性指标 $B_i = \sum \sum C_{qi} * A (i = 1, 2, 3, \dots)$;

[0180] 在局部覆盖性分析中,所述覆盖性指标为局部各重覆盖面积,用各重覆盖面积分别除以局部总面积可获得局部各重覆盖率;

[0181] 在全球覆盖性分析中,所述覆盖性指标为全球各重覆盖面积,用各重覆盖面积分别除以局部总面积可获得全球各重覆盖率;

[0182] 在综合覆盖性分析中,所述覆盖性指标为各重覆盖综合指标;

[0183] 基于所述覆盖性指标绘制覆盖性柱状图,输出覆盖性报告。

[0184] 本发明可以快速、精确的确定卫星/星座对地、对空两种探测模式下任一时刻的覆盖性指标,为星座的覆盖性分析提供依据,也对基于星座覆盖性的星座优化问题提供了有效的技术支撑。

[0185] 虽然,上文中已经用一般性说明及具体实施例对本发明作了详尽的描述,但在本发明基础上,可以对之作一些修改或改进,这对本领域技术人员而言是显而易见的。因此,在不偏离本发明精神的基础上所做的这些修改或改进,均属于本发明要求保护的范围。

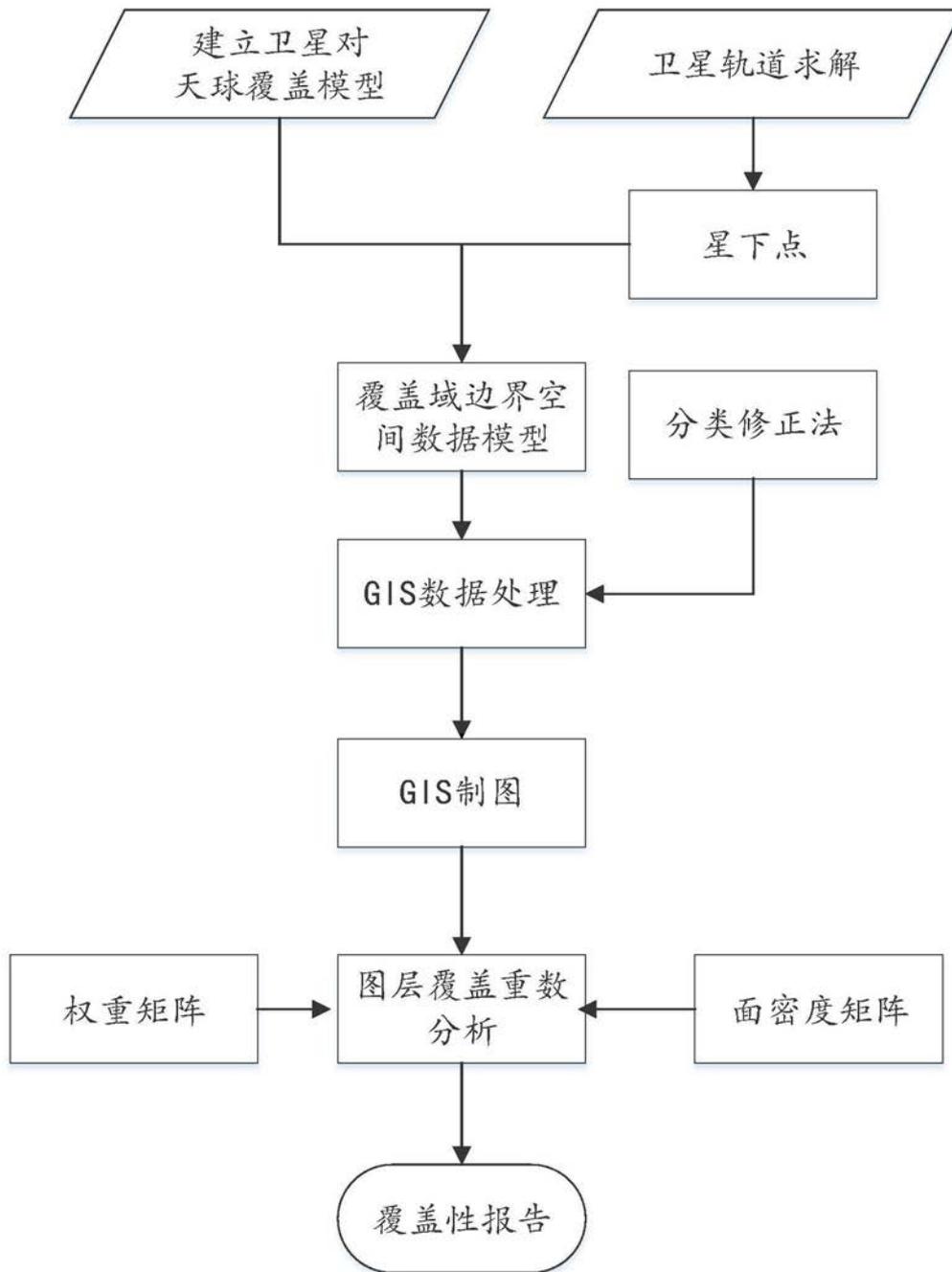


图1

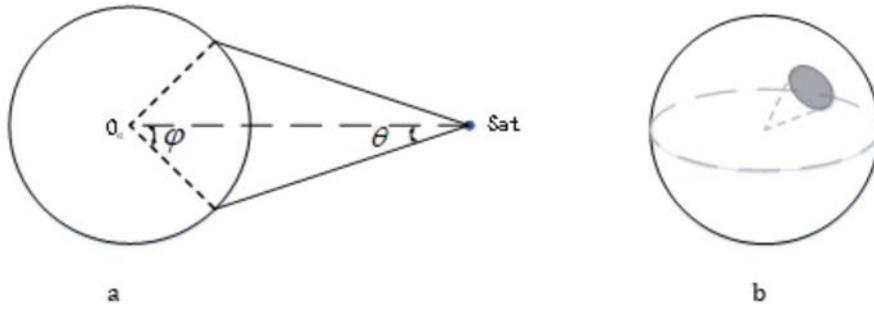


图2

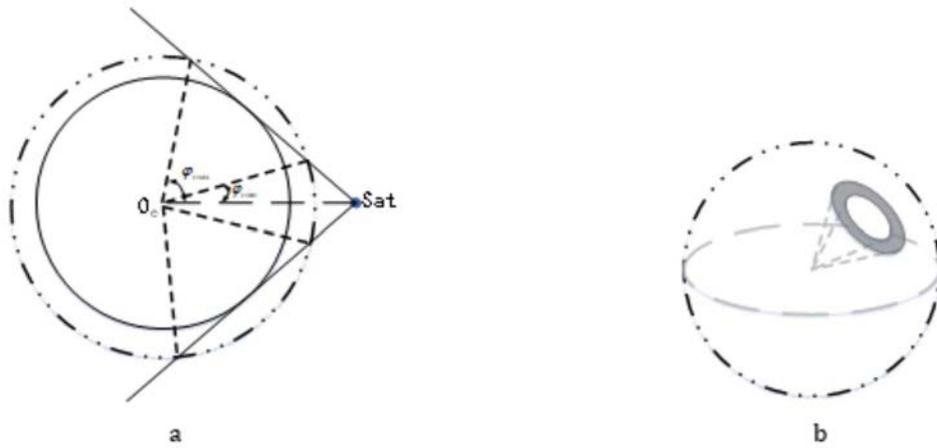


图3