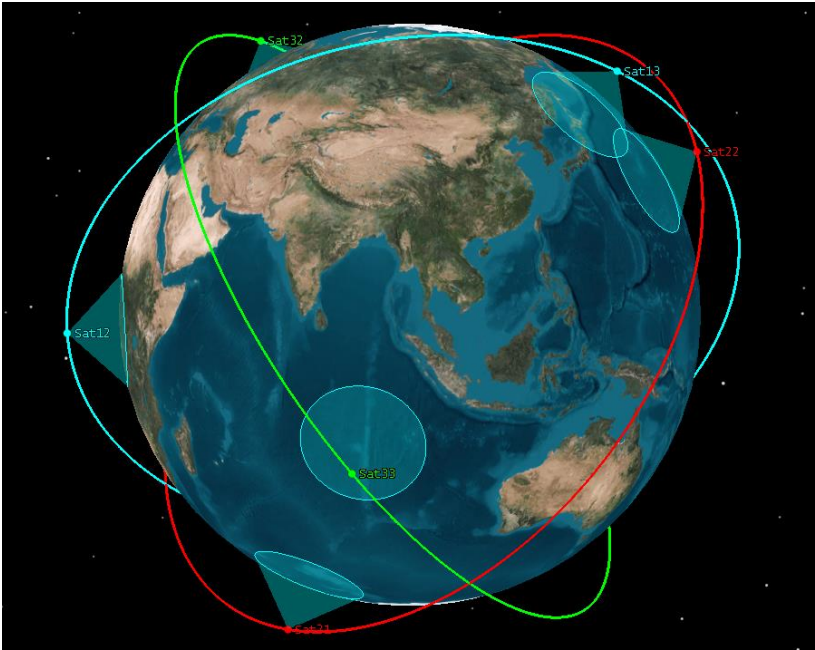


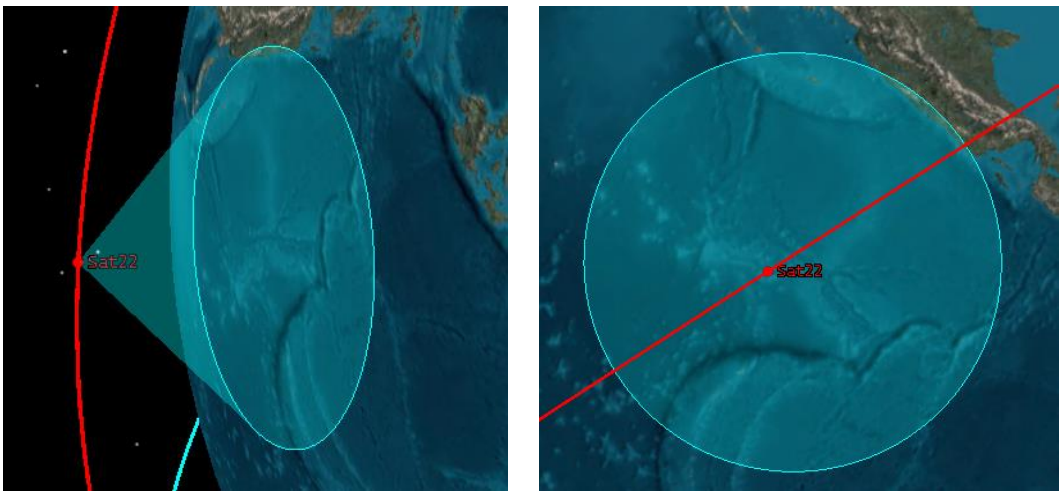
卫星对地覆盖计算及任务规划

1、问题背景

当前，卫星移动通信、气象预报、遥感探测、军事侦察、资源勘探、灾害监测、导航定位等多个领域发挥着越来越重要的作用。而且，在一般的航天任务应用中，我们往往需要使用一群卫星共同来完成任务。将一群卫星的集合，称作卫星星座，如图所示。



考虑一个场景：空间中，有多颗卫星绕地球运行，每颗卫星上都携带有一个传感器，其服务范围可以近似成一个圆锥形的区域。该锥形区域在地面上的投影为球面圆形的（注：是球面圆，不是平面圆）。如果该时刻，地面目标在该圆形区域内，则卫星可以对该地面目标提供服务，称作“地面目标在该时刻被卫星覆盖”。其情形如图所示。



由于卫星在空间高速运行，使得卫星在不同时刻的对地服务区域是不断变化的。现要求分析多颗卫星对多个地面目标覆盖服务的性能。

2、问题求解

2.1 卫星对目标的可见时间窗口计算

卫星对一个地面点目标的时间窗口，是指在某个指定的仿真周期内，卫星对点目标可以提供服务的时间段的集合。可见时间窗口可以表示为一个区间的形式，如[2021-01-01 05:16:17 2021-01-01 05:19:33]，在该区间范围内的任意时刻卫星都能够对目标提供服务。

卫星星座对地面点目标的可见时间窗口，是星座中每颗卫星对地面点目标可见时间窗口的并集。

对于一个地面点目标，在某个时刻存在多颗卫星对其进行覆盖，则称点目标在该时刻被多重覆盖。点目标被多重覆盖的时间段集合，称作多重覆盖时间窗口。

要求完成如下操作：

（1）计算卫星星座对每个点目标的可见时间窗口，以及对每个点目标的重重覆盖时间窗口，将结果用以可视化形式展示出来。

（2）计算卫星星座对每个点目标的覆盖时间间隙，并统计每个点目标时间间隙的最大值和平均值，并将结果用以可视化形式展示出来。

其中，需要计算的地面点目标集合数据为：

目标名称	经度（度）	纬度（度）
Abidjan	longitude="-4.02"	latitude="5.32"
Accra	longitude="-0.2"	latitude="5.56"
Asmara	longitude="15.33"	latitude="38.97"
Balikpapan	longitude="116.86"	latitude="-1.21"
Bozeman	longitude="-111.04"	latitude="45.68"
Crystal-Lake	longitude="-88.33"	latitude="42.23"
Elk-City	longitude="-99.41"	latitude="35.4"
Hanahan	longitude="-80.01"	latitude="32.93"
Iquique	longitude="-69.91"	latitude="-20.26"
Lhasa	longitude="91.13"	latitude="29.65"
Madras	longitude="80.25"	latitude="13.06"
Manaus	longitude="-60.01"	latitude="-3.12"
Mangalore	longitude="75.16"	latitude="12.95"
Minsk	longitude="27.58"	latitude="53.9"
Munchen	longitude="11.54"	latitude="48.14"
Munchen	longitude="48.14"	latitude="11.54"
Parole	longitude="-76.55"	latitude="38.98"
Recife	longitude="-34.91"	latitude="-8.09"
Rio-de-Janeiro	longitude="-43.46"	latitude="-22.72"
Sarajevo	longitude="18.43"	latitude="43.87"

Wallingford-Center	longitude="-72.82"	latitude="41.45"
Yaounde	longitude="11.51"	latitude="3.87"
北京	longitude="116.39"	latitude="39.91"
南宁	longitude="108.33"	latitude="22.8"
武汉	longitude="114.28"	latitude="30.57"

2.2 卫星星座对区域的覆盖率计算

对于一个区域，我们想知道在一个时间段内，卫星星座对它可见的范围有多少。我们常使用覆盖率这一指标。所谓卫星对区域的覆盖率，等于被覆盖的面积与区域总面积之比。

然而，要直接计算区域目标被卫星群覆盖的面积是较为困难的，因为需要将区域与球面圆相交求相交面积。因此，为了计算星座对区域的覆盖率，我们可以将区域目标划分为若干个小的网格，通过计算每个网格是否被卫星覆盖，从而得到覆盖率的计算结果。

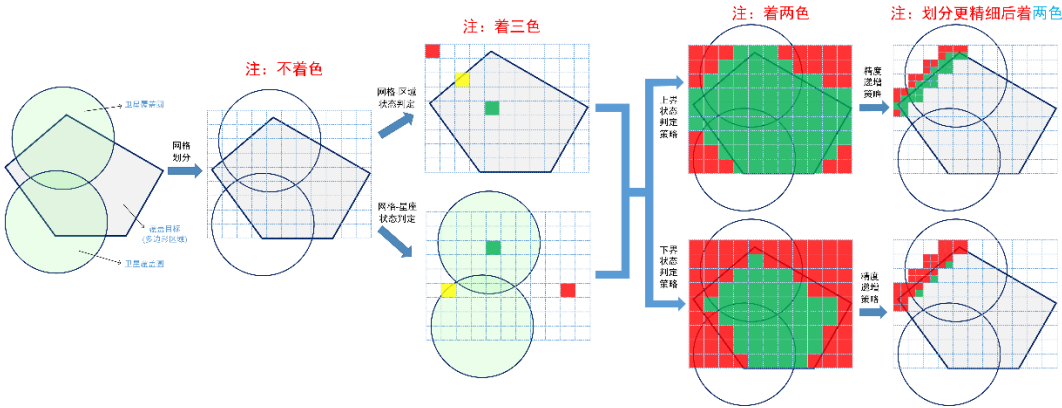
如何判断网格是否被某颗卫星覆盖？假设网格大小远小于卫星覆盖范围时，我们只需要判断网格的四个顶点是否被卫星覆盖即可。如果四个顶点都被卫星覆盖，则该网格被卫星覆盖。如果四个顶点都没有被卫星覆盖，则网格没有被卫星覆盖。如果四个顶点有部分被卫星覆盖，有部分没有被卫星覆盖，则网格状态不确定。

对于不确定的网格，我们可以将网格一分为四，然后判断新的网格是否会被卫星覆盖，直到不确定的网格面积之和与总面积之比小于 0.1%停止。注意，完全覆盖或者完全没有覆盖的网格，不需要继续判断。该过程是一个分治的过程。

通过上述过程，我们可以得到在任意时刻，卫星星座对目标的瞬时覆盖面积与区域总的面积之比，即星座对目标的瞬时覆盖率。

要求完成如下操作：

- （1）计算每个时刻的瞬时覆盖率，并将结果绘制成曲线。
- （2）对于仿真周期内的某个时刻，将该时刻区域内被覆盖的网格，不被覆盖的网格，不确定的网格用不同的颜色绘制出来。能够将不同时刻的覆盖率结果，以动态形式展现出来（即添加时间，能够对时间进行调整，让时间流动）结果大致呈现如下效果：



注：以上计算是在球面上的，而不是在平面上的，因此，面积也是球面面积。球面网格的面积，不是长乘以宽，而是需要通过简单积分公式积出来，否则会造成结果极大误差。

其中，需要计算的地面区域目标数据为：一个经纬度矩形范围。经度区间为 75°E-135°E，纬度区间为 0°N-55°N。

2.3 卫星星座对点目标观测任务的调度规划

该问题可以描述为在 m 个互不相同的卫星上（资源集合 \mathbf{R} ）安排 n 个观测任务（点目标集合 \mathbf{M} ）。对每个观测目标 $M_i \in \mathbf{M}$ ，只有部分卫星可以满足其执行要求，因此，需要为尽可能多的目标选择某一个观测资源 $R_j \in \mathbf{R}$ ，以及一个对应的执行时间段 $[Beg_i, End_i]$ 。此外，观测目标 M_i 在占用资源 R_j 时具有一组互不相交的时间窗口集约束，且只能在其中的一个时间窗口内不中断地执行完成。如果目标 M_i 和目标 $M_{i'}$ 在执行过程中占用同一个资源 R_j ，且目标 M_i 在目标 $M_{i'}$ 之前执行，那么目标 M_i 执行完成后，必须经过一个转换时间 Δt ，观测 $M_{i'}$ 才能开始执行。每个目标 M_i 都有权值 w_i ，代表该观测目标安排时的效益值。由于资源能力及时间的限制，并不是所有的观测目标都能够被安排。

一个最优调度方案应满足以下条件：

- （1）每个观测目标只能在自己的可见时间窗口内执行，否则，认为该目标未安排；
- （2）每个观测目标只能占用满足其要求的资源集合中的一个资源，且执行过程不能中断；
- （3）每个卫星资源在任何时候只能同时满足一个目标的观测需求；
- （4）所有被安排观测目标的总权值最大。

共 5 组测试算例：

仿真周期：[2022-01-01 11:00:00, 2022-01-01 12:30:00]			
卫星文件	Sat0, Sat6	目标文件	target1.txt
仿真周期：[2022-01-01 00:00:00, 2022-01-01 06:00:00]			
卫星文件	Sat0, Sat1, Sat2	目标文件	target2.txt
仿真周期：[2022-01-01 11:00:00, 2022-01-01 15:00:00]			
卫星文件	Sat0, Sat1, Sat3, Sat4, Sat5	目标文件	target3.txt
仿真周期：[2022-01-01 16:00:00, 2022-01-01 19:00:00]			
卫星文件	Sat3, Sat4, Sat5, Sat6, Sat7, Sat8	目标文件	target4.txt
仿真周期：[2022-01-01 00:00:00, 2022-01-01 12:00:00]			
卫星文件	Sat0, Sat1, Sat2, ..., Sat6, Sat7, Sat8	目标文件	target5.txt

在任务规划的过程中，同一个卫星上连续的两个观测目标之间需要满足最小转换时长约束。假设卫星 Sat0 上观测任务的最小转换时长为 30 秒，则表明卫星

Sat0 在观测完一个目标后至少需要等待 30 秒后才可以观测下一个目标，而在这 30 秒内卫星不可以用来做其他的事情。所有卫星的转换时长约束如下表所示。

卫星资源	Sat0	Sat1	Sat2	Sat3	Sat4	Sat5	Sat6	Sat7	Sat8
任务间最小转换时长	30 秒	30 秒	30 秒	35 秒	35 秒	35 秒	25 秒	25 秒	25 秒

针对某一场景和一组用户请求，经过调度预处理操作，可生成如表所示的卫星与目标之间的可见时间窗口约束集，如表所示。

T1		...	Tn
$tw_{i,k}^1$	$[ws_{1,k}^1, we_{1,k}^1]$		$[ws_{n,k}^1, we_{n,k}^1]$
$tw_{i,k}^2$	$[ws_{1,k}^2, we_{1,k}^2]$		$[ws_{n,k}^2, we_{n,k}^2]$
...
$tw_{i,k}^j$	$[ws_{1,k}^j, we_{1,k}^j]$		$[ws_{n,k}^j, we_{n,k}^j]$
...

其中， $tw_{i,k}^j$ 表示任务 T_i 的第 j 个可见时间窗口，且由卫星 R_k 对其进行成像， $j \in \{1, \dots, N_{i,k}\}$ ，表示任务 T_i 在整个仿真周期内对所有资源的可见时间窗口总数。该时间窗口是星地可见时间窗口，而对于一个具体的任务执行序列结果中，为任务分配的执行时间只是选取该区间内满足成像时长约束的一小部分。该问题的调度方案可描述为：

$$RESULT = \begin{cases} rt_0, [tws_0, twe_0] \\ rt_1, [tws_1, twe_1] \\ \dots \\ rt_n, [tws_n, twe_n] \end{cases}$$

其中， $rt_i \in RT_i, [tws, twe] \subset [ws_{i,rt_i}^j, we_{i,rt_i}^j]$ 。

在上述背景下，要求完成如下操作：

- （1）使用贪心法，设计卫星星座对观测目标的调度规划算法。
- （2）使用动态规划或者任意一种智能优化算法实现该调度规划。

3、完成要求

（1）要求必须实现可视化界面，并且结果具有较好的展示效果，比如可以通过加载地图等形式，提升可视化的效果。

（2）实现语言不限，可视化界面的实现框架不限，可以使用任意第三方库进行修饰。

（3）可以不使用本文提供的思路，而使用其他的思路，只要能够对该问题进行解决即可。

（4）课设结束时，需要检查代码，并且需要提交课程设计报告。

（5）严禁抄袭，如果有抄袭，对应抄袭项没有成绩。（以查重系统结果为准）

4、数据说明

(1) 卫星轨道数据

空间中共有九颗卫星，每颗卫星在每个时刻的覆盖范围边界已知。Data/Satellite 文件夹下，有一个文件，如 SatCoverInfo*.txt。表示所有卫星在每个时刻的覆盖范围边界。每一行记录表示的是一个时刻下的卫星边界数据。

对于 SatCoverInfo_i.txt 中的数据，它表示的是编号为 i 的单颗卫星在 2022 年 1 月 1 日 0:0:0 - 2022 年 1 月 2 日 0:0:0 这一天的时间内，每一秒的卫星对地面的覆盖范围边界经纬度数据。

如下图数据，它表示的是某刻卫星在 2022 年 1 月 1 日 0:0:0 的覆盖范围边界的经纬度，其中，第一行数据和最后一行数据完全相同，表示的是一个首尾相连的球面多边形区域。

其中第一行数据：

259.61237150878384 13.466555291847301

259.61*表示的是一个经度值，13.47*表示的是一个纬度值。该行数据表示的是一个地球表面上的一点。

```
2022/1/1 0:00:00
259.61237150878384 13.466555291847301
251.59581088255436 10.797421900948258
248.93857050028888 8.12828851004921
247.40124007459775 5.4591551191501635
246.57033461950914 2.7900217282511193
246.3060935105442 0.12088833735207341
246.57162688889795 -2.5482450535469723
247.403664297506 -5.217378444446017
248.94175907804095 -7.886511835345063
251.59902002354815 -10.55564522624411
259.6123912630422 -13.224778617143155
267.7046751791174 -10.55564522624411
270.36193612462455 -7.886511835345063
271.9000309051595 -5.217378444446017
272.73206831376757 -2.5482450535469723
272.9976016921213 0.12088833735207341
272.73336058315635 2.7900217282511193
271.90245512806774 5.4591551191501635
270.36512470237665 8.12828851004921
267.70788432011113 10.797421900948258
259.61237150878384 13.466555291847301
2022/1/1 0:00:01
259.63903341485224 13.510598252929084
251.62187598803308 10.84146486203004
```

(2) 卫星调度规划观测目标数据

在 Data/Target 文件夹下，有一个文件 target*.txt，文件表示的是我国部分城市的经纬度信息。每一行记录表示一个城市的经纬度。

如一条记录

北京 116.5 39.9 20 8

表示的是当前城市为【北京】，其经度为 116.5°，纬度为 39.9°，如果对其进行观测，需要有效观测时间为 20 秒钟，若对其进行有效观测，收益为 8 分。

注：对于卫星计算的专业领域软件为STK。如果大家有兴趣，可以通过百度网盘地址下载安装。

链接: https://pan.baidu.com/s/1P7z_yot4isewJnyXGQFa7g 提取码: ws5g

但该课程设计，可以不依赖于该软件，但依靠该软件，能够更好地了解背景知识，对自己产生启发。