

# 空天智能应用挑战赛

题目二：空间目标异动感知

松江实验室

- ① 题目概述
- ② 具体内容
- ③ 评分细则
- ④ 仿真示例

# 1 题目概述

近年，类似美国星链卫星变轨接近我国空间站的危险行为时有发生，为保证我国航天器不受威胁和干扰，对空间目标的异动行为进行快速感知与预测具有重要的现实意义，也是后续对异动目标进行空间操控的前提。因此，本比赛将采用航天器系统仿真方法，设定一个具有5颗目标卫星的星座，令其中1颗在运行途中发生异动变轨，其他卫星全程不发生变轨。参赛者自行设置一颗用于态势感知的观测卫星，可对上述5颗目标卫星进行拍照监视，以观测卫星及时观测到目标卫星的异动行为，并准确解算出其变轨后的轨道参数，视为任务成功。

举办方提供航天器系统仿真软件SpaceSim作为参赛使用的仿真工具，并提供备选的图片处理工具，用于生成相机坐标系下目标卫星相对于观测卫星的方向向量，以及其他技术支持。

# 目录

- ① 题目概述
- ② 具体内容
- ③ 评分细则
- ④ 仿真示例

## 2 具体内容

1. 参赛人员安装举办方提供的航天器系统仿真软件SpaceSim，打开并读取场景文件Satellite\_observation，软件将自动生成5颗目标卫星，其轨道参数如下：

表1.目标卫星轨道参数

	a(km)	e	$\omega(^{\circ})$	$i(^{\circ})$	$\Omega(^{\circ})$	$M(^{\circ})$
目标卫星1	7064	0.000	146.5	50	287.6	0
目标卫星2	7949.1	0.000	28	115.29	96.79	0
目标卫星3	7866.53	0.000	29.3	60	68.29	0
目标卫星4	7182.0	0.000	152.70	113.0	253.13	0
目标卫星5	7355.5	0.000	97	154.8	182.19	0

## 2 具体内容

2. 目标卫星之一将在仿真运行中发生变轨，已知变轨行为发生在系统仿真时间2022年10月29日，19:06:00-19:10:40期间，要求参赛人员在19:10:40之后开始进行异动感知。

3. 参赛人员自行在该场景中搭建一颗卫星用于观测，并为其添加相机用于成像。相机观测角度、视场、分辨率等参数可根据需要进行调整，参赛人员应合理设计观测卫星与目标卫星交会时间以决定相机开启与关闭时间，通过开启相机拍照、图片叠加等功能对目标卫星进行成像，进而解算其变轨后的轨道参数。

（观测距离影响定轨精度，观测星轨道高度建议值：6800km-8300km）

## 2 具体内容

4. 相机每次开启后会连续拍摄带有时间戳的图片，相机关闭后停止拍照。每次拍摄的图片序列中始末图像时间戳之差为单次观测时长，任务完成所需各次观测时长累积值将作为评分参考之一；
5. 最终提交可展示的场景文件，确保其能够在竞赛现场举办方电脑中正常演示。另需提交研究报告1份，制作5分钟PPT进行简述，包括采用的定轨方法、辨识出的异动目标卫星id、变轨后卫星轨道参数等。

# 目录

- ① 题目概述
- ② 具体内容
- ③ 评分细则**
- ④ 仿真示例



### 3 评分细则

**标准总述：**从定轨所需观测时间、轨道编目准确度、轨道参数识别精度这三个指标来评价空间异动目标识别算法性能。

**定轨所需观测时间：**卫星定轨所需图像序列带有时间戳，可评估卫星在定轨过程中的累计观测时间，以模拟观测相机能耗。

**轨道编目准确度：**参赛人员结合定轨参数与初始轨道参数，给出发生变轨的卫星编号，编号准确则答题成功，否则即未辨识出目标星的异动行为，视为答题失败。

**轨道参数识别精度：**目标星变轨后的某一时刻，观测星所识别并解算出的该目标星轨道六根数与其真实值的误差。

### 3 评分细则

轨道参数识别精度函数为：

$$e = \sum_{n=1}^6 \left| \frac{m_n - \tilde{m}_n}{m_n - t_n} \right|$$

式中 $m$ 为目标卫星轨道六根数真实值， $t$ 为观测星轨道六根数真实值， $\tilde{m}$ 为定轨识别到的目标星轨道六根数， $n$ 为轨道六根数次序。

**最终评价函数：**  $Score = w_1 T + w_2 e$ （总分越小越好）

式中 $T$ 为卫星定轨所需累计观测时间， $e$ 为目标星变轨后的轨道参数识别精度， $w_1$ 、 $w_2$ 为对应权重系数，大小分别为0.1，10。此外，若变轨卫星编号识别错误，则视为答题失败。

# 目录

- ① 题目概述
- ② 具体内容
- ③ 评分细则
- ④ 仿真示例

# 4 仿真示例

## 示例程序

SpaceSim场景文件: `Satellite_observation.json`

目标星方向向量求解程序: `Direction_vector.exe` (供参赛者选用)

定轨程序: `determination.py` (示例算法)

## 场景设置

读取场景文件, 新增一颗观测卫星, 轨道参数如表2:

表2.观测卫星轨道参数 (示例)

$a(\text{km})$	$e$	$\omega(^{\circ})$	$i(^{\circ})$	$\Omega(^{\circ})$	$M(^{\circ})$
6800	0.000	153.59	72	273.3	0

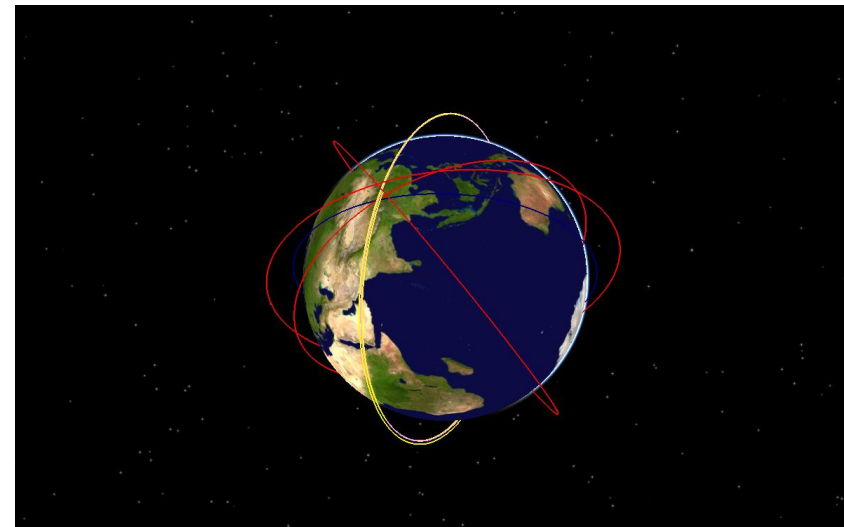


图1.SpaceSim场景示例

# 4 仿真示例

## 相机设置

表3.相机参数表（可调整）

参数名称	具体数值
相机摆向	[1,0,0]
视场全角(°)	20.025°
俯仰分辨率(像素)	800 像素
方位分辨率(像素)	800 像素
近平面距离(m)	1
远平面距离(m)	100000
俯仰角(°)	0
方位角(°)	180

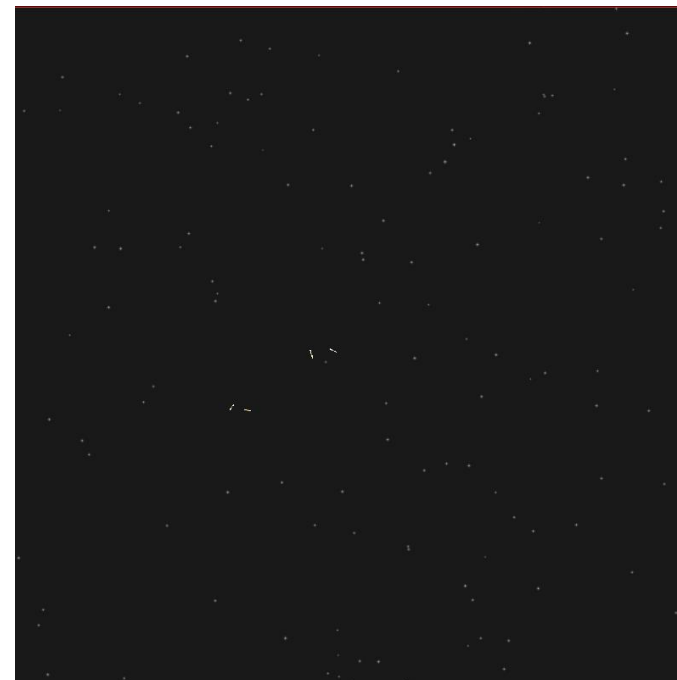


图2.仿真相机拍摄图像

# 4 仿真示例

## 一次连续成像

### SpaceSim图片叠加功能



图3.拍摄图像序列

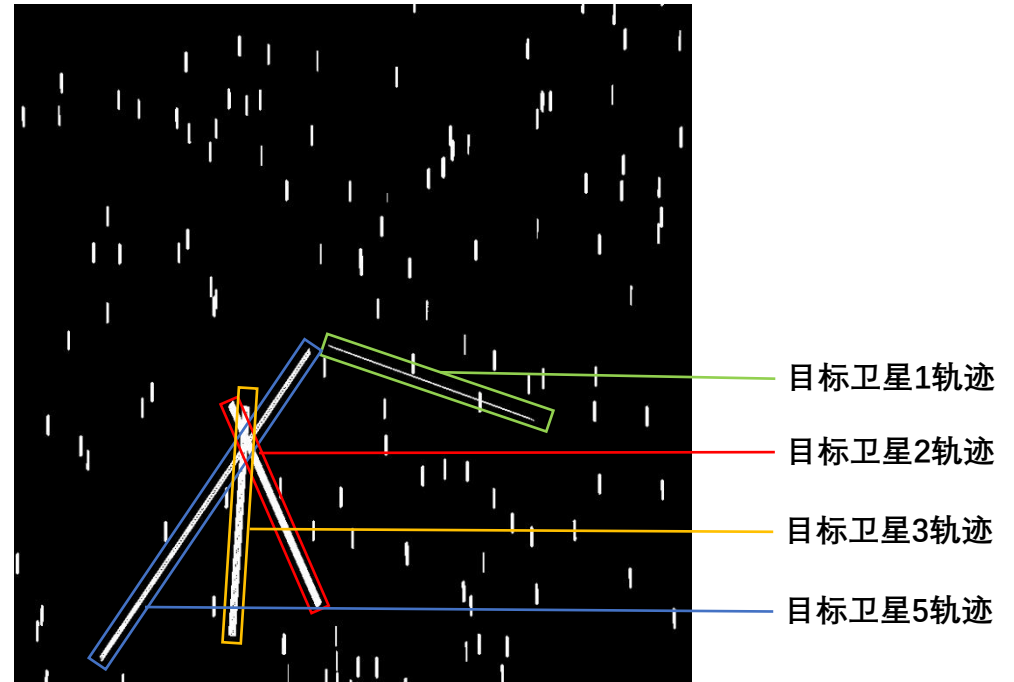


图4.叠加图像

如轨道设计合理，可一次性对多颗卫星同时成像。

# 4 仿真示例

图像处理

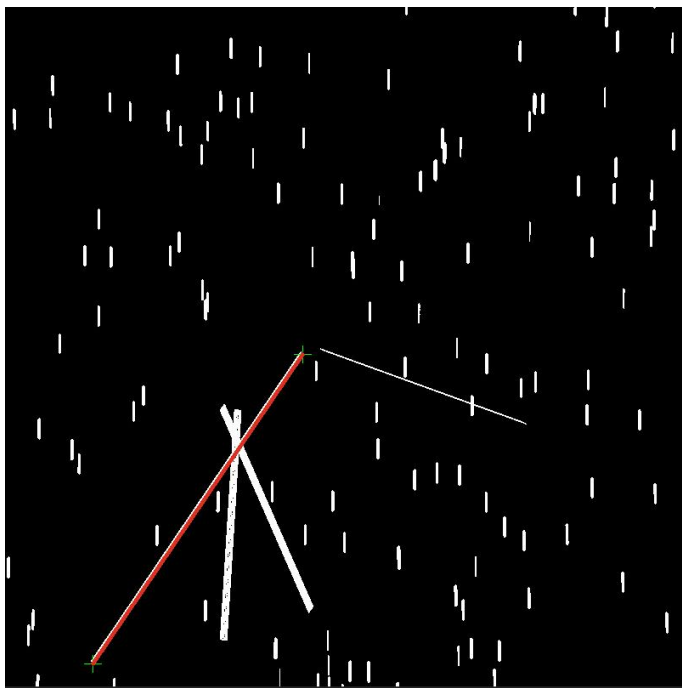
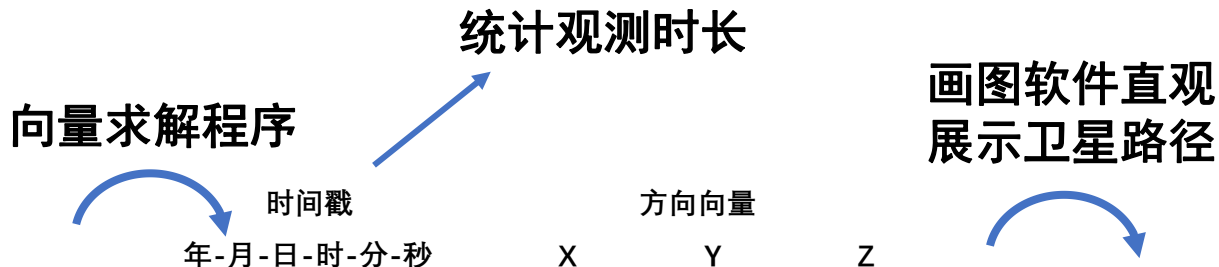


图5.目标轨迹筛选



时间戳	X	Y	Z
2022-10-30_05:27:20.548	-0.01574931967425098	0.13168181172082077	0.9911669180272921
2022-10-30_05:27:20.558	-0.015819165419542192	0.13157889764371417	0.9911794730018848
2022-10-30_05:27:20.568	-0.015889012685995834	0.1314759789046769	0.9911920128042403
2022-10-30_05:27:20.578	-0.015958861470385468	0.13137305550827927	0.9912045374326066
2022-10-30_05:27:20.588	-0.016028711769484102	0.13127012745909272	0.9912170468852342
2022-10-30_05:27:20.598	-0.016098563580064357	0.13116719476168978	0.991229541160375
2022-10-30_05:27:20.608	-0.01616841689889841	0.13106425742064376	0.9912420202562836
2022-10-30_05:27:20.618	-0.016238271722757904	0.13096131544052914	0.9912544841712162
2022-10-30_05:27:20.628	-0.016308128048414045	0.13085836882592136	0.9912669329034313
2022-10-30_05:27:20.638	-0.016377985872637627	0.13075541758139686	0.9912793664511887
2022-10-30_05:27:20.648	-0.016447845192198957	0.13065246171153308	0.9912917848127512
2022-10-30_05:27:20.658	-0.016517706003867958	0.13054950122090844	0.991304187986383
2022-10-30_05:27:20.669	-0.016587568304413908	0.13044653611410237	0.9913165759703498
2022-10-30_05:27:20.679	-0.01665743209060583	0.1303435663956953	0.991328948762921
2022-10-30_05:27:20.689	-0.016727297359212221	0.13024059207026858	0.9913413063623661
2022-10-30_05:27:20.699	-0.01679716410700112	0.13013761314240477	0.9913536487669576
2022-10-30_05:27:20.709	-0.01686703233074013	0.13003462961668708	0.9913659759749701
2022-10-30_05:27:20.719	-0.01693690202719635	0.12993164149769998	0.9913782879846794
2022-10-30_05:27:20.729	-0.01700677319313651	0.12982864879002892	0.9913905847943647
2022-10-30_05:27:20.739	-0.017076645825326874	0.12972565149826024	0.9914028664023058
2022-10-30_05:27:20.749	-0.01714651992053321	0.12962264962698128	0.9914151328067853
2022-10-30_05:27:20.759	-0.01721639547552084	0.12951964318078046	0.9914273840060874
2022-10-30_05:27:20.769	-0.01728627248705469	0.12941663216424698	0.9914396199984985
2022-10-30_05:27:20.779	-0.017356150951899244	0.1293136165819713	0.9914518407823074
2022-10-30_05:27:20.789	-0.017426030866818452	0.1292105964385447	0.9914640463558042
2022-10-30_05:27:20.799	-0.01749591222857593	0.12910757173855944	0.9914762367172816
2022-10-30_05:27:20.809	-0.017565795033934746	0.12900454248660875	0.9914884118650336
2022-10-30_05:27:20.819	-0.017635679279657635	0.12890150868728703	0.9915005717973573
2022-10-30_05:27:20.829	-0.01770556496250677	0.12879847034518938	0.9915127165125509

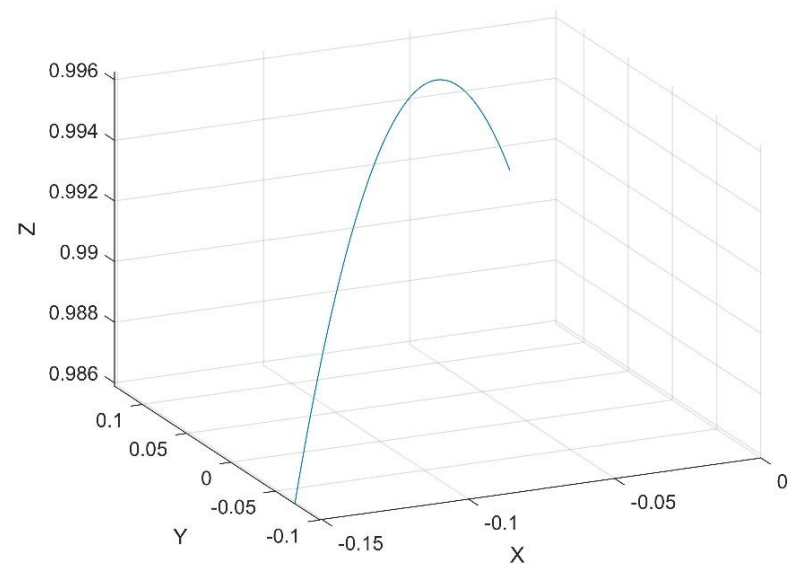


图6.目标星方向向量

筛选一条卫星的轨迹，利用图像处理软件获取其相对于观测卫星的方向向量。

# 4 仿真示例

## 短弧定轨

表4.观测定轨结果

卫星编号	时刻	数值类型	a(km)	e	$\omega(^{\circ})$	$i(^{\circ})$	$\Omega(^{\circ})$	$M(^{\circ})$	
目标 卫星1	19:20:05.999	真值	7063.954	0.000006	-64.124323	50	-72.4	0	观测值与真值在合理误差范围内，判断为未发生变轨。
	19:20:06.000	观测值	7064.738	0.000476	-63.324123	50	-72.4	0.073	
目标 卫星3	19:40:05.999	真值	7866.480	0.000006	129.580418	60	68.2	0	观测值与真值误差明显，判断为发生变轨。
	19:40:06.000	观测值	7905.240	0.000239	100.245692	60	68.2	0.062	

真值——仿真场景中始终不发生变轨推演得到的某时刻卫星轨道六根数输出值；  
观测值——通过短弧定轨确定的该卫星某时刻的轨道六根数。



## 4 仿真示例

### 最终结果

#### 仿真与评分结果

判断目标卫星3发生变轨，结论正确，答题成功。

观测累计时长： $T = 38.31\text{s}$ ；轨道参数识别精度： $e = 1.02373$ ；

总评分： $Score = 0.1 * T + 10 * e = 14.0683$