

2023 航天动力学大作业

大作业题目为：深空探测轨道设计优化——采样返回

一、概述：

航天器从地球出发，对小行星 Psyche 进行采样，并返回地球，航天器采用脉冲推进方式，往返都可以采用火星借力，用圆锥曲线拼接的方法，设计地球-Psyche-地球的日心段转移轨道。

二、评比指标

在满足基本要求和精度约束的前提下，递交的文档和程序以及答辩表现充分合理，以采样质量最大为评比指标。

三、要求：

1. 不考虑地球影响球内的运动，航天器从地球出发或回到地球时，位置与地球相同，双曲剩余速度要求小于等于 4 km/s（大于的话需要额外施加脉冲降至 4 km/s，小于等于 4 km/s 的脉冲无需消耗燃料，详细燃料消耗见下式），转移过程中仅考虑太阳的中心引力。

$$\Delta m = \begin{cases} 0 & \Delta v \leq 4 \text{ km/s} \\ m_0 \left(1 - e^{-\frac{\Delta v - 4 \text{ km/s}}{I_{sp} g}} \right) & \Delta v > 4 \text{ km/s} \end{cases}$$

（太阳引力系数 $1.32712440018 \times 10^{11} \text{ km}^3/\text{s}^2$ ）

2. 借力时采用脉冲等效模型，不考虑火星的影响球，要求航天器位置与火星相同，借力瞬间获得一个速度增量，该速度增量需要满足引力辅助要求以及最小借力高度的要求。

（火星的最小借力高度为 300 km，火星引力系数 $42828.375214 \text{ km}^3/\text{s}^2$ ，火星半径 3389.92 km）

3. 航天器与小行星 Psyche 交会（位置速度完全相同）后，在小行星上进行采样，采样可以瞬间完成且不限采样质量上限，采样完成后，启程返回地球。
4. 忽略小行星的引力。
5. 出发时间窗口为 1825 天内，出发之后的采样返回整个任务耗时不得超过 5475 天。

6. 附件中给出了初始时刻大行星和小行星的轨道根数，坐标系统为 J2000 日心黄道坐标系，认为大行星和小行星均沿日心二体轨道运行，可以通过求解开普勒方程获得任意时刻的状态。（需注意各个轨道根数的单位）
7. 航天器比冲为 3000 s（采用电推进比冲，重力加速度为 9.80665 m/s²），初始质量为 1000 kg（其中干重 500 kg，燃料 500 kg），故燃料消耗不得大于 500 kg，返程时航天器总质量和干重质量需要加上采样质量。

燃料消耗公式：
$$\Delta m = m_0 \left(1 - e^{-\frac{\Delta v}{I_{sp} g}} \right)$$
（ m_0 为施加脉冲前的总质量）

8. 行星与小行星的轨道都是异面椭圆，不能当作黄道面上的圆轨道。
9. 精度约束要求：与二体问题解析解相比，每个事件点的位置误差不能大于 1 km，速度误差不能大于 1 m/s，质量误差不能大于 1 g。

四、需要提交的材料

1. 设计方法文档
2. 程序
3. 要求给出各个关键节点的信息，数据格式如下表所示：

Event	Time (day)	x (km)	y (km)	z (km/s)	v _x (km/s)	v _y (km/s)	v _z (km/s)	Δv _x (km/s)	Δv _y (km/s)	Δv _z (km/s)	m _f (kg)
int	float	float	float	float	float	float	float	float	float	float	float
...

第 1 列：飞行轨道事件节点，1 表示从地球出发，2 表示到达小行星，3 表示在小行星上进行采样，4 表示从小行星返航，5 表示回到地球，6 表示火星引力辅助，7 表示施加瞬时速度脉冲。

第 2 列：事件节点时刻，距离初始时刻的天数；

第 3-5 列：位置矢量分量；

第 6-8 列：速度矢量分量，若当前时刻获得速度脉冲，则记为获得速度脉冲后的速度矢量分量；

第 9-11 列：速度脉冲矢量分量，引力辅助需给出等效速度脉冲，若当前时刻未施加脉冲，则记为 0；

第 12 列：航天器剩余质量；

补充说明:

- a. 如果某时刻同时借力或施加瞬时脉冲, 应该给出两行数据, 前、后瞬时各 1 行。
- b. 采样时的时间和状态在达到小行星和从小行星返航之间即可, 采样质量在本行数据中给出加在剩余质量里即可。
- c. 除第一列数据外, 其他数据采用科学计数法, 有效位数取 12 位。
4. 画出各天体 (地球、火星、目标小行星) 和航天器飞行轨道的轨道图
5. 在 2024 年 1 月 28 日前提交所有文件并答辩 (讲 8 分钟, 提问 7 分钟)
6. 可以提前提交结果数据文件, 以便验证精度是否符合要求, 验证通过的指标与提交者姓名会在排行榜中公布, 在答辩之前可以多次提交对结果进行改进。