

卫星模型设备文档

一、卫星模型的背景

20 世纪中期，苏联发射了第一颗人造地球卫星，从此开辟了人类探索太空的时代。到 21 世纪初期，全世界共发射了五千多个各类航天器，应用在地球气象，通讯及导航定位等空间科学探测研究。这些研究大部分是依靠一个或多个系列化的独立卫星进行的，卫星除了可以独立完成航天任务，还有一种更为重要的工作方式，即卫星编队飞行。随着科技的进步，航天工程已经成为各个国家的战略发展中心，但是航天器，主要是卫星，作为航天领域的重要工具，是一种高技术、高投入、高风险、高回报的产品。为了确保万无一失地完成卫星的研制任务，就要通过各种类型的仿真试验（数学仿真、半物理仿真、全物理仿真）对系统方案进行验证，验证星上运行软硬件的正确性及正确匹配，对系统性能进行鉴定，进行故障分析仿真等。

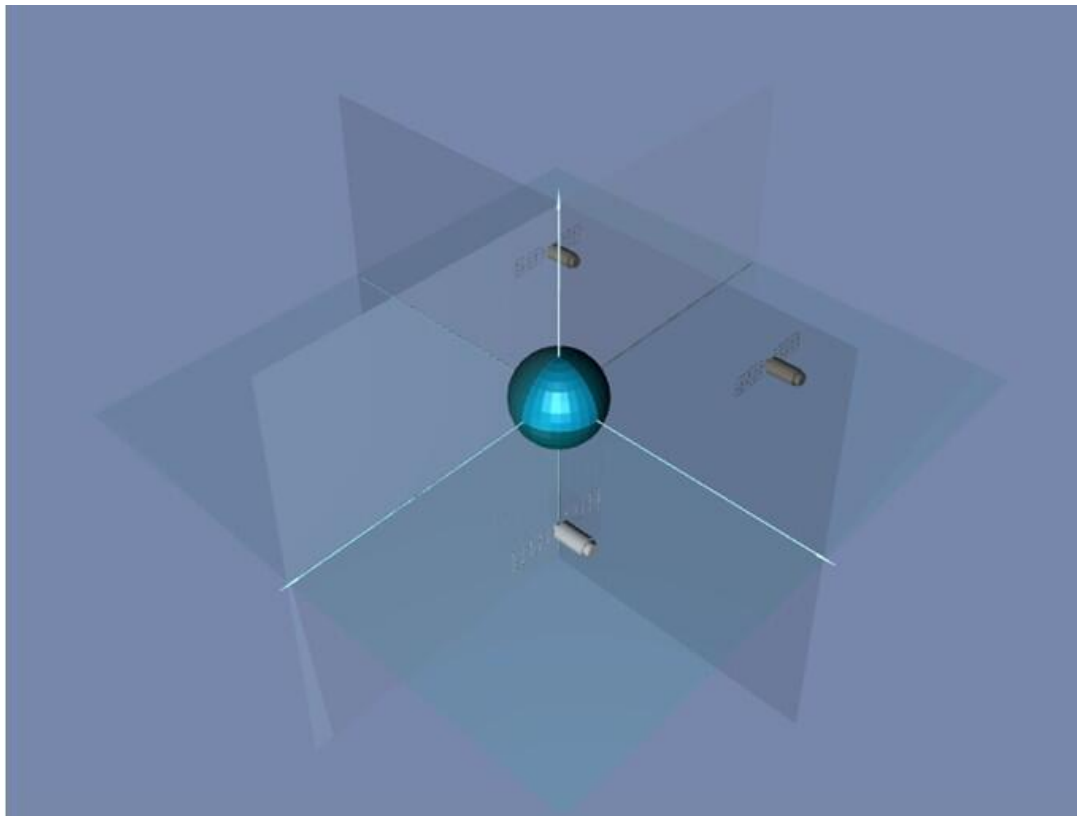


图 1 卫星显示图

卫星如图 1 所示，通过该实验平台，可以完成卫星的编队飞行，轨道机动等仿真实验。

二、卫星编队的建模

使用 C-W 方程法建模，首先要进行两个假设：1、假设各卫星在地球中心引力场中运动；2、参考星为圆形轨道或近圆轨道（偏心率接近零），两卫星间的距离远远小于轨道半径。定义坐标系：地心赤道惯性坐标系 OXYZ：简称惯性系，原点 O 为地心，X 轴指向春分点，Z 轴指向北极，Y 轴按右手法则确定。如图 1 所示。轨道坐标系 Sxyz：原点 S 位于参考星质心，x 轴在卫星运行轨道面内沿速度方向，y 轴指向卫星轨道面的正法线方向，z 轴为卫星的矢径方向。如图 2 所示。

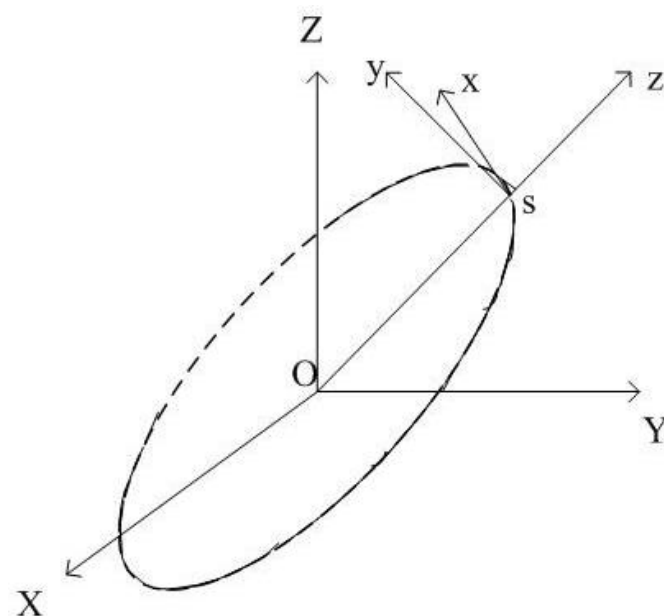


图 2 坐标图

利用绝对运动和相对运动的转换关系，做一些近似处理，当参考星为圆轨道时，角加速度为 0，参考星为圆轨道时无外力作用下的 C-W 方程的相对动力学模型为：

$$\begin{aligned}\ddot{x} + 2\omega\dot{z} &= 0 \\ \ddot{y} + \omega^2 y &= 0 \\ \ddot{z} - 2\omega\dot{x} - 3\omega^2 z &= 0\end{aligned}$$

三、卫星编队协调控制算法

在编队飞行过程中，已建立的编队构形由于任务需求、技术要求等，一般需要进行编队构形的重构，即从一种编队构形变换为另一种

新的编队构形。编队构形重构充分体现了编队飞行的灵活性，也是编队飞行控制过程中比较复杂而重要的一个环节。多卫星协调控制是实现编队飞行任务的关键。课题首先提出了一种假定队形重构前后各环绕卫星相位角不变的卫星跟踪重构、控制策略，采用线性二次型最优控制方法对卫星编队重构进行研究。这种相位角不变的卫星跟踪重构控制，可以合理分配各卫星的重构控制燃料消耗，避免星间碰撞等。编队重构控制器设计中，相对动力学模型仍采用 CW 方程表示法。

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \\ \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2\omega \\ 0 & -\omega^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3\omega^2 & 2\omega & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{bmatrix}$$

取二次型性能指标函数为：

$$J = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{\infty} (X^T Q X + U^T R U)$$

求解方程：

$$A^T P + P A - P B R^{-1} B^T P + Q = 0$$

得到反馈增益矩阵：

$$K = R^{-1} B^T P$$

此时重构控制力 U 为：

$$\begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{bmatrix} = -K * \begin{bmatrix} x - x_f \\ y - y_f \\ z - z_f \\ \dot{x} - \dot{x}_f \\ \dot{y} - \dot{y}_f \\ \dot{z} - \dot{z}_f \end{bmatrix}$$

举例 1：

编队飞行任务由三颗环绕星组成，组成半径为 5000m 的空间圆形编队，且三颗星之间构成空间正三角形编队。现在，重构为半径为 500m 的空间圆形编队，然后转化到惯性坐标系中，增加显示比例系数为 1/1200，显示效果如图

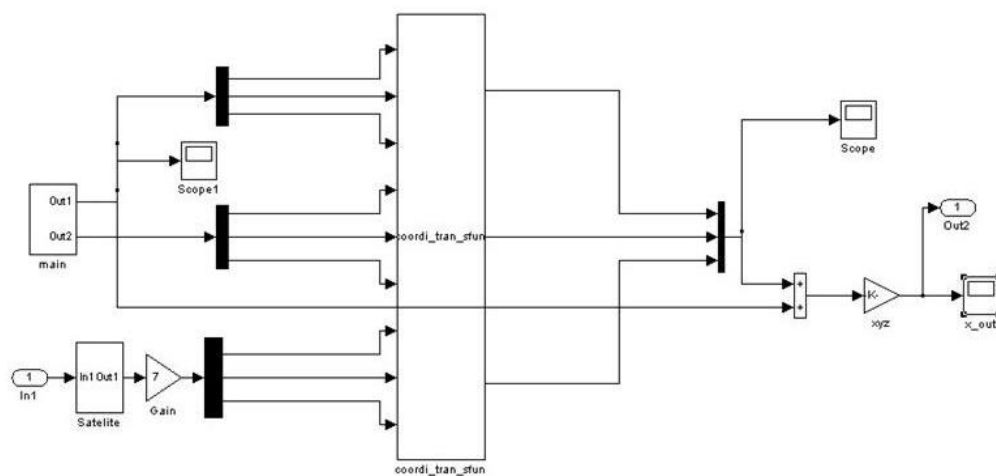


图 3 仿真框图

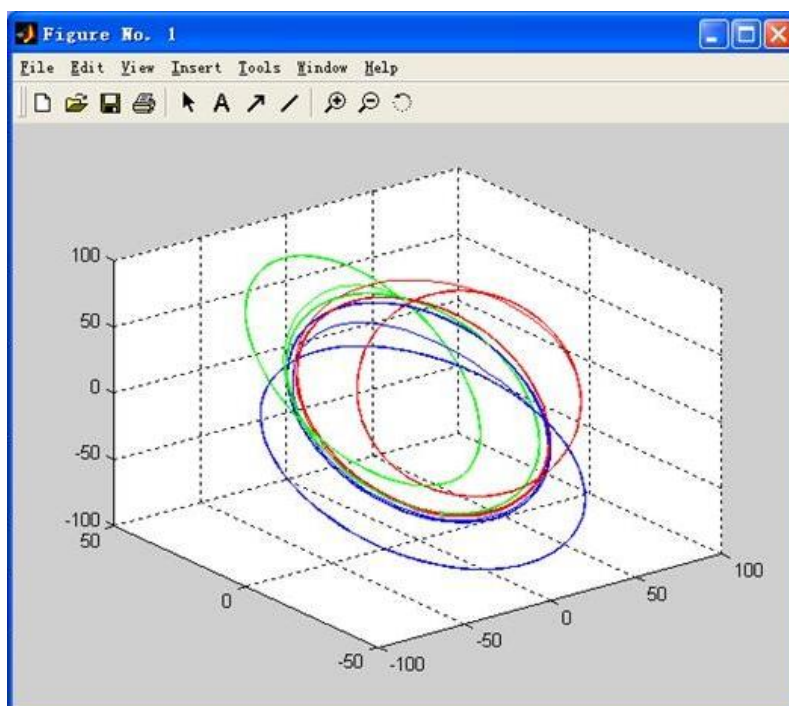


图 4 仿真效果图

举例 2

三颗环绕星组成，组成半径为 5000m 的空间圆形编队，且三颗星之间构成空间正三角形编队。现在，重构为半径为 2000m，比例系数为 1/100，显示效果如图

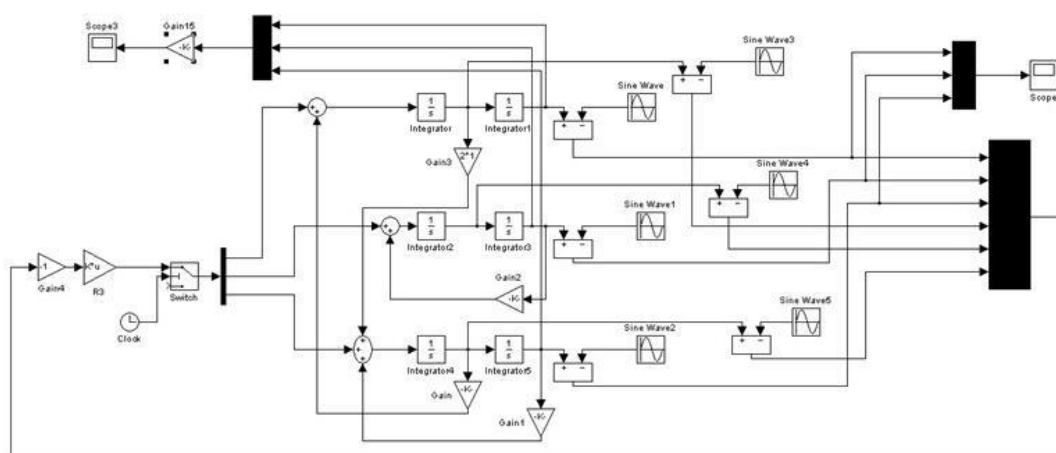


图 5 仿真框图

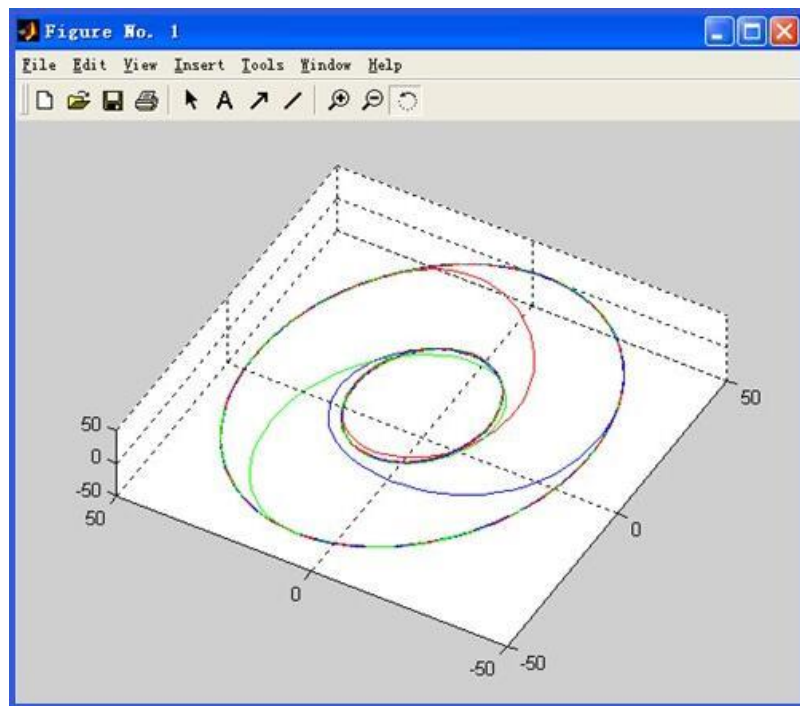


图 6 仿真效果图