

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 9 月 24 日 (24.09.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/186719 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01C 21/02 (2006.01) **G01C 21/20** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/107186
- (22) 国际申请日: 2019 年 9 月 23 日 (23.09.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201910207587.6 2019年3月19日 (19.03.2019) CN
- (71) 申请人: 华中科技大学(HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。
- (72) 发明人: 胡静(HU, Jing); 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 李彬哲

(LI, Binzhe); 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 方力(FANG, Li); 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 熊涛(XIONG, Tao); 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 高翔(GAO, Xiang); 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 康慷慷(KANG, Susu); 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 蒋侃(JIANG, Kan); 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。

(74) 代理人: 华中科技大学专利中心 (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PATENT AGENCY CENTER); 中国湖北省武汉市洪山区珞喻路 1037 号华中科技大学东一楼 340 室, Hubei 430074 (CN)。

(54) Title: SHORT-ARC INITIAL ORBIT DETERMINATION METHOD BASED ON GAUSS SOLUTION GROUP OPTIMIZATION

(54) 发明名称: 一种基于 Gauss 解群优选的短弧初轨确定方法

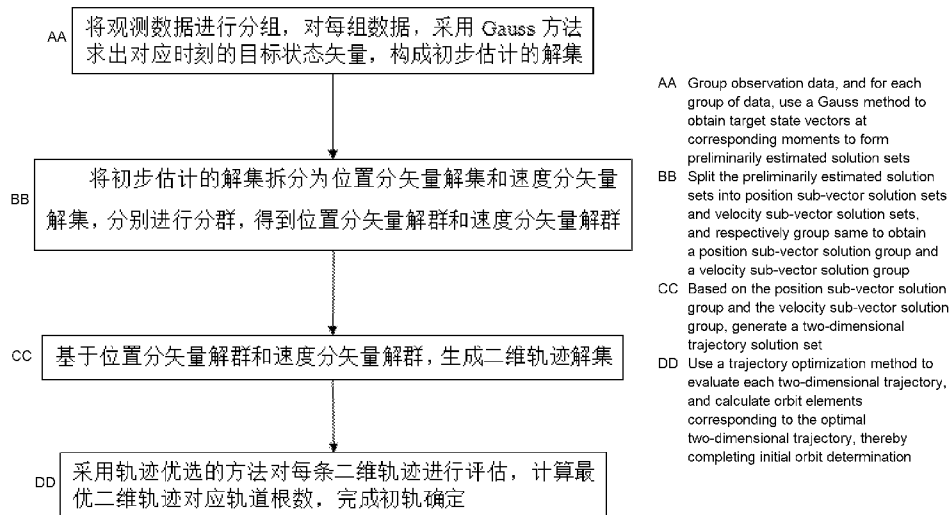


图 1

(57) Abstract: A short-arc initial orbit determination method based on Gauss solution group optimization, belonging to the field of astrodynamics. The method comprises: grouping observation data, and for each group of data, using a Gauss method to obtain target state vectors at corresponding moments to form preliminarily estimated solution sets (S1); splitting the preliminarily estimated solution sets into position sub-vector solution sets and velocity sub-vector solution sets, and respectively grouping same to obtain a position sub-vector solution group and a velocity sub-vector solution group (S2); based on the position sub-vector solution group and the velocity sub-vector solution group, generating a two-dimensional trajectory solution set (S3); and using a trajectory optimization method to evaluate each two-dimensional trajectory, and calculating orbit elements corresponding to the optimal two-dimensional trajectory, thereby completing initial orbit determination (S4). Observation data are grouped and Gauss's law is called for each group of data, such

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

that the utilization degree of data is improved, and short-arc target orbit elements finally determined in conjunction with multiple groups of data are closer to a true value. Gauss solution group optimization is used for trajectory evaluation, and orbit elements corresponding to the optimal two-dimensional trajectory serve as an estimated solution, thereby solving the problem of multiple roots being present.

(57) 摘要: 一种基于Gauss解群优选的短弧初轨确定方法, 属于天文动力学领域。包括: 将观测数据进行分组, 对每组数据, 采用Gauss方法求出对应时刻的目标状态矢量, 构成初步估计的解集(S1); 将初步估计的解集拆分为位置分矢量解群和速度分矢量解群, 分别进行分群, 得到位置分矢量解群和速度分矢量解群(S2); 基于位置分矢量解群和速度分矢量解群, 生成二维轨迹解集(S3); 采用轨迹优选的方法对每条二维轨迹进行评估, 计算最优二维轨迹对应轨道根数, 完成初轨确定(S4)。对观测数据进行分组, 对每组数据调用Gauss, 加大数据的利用程度, 结合多组数据最终确定的短弧目标轨道根数更贴近真实。采用Gauss解群优选进行轨迹评估, 最优二维轨迹的轨道根数作为估计解, 解决了多根问题。

一种基于 Gauss 解群优选的短弧初轨确定方法

【技术领域】

本发明属于天文动力学领域，更具体地，涉及一种基于 Gauss 解群优选的短弧初轨确定方法。

【背景技术】

随着天文动力学的发展，初轨确定技术已成为当今最重要的技术之一。传统的初轨确定方法是通过地面观测数据计算卫星或空间碎片的轨道，这些方法通常是基于两体问题的运动方程。由于天基观测系统观测时刻短、可获取的数据较少，导致传统的初轨确定方法不适用于天基观测数据；此外，如果待检测轨迹的曲率过小，则有可能无法确定初轨。

当前的初轨确定方法主要包括：传统的 Laplace 法、Gauss 法及相关改进算法。传统 Gauss 法的缺陷是：求解高阶多项式后所得的根太多，需要进行筛选；改进 Gauss 法可以避免重根问题，但需要选取合适的初值，否则会使算法迭代发散或最终取的平凡解甚至错误解。

当前研究资料表明，在基于地面观测数据的初轨确定领域，已有许多性能优异的方法，而在基于天基观测数据的初轨确定领域，相关研究算法的时间间隔要求都比较长，对于短弧初轨确定适用性不高，本方法可解决传统 Gauss 方法中存在的多根问题，并适用于短弧初轨确定任务。

【发明内容】

针对现有技术的缺陷，本发明的目的在于解决现有技术基于传统 Gauss 方法的短弧初轨确定方法误差较大、难以从多组解中有效选择的技术问题。

为实现上述目的，第一方面，本发明实施例提供了一种基于 Gauss 解

群优选的短弧初轨确定方法，该方法包括以下步骤：

S1.将观测数据进行分组，对每组数据，采用 Gauss 方法求出对应时刻的目标状态矢量，构成初步估计的解集；

S2.将初步估计的解集拆分为位置分矢量解集和速度分矢量解集，分别进行分群，得到位置分矢量解群和速度分矢量解群；

S3.基于位置分矢量解群和速度分矢量解群，生成二维轨迹解集；

S4.采用轨迹优选的方法对每条二维轨迹进行评估，计算最优二维轨迹对应轨道根数，完成初轨确定。

具体地，步骤 S1 包括以下子步骤：

S101.对观测数据进行分组，每 3 个时刻对应的矢量数据分为一组；

S102.对每组矢量数据，采用传统 Gauss 法求出对应时刻的目标状态矢量，构成初步估计的解集。

具体地，假定观测时刻为 $[t_0, t_k]$ ， $k+1 \geq 3$ ，对于 $[t_0, t_k]$ 共 $k+1$ 个时刻的输入数据，取间隔参数 $Nrate = \lfloor rate * k \rfloor$ ，其中， $\lfloor \bullet \rfloor$ 表示向下取整， $rate$ 为间隔率，分组后的观测数据表示为 $\{\bar{L}_{t_{s1}}, \bar{L}_{t_{s2}}, \bar{L}_{t_{s3}}, \bar{R}_{t_{s1}}, \bar{R}_{t_{s2}}, \bar{R}_{t_{s3}}\}$ ，其中， $\bar{R}_{t_s}$ 表示卫星观测位置矢量， $\bar{L}_{t_s}$ 表示观测角度矢量， $\left\lfloor \frac{k - Nrate}{2} \right\rfloor \leq s2 \leq \left\lfloor \frac{k + Nrate}{2} \right\rfloor$ ， $s1 = \left\lfloor \frac{2 * s2 + Nrate - k + 1}{2} \right\rfloor$ ， $s3 = \left\lfloor \frac{2 * s2 - Nrate + k - 1}{2} \right\rfloor$ 。

具体地，步骤 S2 包括以下子步骤：

S201.剔除初步估计的解集中不合理的解；

S202.将剩余的状态矢量解集拆分为位置分矢量解集和速度分矢量解集，分别进行分群，使得正确的解尽可能在同一个群中，得到位置分矢量解群和速度分矢量解群；

S203.对于位置分矢量解群和速度分矢量解群分别进行降噪预处理。

具体地，剔除满足 $|\bar{r}_{t_s}| < 6378.14km$ 或者 $|\bar{r}_{t_s}| > 42378km$ 或者 $|\bar{v}_{t_s}| > 11.2km/s$ 任

一条件的位置数据和速度数据, 其中, $\vec{r}_{t_s}$ 表示 t_s 时刻的目标位置矢量, $\vec{v}_{t_s}$ 表示 t_s 时刻的目标速度矢量。

具体地, 步骤 S202 中采用 k-means 聚类方法进行聚类分群, 并采用 Chauvenet's-criterion 判别进行异常数据消除。

具体地, 步骤 S3 包括以下子步骤:

S301.对降噪后的位置分矢量解群和速度分矢量解群进行拟合, 构建各个时刻的状态矢量组合;

S302.根据各个时刻对应的状态矢量组合, 生成目标轨道三维轨迹解集;

S303.根据观测平台测量状态, 将目标轨道三维轨迹解集投影到瞬时观测像面, 得到二维轨迹解集。

具体地, 步骤 S4 包括以下子步骤:

S401.对每条二维轨迹, 计算导数误差与位置误差;

第 m 条二维轨迹的导数误差的计算公式如下:

$$\Delta uv^m = \sum_{n=0}^k \left[\left| (2t_n \times \hat{U}^m + \hat{U}^m) - (2t_n \times U^* + U^*) \right| + \left| (2t_n \times \hat{V}^m + \hat{V}^m) - (2t_n \times V^* + V^*) \right| \right]$$

$$\hat{U}_{t_n}^m = \hat{U}^m t_n^2 + \hat{U}^m t_n + \hat{U}_0^m$$

$$\hat{V}_{t_n}^m = \hat{V}^m t_n^2 + \hat{V}^m t_n + \hat{V}_0^m$$

$$U_{t_n}^* = U^* t_n^2 + U^* t_n + U_0^*$$

$$V_{t_n}^* = V^* t_n^2 + V^* t_n + V_0^*$$

其中, U^* , V^* , U^* , V^* 为二维轨迹 $\{l^* = (U_{t_n}^*, V_{t_n}^*, t_n, n=0, 1, 2, 3 \dots k)\}$ 的二次多项式拟合参数, $\hat{U}_{t_n}^m \hat{V}_{t_n}^m$ 为估计轨迹 $\hat{l}_{t_n}^m$ 在 t_n 时刻对应的像面坐标, m 表示第 m 条二维轨迹, k 为观测时刻总数;

第 m 条二维轨迹的位置误差的计算公式如下:

$$Rl^m = \sum_{n=0}^k \frac{D_{t_n}^m}{Dc_{t_n}^m}$$

$$D_{t_n}^m = \sqrt{(\hat{U}_{t_n}^m - U_{t_n}^*)^2 + (\hat{V}_{t_n}^m - V_{t_n}^*)^2}$$

$$Dc_{t_n}^m = \sqrt{(U_c^m - U_{t_n}^*)^2 + (V_c^m - V_{t_n}^*)^2}$$

其中, $D_{t_n}^m$ 为预测值与观测值之间的像面距离, $Dc_{t_n}^m$ 为估计轨迹与观测轨迹交点和观测点之间的像面距离, t_n 为观测时刻, $\hat{U}_{t_n}^m \hat{V}_{t_n}^m$ 为估计轨迹 I_{est}^m 在 t_n 时刻对应的像面坐标, $U_{t_n}^* V_{t_n}^*$ 为观测轨迹 I^* 在 t_n 时刻对应的像面坐标; $U_c^m V_c^m$ 为估计轨迹 I_{est}^m 与观测轨迹交点的像面坐标;

S402.综合考虑导数误差与位置误差, 选择最优二维轨迹, 将其对应的轨道根数作为最佳估计值;

S403.输出最优二维轨迹对应轨道根数, 完成初轨确定。

具体地, 步骤 S402 具体为:

对于第 m 条轨道, 分别对导数误差和位置误差从小到大进行排序, 得到排名序号 $Rank_{vel,m}$ 和 $Rank_{dis,m}$, 两者在 $1 \sim N_{sv}$ 之间, 并计算两者之和作为最终误差评价:

$$Rank_m = Rank_{vel,m} + Rank_{dis,m}$$

对于最终误差评价, 取其最小者 m_{opt} 作为最佳预测轨迹:

$$m_{opt} = \arg \min_m \{Rank_m; m = 1, 2, 3 \dots N_{sv}\}$$

其中, N_{sv} 为各个时刻对应的目标位置、速度数据组合所求得的轨道根数的个数。

第二方面, 本发明实施例提供了一种计算机可读存储介质, 该计算机可读存储介质上存储有计算机程序, 该计算机程序被处理器执行时实现上述第一方面所述的短弧初轨确定方法。

总体而言, 通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比, 具有以下有益效果:

1.本发明通过对观测数据进行分组, 并对每组数据调用传统 Gauss 方

法，加大数据的利用程度，结合多组数据最终确定的短弧目标轨道根数会更加贴近真实值。

2. 本发明针对多根问题，将所有根经过剔除不合理数据、降噪平滑等处理方式后，计算它们对应的轨道根数，并采用轨迹优先的方法去进行评估，最终选择评价指标最高的轨道根数作为估计解，这一做法能够有效地解决传统 Gauss 法中存在的多根问题。

【附图说明】

图 1 为本发明实施例提供的一种基于 Gauss 解群优选的短弧初轨确定方法流程图；

图 2 为本发明实施例提供的天基观测示意图；

图 3 为本发明实施例提供的 Gauss 法解得的目标位置解群图；

图 4 为本发明实施例提供的位置解群进行 k 均值聚类后的聚类图；

图 5 为本发明实施例提供的采用 *Savitzky-Golay* 平滑后的位置解群图；

图 6 为本发明实施例提供的计算轨道根数得到各位置解对应的轨道三维图；

图 7 为本发明实施例提供的各位置解对应三维轨道投影到像面上的二维图；

图 8 为本发明实施例提供的最优轨道与实际观测轨道的三维图。

【具体实施方式】

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

首先，对本发明涉及的一些术语进行解释。

解群：解的集合。

如图 1 所示, 本发明提供了一种基于 Gauss 解群优选的短弧初轨确定方法, 该方法包括以下步骤:

S1. 将观测数据进行分组, 对每组数据, 采用 Gauss 方法求出对应时刻的目标状态矢量, 构成初步估计的解集;

S2. 将初步估计的解集拆分为位置分矢量解集和速度分矢量解集, 分别进行分群, 得到位置分矢量解群和速度分矢量解群;

S3. 基于位置分矢量解群和速度分矢量解群, 生成二维轨迹解集;

S4. 采用轨迹优选的方法对每条二维轨迹进行评估, 计算最优二维轨迹对应轨道根数, 完成初轨确定。

步骤 S1. 将观测数据进行分组, 对每组数据, 采用 Gauss 方法求出对应时刻的目标状态矢量, 构成初步估计的解集。

S101. 对观测数据进行分组, 每 3 个时刻对应的矢量数据分为一组。

观测数据是天基单目成像平台观测数据或者地面观测数据。所述观测数据包括: 各个观测时刻对应的观测位置(平台本身相对地心坐标系位置)、观测角度矢量, 分别用变量 $\vec{R}_{t_s}$ 表示 t_s 时刻卫星观测位置矢量、 $\vec{L}_{t_s}$ 表示 t_s 时刻观测角度矢量。同一时刻下观测卫星的位置、观测相机的角度以及观测成像数据共同构成一对数据, 多个时刻数据构成一组数据。

为了后续构建解群, 本发明首先需要对观测数据进行分组, 每 3 个时刻对应的矢量数据分为一组。假定观测时刻为 $[t_0, t_k]$ ($k+1 \geq 3$), 对于 $[t_0, t_k]$ 共 $k+1$ 个时刻的输入数据, 取间隔参数 $Nrate = \lfloor rate * k \rfloor$, 其中, $\lfloor \bullet \rfloor$ 表示向下取整, $rate$ 为间隔率, 通常取值 0.2。分组后的观测数据表示为 $\{\vec{L}_{t_{s1}}, \vec{L}_{t_{s2}}, \vec{L}_{t_{s3}}, \vec{R}_{t_{s1}}, \vec{R}_{t_{s2}}, \vec{R}_{t_{s3}}\}$, 其中, $\vec{R}_{t_s}$ 表示卫星观测位置矢量, $\vec{L}_{t_s}$ 表示观测角度矢量, $\left\lfloor \frac{k - Nrate}{2} \right\rfloor \leq s2 \leq \left\lfloor \frac{k + Nrate}{2} \right\rfloor$, $s1 = \left\lfloor \frac{2 * s2 + Nrate - k + 1}{2} \right\rfloor$, $s3 = \left\lfloor \frac{2 * s2 - Nrate + k - 1}{2} \right\rfloor$ 。

S102.对每组矢量数据，采用传统 Gauss 法求出对应时刻的目标状态矢量，构成初步估计的解集。

由于传统 Gauss 方法输入仅为 3 个数据，所输入的信息有限，本发明考虑多次使用 Gauss 方法以加大数据的利用程度，结合多组数据最终确定的短弧目标轨道根数会更加贴近真实值。

Gauss 法是通过输入三个不同时刻对应的观测位置向量和观测角度向量，求解中间时刻 s_2 的目标位置矢量与目标速度矢量。目标指无动力目标，可以是碎片或者失控卫星等。按照本发明方法将一系列时刻中每三个分为一组，每组数据均采用一次传统 Gauss 法求解得到该组数据中间时刻的目标位置矢量和速度矢量的解。每组矢量数据得到的解的个数可能为 1、2、3。多次调用 Gauss 方法，求出不同时刻对应的目标矢量构成初步估计的解的集合。

步骤 S2.将初步估计的解集拆分为位置分矢量解集和速度分矢量解集，分别进行分群，得到位置分矢量解群和速度分矢量解群。

S201.剔除初步估计的解集中不合理的解。

剔除满足 $|\vec{r}_{t_s}| < 6378.14km$ （地球半径）或者 $|\vec{r}_{t_s}| > 42378km$ （地球同步静止轨道半径）或者 $|\vec{v}_{t_s}| > 11.2km/s$ （第二宇宙速度）任一条件的位置数据和速度数据，其中， $\vec{r}_{t_s}$ 表示 t_s 时刻的目标位置矢量， $\vec{v}_{t_s}$ 表示 t_s 时刻的目标速度矢量。

很显然，满足上述三个条件任一个的解，是不符合常理的解。因此，剔除所求目标位置距离地心小于地球半径或大于地球同步静止轨道半径的目标位置数据以及大于第二宇宙速度的目标速度数据。

S202.将剩余的状态矢量解集拆分为位置分矢量解集和速度分矢量解集，分别进行分群，使得正确的解尽可能在同一个群中，得到位置分矢量解群和速度分矢量解群。

为了将正确的根和错误的根分开，尽量使得正确的根在同一个群，对位置分矢量解集和速度分矢量解集分别进行分群。本发明优选 k-means 聚类方法进行聚类分群（k 取值 2 或者 3），并采用 *Chauvenet's - criterion*（肖维奈准则）判别进行异常数据消除，异常数据是指同一个群中表现异常的数据，例如，离群数据。

若每个时刻对应的位置解个数小于等于 1，则不需要进行 k 均值聚类；若其中任意时刻对应的位置解个数最大为 2，则进行一次 k=2 的 k 均值聚类；若其中任意时刻对应的位置解个数最大为 3，则进行一次 k=3 的 k 均值聚类。速度分矢量解集聚类同上。

S203.对于位置分矢量解群和速度分矢量解群分别进行降噪预处理。

本发明优选基于 *Savitzky - Golay* 滤波方法进行降噪。

所有根经过剔除不合理数据、降噪平滑等处理方式后，能够提升轨迹优选的精确度。

步骤 S3.基于位置分矢量解群和速度分矢量解群，生成二维轨迹解集。

S301.对降噪后的位置分矢量解群和速度分矢量解群进行拟合，构建各个时刻的状态矢量组合。

利用降噪后的数据，进行目标位置分矢量拟合以及目标速度分矢量拟合。时刻 t_s 对应的速度矢量和位置矢量组合为 $(\vec{r}_{t_s}, \vec{v}_{t_s}, t_s)$ 。

S302.根据各个时刻对应的状态矢量组合，生成目标轨道三维轨迹解集。

通过某一时刻 t_s 对应的速度矢量和位置矢量组合 $(\vec{r}_{t_s}, \vec{v}_{t_s}, t_s)$ ，计算出 $(\vec{r}_{t_s}, \vec{v}_{t_s}, t_s)$ 对应的轨道根数 $\{\hat{O}_m = (a_m, e_m, i_m, \Omega_m, \omega_m, M_m)\}$ 。通过轨道根数可以确定三维轨迹解集 $\{\hat{l}_m = (\hat{x}_{t_n}^m, \hat{y}_{t_n}^m, \hat{z}_{t_n}^m, t_n)\}$ 。其中，a 为半长轴，e 为第一偏心率，i 为轨道倾角， Ω 为升交点赤经， ω 为近地点幅角，M 为平近点角， $(\hat{x}_{t_n}^m, \hat{y}_{t_n}^m, \hat{z}_{t_n}^m)$ 为观测轨迹 $\hat{l}_m$ 在 t_n 时刻对应的三维坐标， $m = 1, 2, \dots, N_{sv}$ ，

$n = 0, 1, \dots, k$, N_{sv} 为各个时刻对应的目标位置、速度数据组合所求得的轨道根数的总个数。

S303.根据观测平台测量状态,将目标轨道三维轨迹解集投影到瞬时观测像面,得到二维轨迹解集。

目标轨道三维轨迹解集 $\{\hat{l}_m = (\hat{x}_{t_n}^m, \hat{y}_{t_n}^m, \hat{z}_{t_n}^m, t_n)\}$ 投影到瞬时观测像面上,即可得到二维轨迹解集 $\{\hat{l}_m = (\hat{U}_{t_n}^m, \hat{V}_{t_n}^m, t_n)\}$, 其中, $\hat{l}_m$ 为第 m 条三维观测轨迹, $(\hat{x}_{t_n}^m, \hat{y}_{t_n}^m, \hat{z}_{t_n}^m)$ 为观测轨迹 $\hat{l}_m$ 在在 t_n 时刻对应的三维坐标, $\hat{l}_m$ 为第 m 条估计轨迹, $\hat{U}_{t_n}^m, \hat{V}_{t_n}^m$ 为估计轨迹 $\hat{l}_m$ 在 t_n 时刻对应的像面坐标, $n = 0, 1, \dots, k$, $m = 1, 2, \dots, N_{sv}$ 。

步骤 S4.采用轨迹优选的方法对每条二维轨迹进行评估,计算最优二维轨迹对应轨道根数,完成初轨确定。

S401.对每条二维轨迹,计算导数误差与位置误差。

第 m 条二维轨迹的导数误差的计算公式如下:

$$\Delta uv^m = \sum_{n=0}^k \left[\left| (2t_n \times \hat{U}^m + \hat{U}^m) - (2t_n \times U^{**} + U^{**}) \right| + \left| (2t_n \times \hat{V}^m + \hat{V}^m) - (2t_n \times V^{**} + V^{**}) \right| \right]$$

$$\hat{U}_{t_n}^m = \hat{U}^m t_n^2 + \hat{U}^m t_n + \hat{U}_0^m$$

$$\hat{V}_{t_n}^m = \hat{V}^m t_n^2 + \hat{V}^m t_n + \hat{V}_0^m$$

$$U_{t_n}^* = U^{**} t_n^2 + U^{**} t_n + U_0^*$$

$$V_{t_n}^* = V^{**} t_n^2 + V^{**} t_n + V_0^*$$

其中, U^{**}, V^{**}, U^*, V^* 为二维轨迹 $\{l^* = (U_{t_n}^*, V_{t_n}^*, t_n, n = 0, 1, 2, 3 \dots k)\}$ 的二次多项式拟合参数, $\hat{U}_{t_n}^m, \hat{V}_{t_n}^m$ 为估计轨迹 $\hat{l}_m$ 在 t_n 时刻对应的像面坐标, m 表示第 m 条二维轨迹, k 为观测时刻总数。

相机参数(朝向)保持不变,可以得到各个时刻对目标观测的相面坐标 $(U_{t_n}^*, V_{t_n}^*)$, 对于这些观测数据在 U, V 方向分别做二次多项式拟合, 可以

求得第二项、第四项。

第 m 条二维轨迹的位置误差的计算公式如下：

$$Rl^m = \sum_{n=0}^k \frac{D_{t_n}^m}{Dc_{t_n}^m}$$

$$D_{t_n}^m = \sqrt{(\hat{U}_{t_n}^m - U_{t_n}^*)^2 + (\hat{V}_{t_n}^m - V_{t_n}^*)^2}$$

$$Dc_{t_n}^m = \sqrt{(U_c^m - U_{t_n}^*)^2 + (V_c^m - V_{t_n}^*)^2}$$

其中， $D_{t_n}^m$ 为预测值与观测值之间的像面距离， $Dc_{t_n}^m$ 为估计轨迹与观测轨迹交点和观测点之间的像面距离， t_n 为观测时刻， $\hat{U}_{t_n}^m \hat{V}_{t_n}^m$ 为估计轨迹 l^m 在 t_n 时刻对应的像面坐标， $U_{t_n}^* V_{t_n}^*$ 为观测轨迹 l^* 在 t_n 时刻对应的像面坐标， $U_c^m V_c^m$ 为估计轨迹 l^m 与观测轨迹交点的像面坐标。

S402.综合考虑导数误差与位置误差，选择最优二维轨迹，将其对应的轨道根数作为最佳估计值。

对于第 m 条轨道，分别对导数误差和位置误差从小到大进行排序，得到排名序号 $Rank_{vel,m}$ 和 $Rank_{dis,m}$ ，两者在 $1 \sim N_{sv}$ 之间，并计算两者之和作为最终误差评价：

$$Rank_m = Rank_{vel,m} + Rank_{dis,m}$$

对于最终误差评价，取其最小者 m_{opt} 作为最优二维轨迹：

$$m_{opt} = \arg \min_m \{Rank_m; m = 1, 2, 3 \dots N_{sv}\}$$

其中， N_{sv} 为各个时刻对应的目标位置、速度数据组合所求得的轨道根数的个数。

S403.输出最优二维轨迹对应轨道根数，完成初轨确定。

适用于单一天基成像观测平台，短时间观测条件（大于 5s）下的远距离无动力目标，如碎片、失控卫星等的初轨确定。本发明能够有效解决传统 Gauss 方法难以解决的多根问题，对于原始观测数据的利用更加充分，

利用解群的概念和优选方法提高了初轨道精度，在相同输入误差条件下，本技术方案对短时间观测数据比其他方案表现更佳，即本发明较其他发明对于短弧观测更适用。

实施例 1

如表 1 所示，为实施例 1 中观测卫星与目标轨道根数数据。

表 1

	a (km)	e	$i(^{\circ})$	$u (^{\circ})$	$\Omega(^{\circ})$
观测天基数据	6978.1	0	97.6893	0.1719	275.5927
目标数据	6987.0	7.8e-09	79.1255	4.7555	272.7279

S101.对观测数据进行分组，每 3 个时刻对应的矢量数据分为一组。

对于 $[t_0, t_{170}]$ 共 171 个时刻的输入数据，取间隔参数 $Nrate = 34$ ，将观测数据 $\{\vec{L}_{t_{s1}}, \vec{L}_{t_{s2}}, \vec{L}_{t_{s3}}, \vec{R}_{t_{s1}}, \vec{R}_{t_{s2}}, \vec{R}_{t_{s3}}\}$ 分为一组，其中， $\lfloor \bullet \rfloor$ 表示向下取整， $rate$ 为间隔率 取 $rate = 0.2$ ， $s1 = \lfloor \frac{2*s2+34-170+1}{2} \rfloor$ ， $\lfloor \frac{170-34}{2} \rfloor \leq s2 \leq \lfloor \frac{170+34}{2} \rfloor$ ， $s3 = \lfloor \frac{2*s2-34+170-1}{2} \rfloor$ ， $\vec{R}_{t_i}$ 表示卫星观测位置向量， $\vec{L}_{t_i}$ 表示观测角度向量。

对于表 1 数据下的观测卫星与目标轨道根数，仿真得到表 2 中观测卫星与目标部分位置数据。

表 2

点序号	t (s)	$\vec{r}_t$ (km)			$\hat{L}_t$ (含误差/km)			$\vec{R}_t$ (km)		
		x_{t_s}	y_{t_s}	z_{t_s}	x_{t_s}	y_{t_s}	z_{t_s}	x_{t_s}	y_{t_s}	z_{t_s}
0	0.0	306.30	-6980.14	-52.03	-0.9877	-0.0934	-0.1254	705.00	-6942.43	-1.41
										
34	3.4	311.15	-6980.06	-26.81	-0.9872	-0.09439	-0.1285	701.58	-6942.73	24.01
										
68	6.8	315.99	-6979.90	-1.59	-0.9867	-0.0954	-0.1318	698.15	-6942.94	49.44

										
102	10.2	320.84	-6979.64	23.62	-0.9861	-0.0964	-0.1351	694.71	-6943.06	74.87
										
136	13.6	325.67	-6979.28	48.84	-0.9855	-0.0976	-0.1387	691.26	-6943.09	100.30
										
170	17.0	330.37	-6978.85	73.31	-0.9848	-0.0987	-0.1424	687.80	-6943.01	125.73

步骤 S102.对每组矢量数据,采用传统 Gauss 法求出对应时刻的目标状态矢量,构成初步估计的解集。

对于分组后的单组数据如图 2 所示,点 E 表示坐标系中心,定义观测点与目标之间的距离大小为 ρ_i , 则有:

$$\begin{cases} \vec{r}_1 = \vec{R}_1 + \rho_1 \vec{L}_1 \\ \vec{r}_2 = \vec{R}_2 + \rho_2 \vec{L}_2 \\ \vec{r}_3 = \vec{R}_3 + \rho_3 \vec{L}_3 \end{cases}$$

其中, t_i 时刻卫星观测位置向量和目标对应的位置向量分别为 $\vec{R}_i$ 和 $\vec{r}_i$, 观测时刻 t_1 、 t_2 和 t_3 对应的单位视线向量为 $\vec{L}_1$ 、 $\vec{L}_2$ 和 $\vec{L}_3$, 上式中有 6 个未知量: $\vec{r}_1$ 、 $\vec{r}_2$ 、 $\vec{r}_3$ 和 ρ_1 、 ρ_2 、 ρ_3 ; r_2 为 $\vec{r}_2$ 的模长, 所得目标位置如图 3 所示, 目标速度如图 4 所示, 其中, * 号标记表示计算获得的位置解, + 号标记表示目标实际位置解, ▲ 标记表示观测卫星位置。根据 Gauss 方法, 可求得 $\vec{r}_2$ 的初值以及 $\vec{v}_2$, 本实例中所得数据见表 3, 为实施例 1 中 Gauss 法求取目标位置、速度解群数据。

表 3

序列组合	Point _{t_{s1}} Point _{t_{s2}} Point _{t_{s3}}	Gauss 法位置矢量解集 (km, km, km)	Gauss 法速度矢量解集 (m/s, m/s, m/s)	去除不合理数据后的 位置矢量数据(km, km, km)
1	Point 0, Point 68, Point 136	(-162380.97,-22712.67,- 21732.39); (256.55,-6985.65,-9.53) ;	(1037557.63,47310.82,- 19460.97); (1801.66,79.89,7407.10 59);	(256.55,-6985.65,-9.53) ; (880.40,-6925.32,73.78)

		(880.40,-6925.32,73.78)	(-2171.29,-101.28,7510.17)	
...	...	...	...	...
34	Point 34, Point 102, Point 170	(-145427.83,-21233.37,-19943.24); (247.73,-6986.78,12.88) ; (874.68,-6925.47,98.77)	(948881.44,43250.12,-17276.82); (1892.90,110.84,7404.08); (-2182.56,-74.81,7510.29)	(247.73,-6986.78,12.88) ; (874.68,-6925.47,98.77)

S201.剔除初步估计的解集中不合理的解。

剔除原则为：剔除满足 $|\vec{r}_s| < 6378.14km$, $|\vec{r}_s| > 42378km$, $|\vec{v}_{t_s}| > 11.2km/s$ 的位置，速度数据。本实例中获取位置、速度解见表 4，为实施例 1 中平滑前的目标位置误差数据。

表 4

Set	Point _{t_{s1}} Point _{t_{s2}} Point _{t_{s3}}	优选后的位置矢量 (km,km,km)	仿真位置矢量 (km,km,km)	位置矢量误差 (km,km,km)
1	Point 0, Point 68, Point 136	(256.55,-6985.65,-9.53)	(315.99,-6979.90,-1.59)	(59.44,5.74,7.94)
		(880.40,-6925.32,73.78)		(-564.40,-54.57,-75.38)
...	...	...	...	...
34	Point 34, Point 102, Point 170	(247.73,-6986.78,12.88)	(320.84,-6979.64,23.62)	(73.10,7.14,10.73)
		(874.68,-6925.47,98.77)		(-553.84,-54.16,-75.14)

可表示如下：

$$\left\{ \left(\vec{r}_{t_s}^m, t_s \right); m = 1, 2, 3 \dots N; \left(\left\lfloor \frac{170-34}{2} \right\rfloor \leq s \leq \left\lfloor \frac{170+34}{2} \right\rfloor \right) \right\}$$

$$\left\{ \left(\vec{v}_{t_s}^m, t_s \right); m=1, 2, 3 \dots N; \left(\left\lfloor \frac{170-34}{2} \right\rfloor \leq s \leq \left\lfloor \frac{170+34}{2} \right\rfloor \right) \right\}$$

其中，N 表示经过剔除不合理数据后，剩余的位置或速度解的个数。

S202.将剩余的状态矢量解集拆分为位置分矢量解集和速度分矢量解集，分别进行分群，使得正确的解尽可能在同一个群中，得到位置分矢量解群和速度分矢量解群。

对所求的 $\left\{ \left(\vec{r}_{t_s}^m, t_s \right), \left(\vec{v}_{t_s}^m, t_s \right); m=1, 2, 3 \dots N; \left(\left\lfloor \frac{170-34}{2} \right\rfloor \leq s \leq \left\lfloor \frac{170+34}{2} \right\rfloor \right) \right\}$ 分别进行 k 均值聚类，优选的，若所有时刻对应的位置解个数为 1，则不需要进行 k 均值聚类，若其中任意时刻对应的位置解个数最大为 2，则进行一次 k 为 2 的 k 均值聚类；若其中任意时刻对应的位置解个数最大为 3，则进行 1 次 k 为 3 的 k 均值聚类，速度解聚类同上。

以位置解为例，聚类结果如图 5 所示，其中，*号标记点为类 1，o 号标记点为类 2，+号标记点为目标实际位置，▲标记点为观测卫星位置，本实例中数据可见表 5，为实施例 1 中平滑后的目标位置误差数据。

表 5

	a (km)	e	$incl$ (°)	ω (°)	Ω (°)	M (°)	u (°)
目标数据	6987.0	7.8e-09	79.1255	/	272.7279	/	4.7555
本方法 数据	6928.366	0.008	80.6249	185.7025	272.7467	173.7632	-0.5343
原始 Gauss 法 解数据 1	-0.236	143393.4	84.1812	88.1617	2.7930	0	88.1617
原始 Gauss 法 解数据 2	8447.614	0.1748	112.7304	11.4240	278.8715	352.7453	4.1693
原始 Gauss 法	6805.225	0.0262	86.0354	189.0760	273.7521	170.6514	-0.2726

解数据 3							
-------	--	--	--	--	--	--	--

实施例 1 采用 *Chauvenet's-criterion* (肖维奈准则) 判别进行异常数据消除

取置信概率为 $1 - \frac{1}{2n}$ 时, *Chauvenet's-criterion* 的置信概率公式可表示为:

$$w_n = 1 + 0.4 \ln(n)。$$

对于待检测值 x_i , 计算其与样本均值之间做差的绝对值, 如若满足下式, 则剔除当前待检测值: $|x_i - \bar{x}| > w_n S_x$ 。其中, x_i 为待检测值, 此处选取位置、速度向量在 (x, y, z) 三个方向上的分量分别进行三次检测, 若任意一次满足则剔除, $\bar{x}$ 为此类样本均值, w_n 为肖维奈准则的置信概率, S_x 为此类样本标准差。

S203. 对于位置分矢量解群和速度分矢量解群分别进行降噪预处理。

本发明优选基于 *Savitzky-Golay* 滤波方法进行降噪, 处理如下:

$$\begin{pmatrix} \bar{x}_{t_{s-2}} & \bar{x}_{t_{s-1}} & \bar{x}_{t_s} & \bar{x}_{t_{s+1}} & \bar{x}_{t_{s+2}} \\ \bar{y}_{t_{s-2}} & \bar{y}_{t_{s-1}} & \bar{y}_{t_s} & \bar{y}_{t_{s+1}} & \bar{y}_{t_{s+2}} \\ \bar{z}_{t_{s-2}} & \bar{z}_{t_{s-1}} & \bar{z}_{t_s} & \bar{z}_{t_{s+1}} & \bar{z}_{t_{s+2}} \end{pmatrix}^T = \frac{1}{70} \begin{pmatrix} 69 & 4 & -6 & 4 & -1 \\ 4 & 54 & 24 & -16 & 4 \\ -6 & 24 & 34 & 24 & -6 \\ 4 & -16 & 24 & 54 & 4 \\ -1 & 4 & -6 & 4 & 69 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{t_{s-2}} & x_{t_{s-1}} & x_{t_s} & x_{t_{s+1}} & x_{t_{s+2}} \\ y_{t_{s-2}} & y_{t_{s-1}} & y_{t_s} & y_{t_{s+1}} & y_{t_{s+2}} \\ z_{t_{s-2}} & z_{t_{s-1}} & z_{t_s} & z_{t_{s+1}} & z_{t_{s+2}} \end{pmatrix}^T$$

使用上述五点三阶模板平滑后能够有效地在 (x, y, z) 三方向上分别降噪, 平滑后的位置数据在解空间内将更加集中, 以位置解群为例, 平滑前后的结果如图 6 所示, 其中, * 标记点为平滑前目标位置, o 标记点为平滑后目标位置。

S301. 对降噪后的位置分矢量解群和速度分矢量解群进行拟合, 构建各个时刻的状态矢量组合。

对于平滑降噪后的数据, 在 x, y, z 三个方向上分别作二次多项式拟合, 计算各个中间时刻 $\left\{ t_s'; \left[\frac{170-34}{2} \right] \leq s \leq \left[\frac{170+34}{2} \right] \right\}$ 对应的目标位置在 x, y, z 分量上的估计值后可组合得到对应的位置修正估计值

$\left(\vec{r}_{t_s}'; \left\lfloor \frac{170-34}{2} \right\rfloor \leq s \leq \left\lfloor \frac{170+34}{2} \right\rfloor\right)$ 与速度修正估计值 $\left(\vec{r}_{t_s}'; \left\lfloor \frac{170-34}{2} \right\rfloor \leq s \leq \left\lfloor \frac{170+34}{2} \right\rfloor\right)$ 。

S302.根据各个时刻对应的状态矢量组合,生成目标轨道三维轨迹解集。

S303.根据观测平台测量状态,将目标轨道三维轨迹解集投影到瞬时观测像面得到二维轨迹解集。

寻找相同时间下对应的目标拟合位置进行组合,得到 $2 \times 2 \times 34$ 对位置、速度时间组合 $(\vec{r}_{t_s}', \vec{v}_{t_s}', t_s)$, 计算其对应的轨道根数 $\{\hat{O}_m = (a_m, e_m, incl_m, \omega_m, M_m, \Omega_m); m=1, 2, 3, \dots, N_{sv}\}$ 、对应的目标轨道 $\{\hat{l}_m = (\hat{x}_{t_n}^m, \hat{y}_{t_n}^m, \hat{z}_{t_n}^m, t_n, n=0, 1, 2, 3, \dots, k); m=1, 2, 3, \dots, N_{sv}\}$ 以及目标轨道投影到像平面上的轨迹: $\{l_m' = (\hat{U}_{t_n}^m, \hat{V}_{t_n}^m, t_n, n=0, 1, 2, 3, \dots, k); m=1, 2, 3, \dots, N_{sv}\}$, 所得目标预测轨道如图 7 所示, 其中, $\cdot$ 号标记点表示估计轨道, $\circ$ 号标记点表示目标仿真轨道。

S401.对每条二维轨迹,计算导数误差与位置误差。

第 m 条二维轨迹的导数误差的计算公式如下:

$$\Delta uv^m = \sum_{n=0}^k \left[\left| (2t_n \times \hat{U}^m + \hat{U}^m) - (2t_n \times U^{**} + U^{**}) \right| + \left| (2t_n \times \hat{V}^m + \hat{V}^m) - (2t_n \times V^{**} + V^{**}) \right| \right]$$

$$\hat{U}_{t_n}^m = \hat{U}^m t_n^2 + \hat{U}^m t_n + \hat{U}_0^m$$

$$\hat{V}_{t_n}^m = \hat{V}^m t_n^2 + \hat{V}^m t_n + \hat{V}_0^m$$

$$U_{t_n}^* = U^{**} t_n^2 + U^{**} t_n + U_0^*$$

$$V_{t_n}^* = V^{**} t_n^2 + V^{**} t_n + V_0^*$$

其中, U^{**}, V^{**}, U^*, V^* 为二维轨迹 $\{l^* = (U_{t_n}^*, V_{t_n}^*, t_n, n=0, 1, 2, 3, \dots, k)\}$ 的二次多项式拟合参数, $\hat{U}_{t_n}^m, \hat{V}_{t_n}^m$ 为估计轨迹 $\{l^m\}$ 在 t_n 时刻对应的像面坐标, m 表示第 m 条二维轨迹, k 为观测时刻总数。

相机参数(朝向)保持不变,可以得到各个时刻对目标观测的相面坐标 $(U_{t_n}^*, V_{t_n}^*)$, 对于这些观测数据在 U, V 方向分别做二次多项式拟合, 可以

求得第二项、第四项。

第 m 条二维轨迹的位置误差的计算公式如下：

$$Rl^m = \sum_{n=0}^k \frac{D_{t_n}^m}{Dc_{t_n}^m}$$

$$D_{t_n}^m = \sqrt{(\hat{U}_{t_n}^m - U_{t_n}^*)^2 + (\hat{V}_{t_n}^m - V_{t_n}^*)^2}$$

$$Dc_{t_n}^m = \sqrt{(U_c^m - U_{t_n}^*)^2 + (V_c^m - V_{t_n}^*)^2}$$

其中， $D_{t_n}^m$ 为预测值与观测值之间的像面距离， $Dc_{t_n}^m$ 为估计轨迹与观测轨迹交点和观测点之间的像面距离， t_n 为观测时刻， $\hat{U}_{t_n}^m \hat{V}_{t_n}^m$ 为估计轨迹 l^m 在 t_n 时刻对应的像面坐标， $U_{t_n}^* V_{t_n}^*$ 为观测轨迹 l^* 在 t_n 时刻对应的像面坐标； $U_c^m V_c^m$ 为估计轨迹 l^m 与观测轨迹交点的像面坐标。

S402.综合考虑导数误差与位置误差，选择最优二维轨迹，将其对应的轨道根数作为最佳估计值。

对于第 m 条轨道，分别对导数误差和位置误差从小到大进行排序，得到排名序号 $Rank_{vel,m}$ 和 $Rank_{dis,m}$ ，两者在 $1 \sim N_{sv}$ 之间，并计算两者之和作为最终误差评价：

$$Rank_m = Rank_{vel,m} + Rank_{dis,m}$$

对于最终误差评价，取其最小者 m_{opt} 作为最佳预测轨迹：

$$m_{opt} = \arg \min_m \{Rank_m; m = 1, 2, 3 \dots N_{sv}\}$$

其中， N_{sv} 为各个时刻对应的目标位置、速度数据组合所求得的轨道根数的个数。

S403.输出最优二维轨迹对应轨道根数，完成初轨确定。

如图 8 所示，其中，·号标记点为所有估计轨道，▲表示优选的估计轨道，○号标记点为目标仿真轨道。

以上，仅为本申请较佳的具体实施方式，但本申请的保护范围并不局

限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内，可轻易想到的变化或替换，都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此，本申请的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

权 利 要 求

1.一种基于 Gauss 解群优选的短弧初轨确定方法，其特征在于，该方法包括以下步骤：

S1.将观测数据进行分组，对每组数据，采用 Gauss 方法求出对应时刻的目标状态矢量，构成初步估计的解集；

S2.将初步估计的解集拆分为位置分矢量解集和速度分矢量解集，分别进行分群，得到位置分矢量解群和速度分矢量解群；

S3.基于位置分矢量解群和速度分矢量解群，生成二维轨迹解集；

S4.采用轨迹优选的方法对每条二维轨迹进行评估，计算最优二维轨迹对应轨道根数，完成初轨确定。

2.如权利要求 1 所述的短弧初轨确定方法，其特征在于，步骤 S1 包括以下子步骤：

S101.对观测数据进行分组，每 3 个时刻对应的矢量数据分为一组；

S102.对每组矢量数据，采用传统 Gauss 法求出对应时刻的目标状态矢量，构成初步估计的解集。

3.如权利要求 2 所述的短弧初轨确定方法，其特征在于，假定观测时刻为 $[t_0, t_k]$ ， $k+1 \geq 3$ ，对于 $[t_0, t_k]$ 共 $k+1$ 个时刻的输入数据，取间隔参数 $Nrate = \lfloor rate * k \rfloor$ ，其中， $\lfloor \bullet \rfloor$ 表示向下取整， $rate$ 为间隔率，分组后的观测数据表示为 $\{\vec{L}_{t_{s1}}, \vec{L}_{t_{s2}}, \vec{L}_{t_{s3}}, \vec{R}_{t_{s1}}, \vec{R}_{t_{s2}}, \vec{R}_{t_{s3}}\}$ ，其中， $\vec{R}_{t_s}$ 表示卫星观测位置矢量， $\vec{L}_{t_s}$ 表示观测角度矢量， $\left\lfloor \frac{k - Nrate}{2} \right\rfloor \leq s2 \leq \left\lfloor \frac{k + Nrate}{2} \right\rfloor$ ， $s1 = \left\lfloor \frac{2 * s2 + Nrate - k + 1}{2} \right\rfloor$ ， $s3 = \left\lfloor \frac{2 * s2 - Nrate + k - 1}{2} \right\rfloor$ 。

4.如权利要求 1 所述的短弧初轨确定方法，其特征在于，步骤 S2 包括以下子步骤：

S201.剔除初步估计的解集中不合理的解；

S202.将剩余的状态矢量解集拆分为位置分矢量解集和速度分矢量解集，分别进行分群，使得正确的解尽可能在同一个群中，得到位置分矢量解群和速度分矢量解群；

S203.对于位置分矢量解群和速度分矢量解群分别进行降噪预处理。

5.如权利要求 4 所述的短弧初轨确定方法，其特征在于，剔除满足 $|\vec{r}_{t_s}| < 6378.14km$ 或者 $|\vec{r}_{t_s}| > 42378km$ 或者 $|\vec{v}_{t_s}| > 11.2km/s$ 任一条件的位置数据和速度数据，其中， $\vec{r}_{t_s}$ 表示 t_s 时刻的目标位置矢量， $\vec{v}_{t_s}$ 表示 t_s 时刻的目标速度矢量。

6.如权利要求 4 所述的短弧初轨确定方法，其特征在于，步骤 S202 中采用 k-means 聚类方法进行聚类分群，并采用 *Chauvenet's-criterion* 判别进行异常数据消除。

7.如权利要求 1 所述的短弧初轨确定方法，其特征在于，步骤 S3 包括以下子步骤：

S301.对降噪后的位置分矢量解群和速度分矢量解群进行拟合，构建各个时刻的状态矢量组合；

S302.根据各个时刻对应的状态矢量组合，生成目标轨道三维轨迹解集；

S303.根据观测平台测量状态，将目标轨道三维轨迹解集投影到瞬时观测像面，得到二维轨迹解集。

8.如权利要求 1 所述的短弧初轨确定方法，其特征在于，步骤 S4 包括以下子步骤：

S401.对每条二维轨迹,计算导数误差与位置误差；

第 m 条二维轨迹的导数误差的计算公式如下：

$$\Delta uv^m = \sum_{n=0}^k \left[\left| (2t_n \times \hat{U}^{mm} + \hat{U}^{m'}) - (2t_n \times U^{**} + U^{*'}) \right| + \left| (2t_n \times \hat{V}^{mm} + \hat{V}^{m'}) - (2t_n \times V^{**} + V^{*'}) \right| \right]$$

$$\hat{U}_{t_n}^m = \hat{U}^{mm} t_n^2 + \hat{U}^{m'} t_n + \hat{U}_0^m$$

$$\hat{V}_{t_n}^m = \hat{V}^{mm} t_n^2 + \hat{V}^{im} t_n + \hat{V}_0^m$$

$$U_{t_n}^* = U^{n*} t_n^2 + U^{i*} t_n + U_0^*$$

$$V_{t_n}^* = V^{n*} t_n^2 + V^{i*} t_n + V_0^*$$

其中, U^{n*} , V^{n*} , U^{i*} , V^{i*} 为二维轨迹 $\{l^* = (U_{t_n}^*, V_{t_n}^*, t_n, n = 0, 1, 2, 3 \dots k)\}$ 的二次多项式拟合参数, $\hat{U}_{t_n}^m$ $\hat{V}_{t_n}^m$ 为估计轨迹 $\{l^m\}_{\Sigma\Sigma}$ 在 t_n 时刻对应的像面坐标, m 表示第 m 条二维轨迹, k 为观测时刻总数;

第 m 条二维轨迹的位置误差的计算公式如下:

$$Rl^m = \sum_{n=0}^k \frac{D_{t_n}^m}{Dc_{t_n}^m}$$

$$D_{t_n}^m = \sqrt{(\hat{U}_{t_n}^m - U_{t_n}^*)^2 + (\hat{V}_{t_n}^m - V_{t_n}^*)^2}$$

$$Dc_{t_n}^m = \sqrt{(U_c^m - U_{t_n}^*)^2 + (V_c^m - V_{t_n}^*)^2}$$

其中, $D_{t_n}^m$ 为预测值与观测值之间的像面距离, $Dc_{t_n}^m$ 为估计轨迹与观测轨迹交点和观测点之间的像面距离, t_n 为观测时刻, $\hat{U}_{t_n}^m$ $\hat{V}_{t_n}^m$ 为估计轨迹 $\{l^m\}_{\Sigma\Sigma}$ 在 t_n 时刻对应的像面坐标, $U_{t_n}^*$ $V_{t_n}^*$ 为观测轨迹 l^* 在 t_n 时刻对应的像面坐标; U_c^m V_c^m 为估计轨迹 $\{l^m\}_{\Sigma\Sigma}$ 与观测轨迹交点的像面坐标;

S402.综合考虑导数误差与位置误差, 选择最优二维轨迹, 将其对应的轨道根数作为最佳估计值;

S403.输出最优二维轨迹对应轨道根数, 完成初轨确定。

9.如权利要求 8 所述的短弧初轨确定方法, 其特征在于, 步骤 S402 具体为:

对于第 m 条轨道, 分别对导数误差和位置误差从小到大进行排序, 得到排名序号 $Rank_{vel,m}$ 和 $Rank_{dis,m}$, 两者在 $1 \sim N_{sv}$ 之间, 并计算两者之和作为最终误差评价:

$$Rank_m = Rank_{vel,m} + Rank_{dis,m}$$

对于最终误差评价，取其最小者 m_{opt} 作为最佳预测轨迹：

$$m_{opt} = \arg \min_m \{Rank_m; m = 1, 2, 3 \dots N_{sv}\}$$

其中， N_{sv} 为各个时刻对应的目标位置、速度数据组合所求得的轨道根数的个数。

10. 一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质上存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求 1 至 9 任一项所述的短弧初轨确定方法。

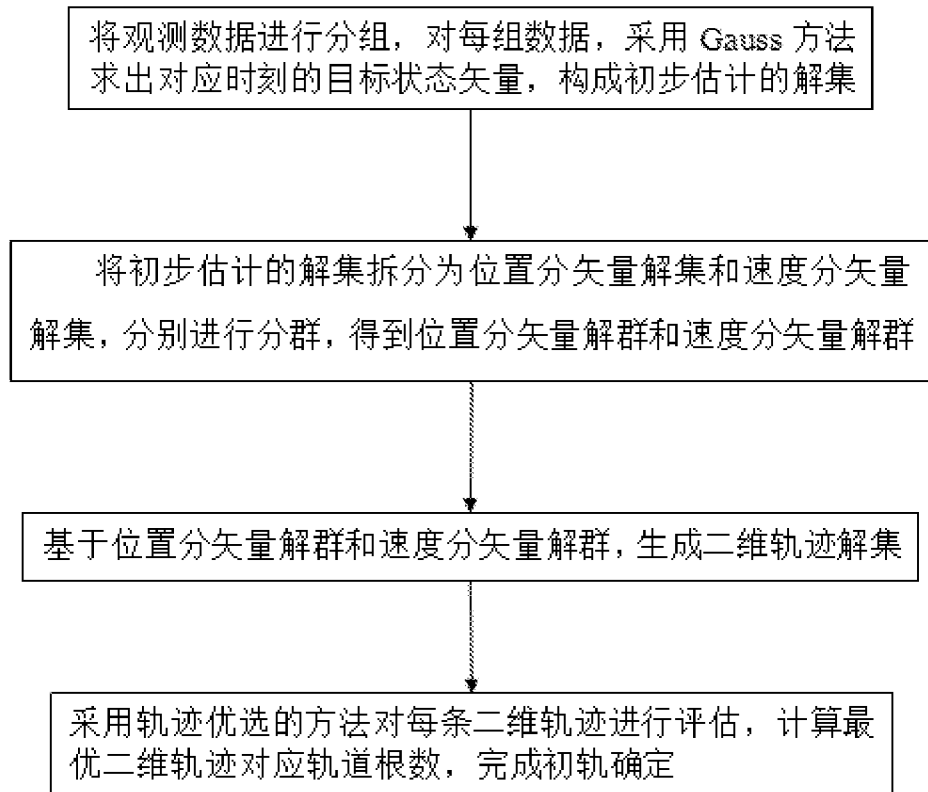


图 1

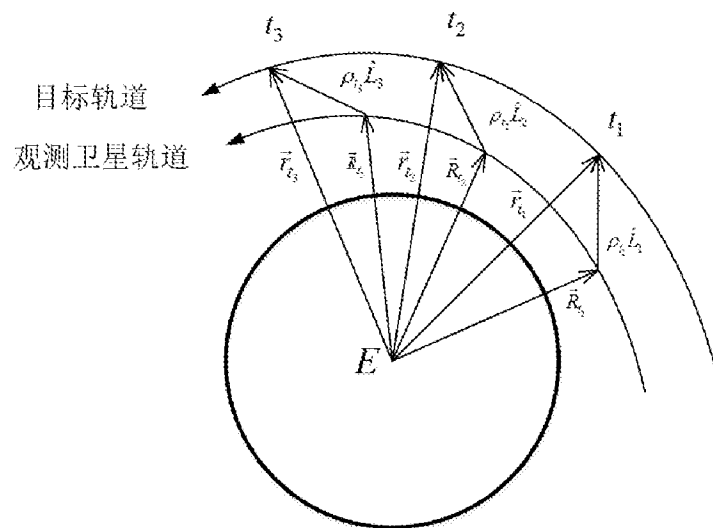


图 2

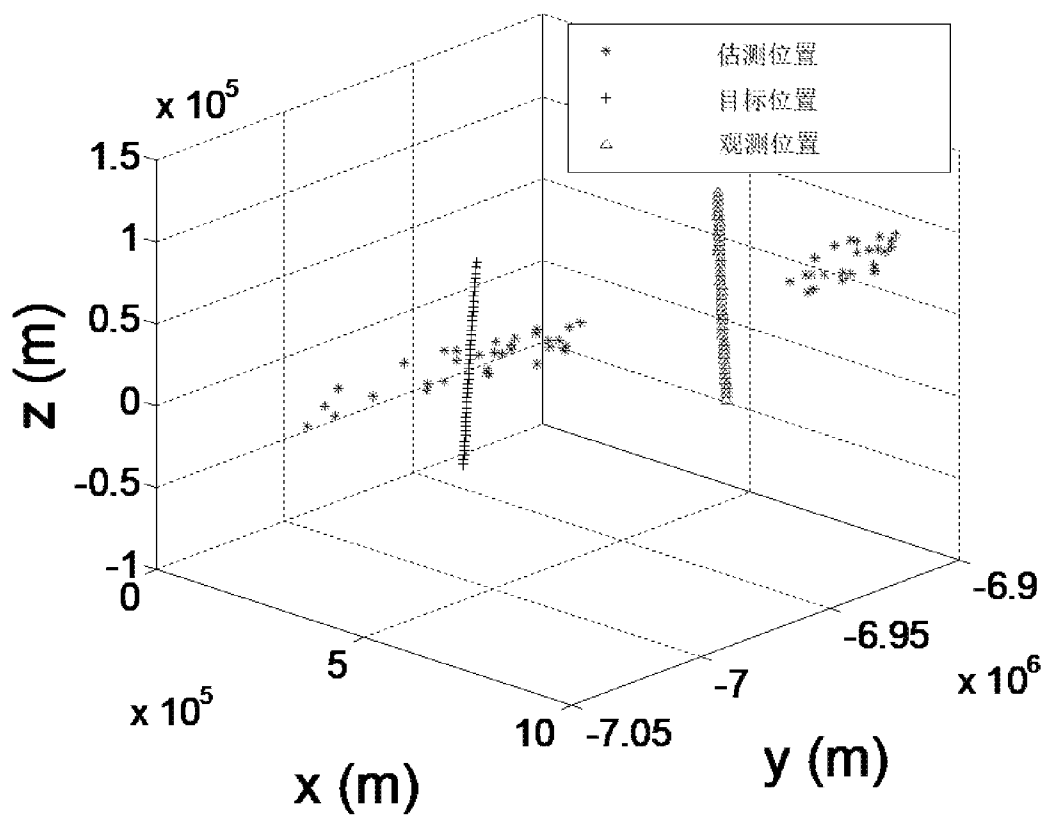


图 3

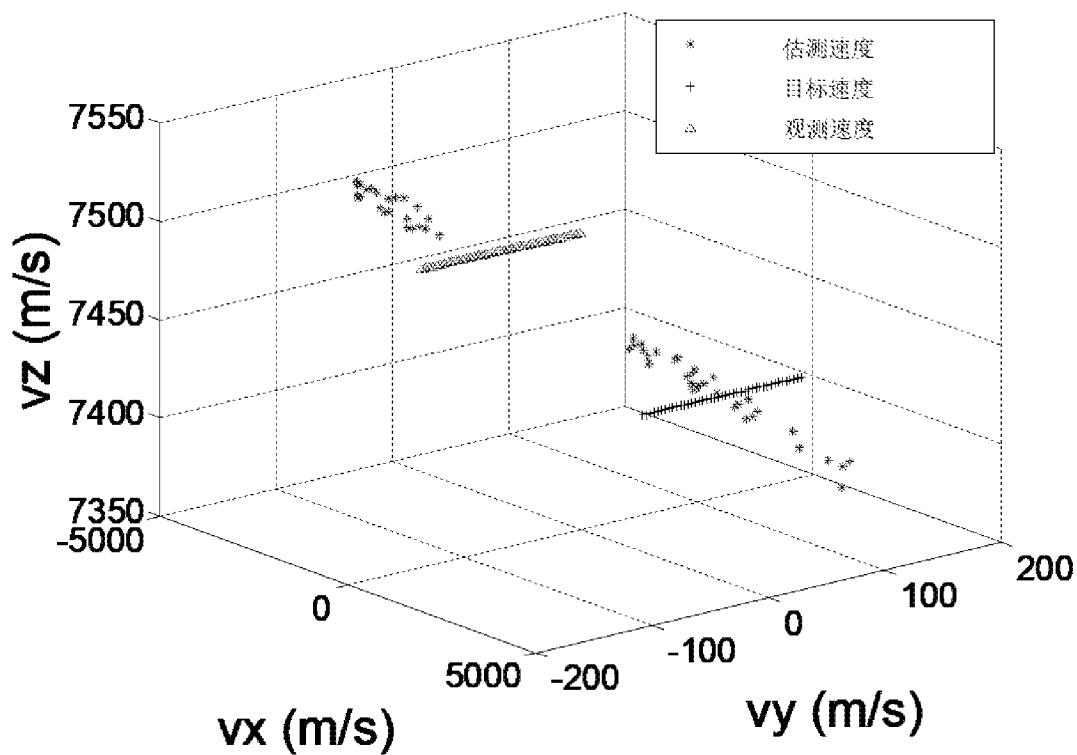


图 4

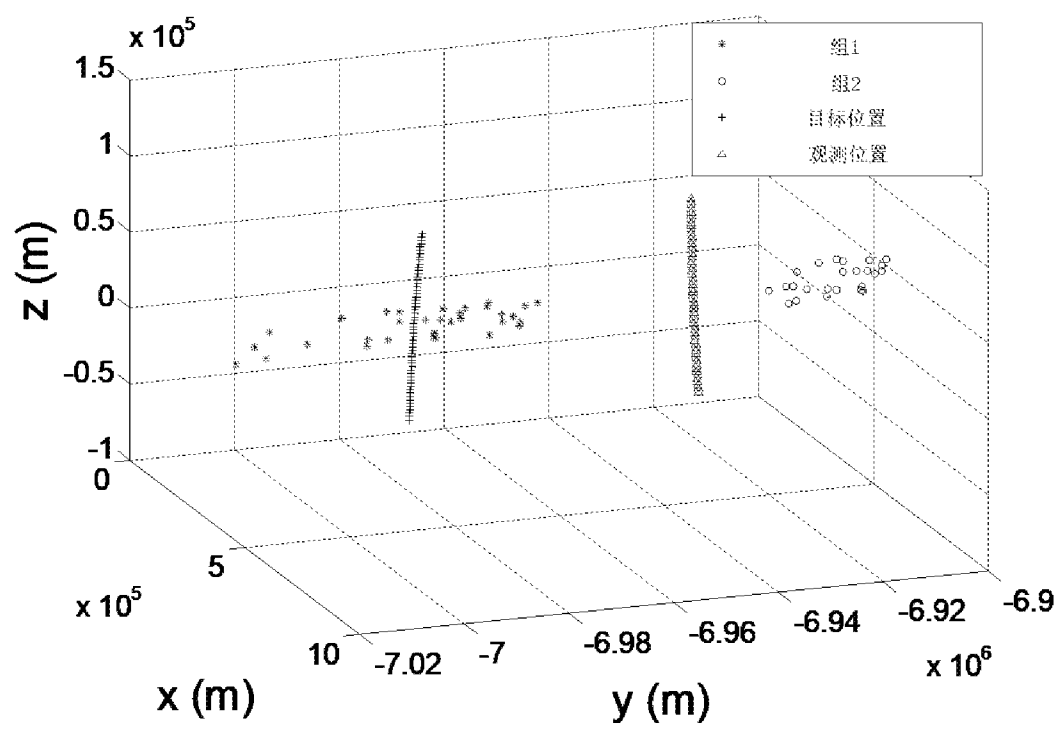


图 5

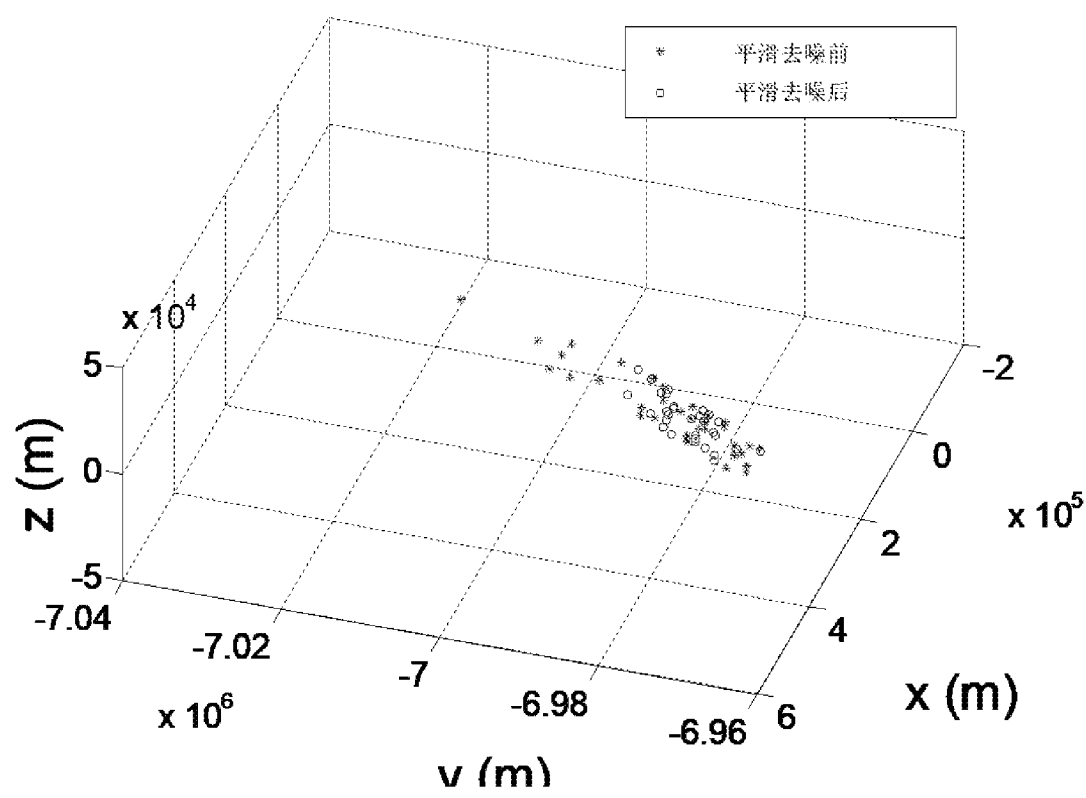


图 6

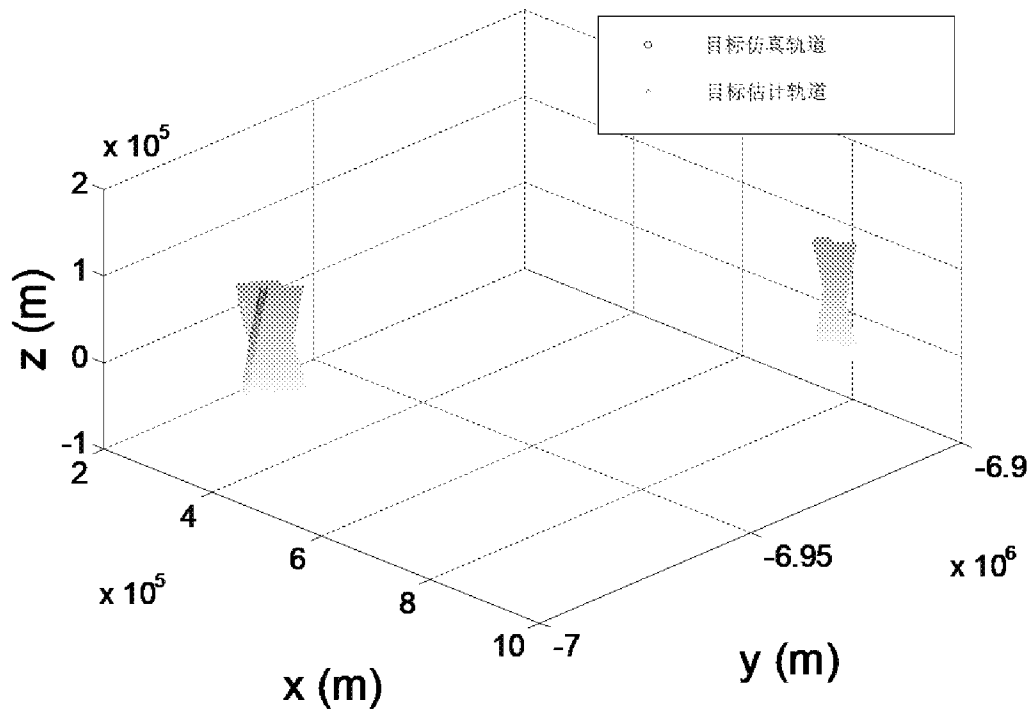


图 7

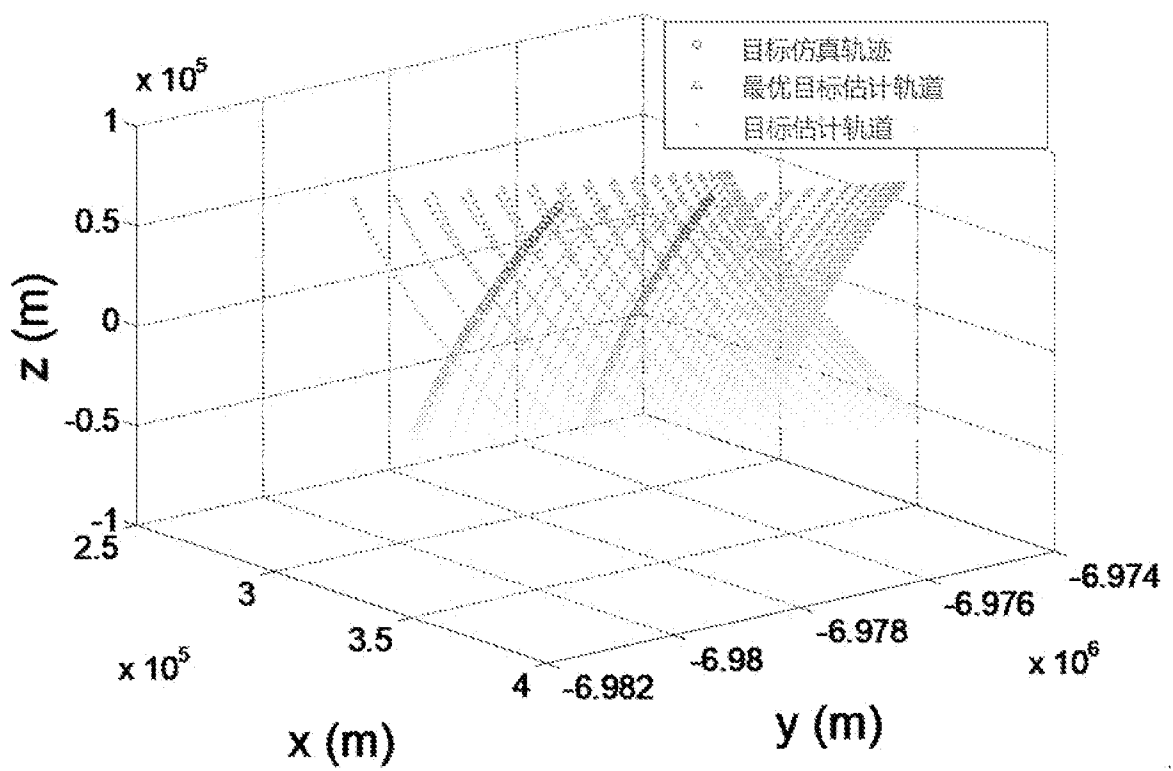


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/107186

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01C 21/02(2006.01)i; G01C 21/20(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 华中科技大学, 方力, 胡静, 蒋侃, 康慷慷, 李彬哲, 熊涛, 高翔, 轨道, 高斯, 评估, 速度, 观察, 天文, 轨迹, 评优, 矢量, 二维, 行星, 卫星, 定轨, 观测, 位置, 初轨, 聚类, 评价, 短弧, k-means, trajectory+, orbit+, Gauss +, velocity+, vector+, two-dimension+, satellit+, position+, planet+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 110017832 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 16 July 2019 (2019-07-16) claims 1-10	1-10
A	CN 104457705 A (BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 25 March 2015 (2015-03-25) description, paragraphs [0039]-[0071], and figure 1	1-10
A	CN 103364836 A (CHINA XI'AN SATELLITE CONTROL CENTER) 23 October 2013 (2013-10-23) entire document	1-10
A	CN 103927289 A (SHANGHAI ENGINEERING CENTER FOR MICROSATELLITES) 16 July 2014 (2014-07-16) entire document	1-10
A	CN 107153209 A (WUHAN UNIVERSITY) 12 September 2017 (2017-09-12) entire document	1-10
A	US 6237876 B1 (SPACE SYSTEMS/LORAL, INC.) 29 May 2001 (2001-05-29) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 November 2019

Date of mailing of the international search report

25 December 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/107186

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
CN	110017832	A	16 July 2019	None		
CN	104457705	A	25 March 2015	CN	104457705	B 26 October 2016
CN	103364836	A	23 October 2013	None		
CN	103927289	A	16 July 2014	CN	103927289	B 27 June 2017
CN	107153209	A	12 September 2017	CN	107153209	B 30 July 2019
US	6237876	B1	29 May 2001	None		

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/107186

A. 主题的分类

G01C 21/02(2006.01)i; G01C 21/20(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G01C

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNPAT, CNKI, WPI, EP0D0C: 华中科技大学, 方力, 胡静, 蒋侃, 康慷慷, 李彬哲, 熊涛, 高翔, 轨道, 高斯, 评估, 速度, 观察, 天文, 轨迹, 评优, 矢量, 二维, 行星, 卫星, 定轨, 观测, 位置, 初轨, 聚类, 评价, 短弧, k-means, trajectory+, orbit+, Gauss+, velocity+, vector+, two-dimension+, satellit+, position+, planet+

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 110017832 A (华中科技大学) 2019年 7月 16日 (2019 - 07 - 16) 权利要求1-10	1-10
A	CN 104457705 A (北京理工大学) 2015年 3月 25日 (2015 - 03 - 25) 说明书第[0039]-[0071]段、附图1	1-10
A	CN 103364836 A (中国西安卫星测控中心) 2013年 10月 23日 (2013 - 10 - 23) 全文	1-10
A	CN 103927289 A (上海微小卫星工程中心) 2014年 7月 16日 (2014 - 07 - 16) 全文	1-10
A	CN 107153209 A (武汉大学) 2017年 9月 12日 (2017 - 09 - 12) 全文	1-10
A	US 6237876 B1 (SPACE SYSTEMS/LORAL, INC.) 2001年 5月 29日 (2001 - 05 - 29) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2019年 11月 22日

国际检索报告邮寄日期

2019年 12月 25日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局(ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

朱艳华

电话号码 86-(10)-53962567

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/107186

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	110017832	A	2019年 7月 16日	无	
CN	104457705	A	2015年 3月 25日	CN 104457705	B 2016年 10月 26日
CN	103364836	A	2013年 10月 23日	无	
CN	103927289	A	2014年 7月 16日	CN 103927289	B 2017年 6月 27日
CN	107153209	A	2017年 9月 12日	CN 107153209	B 2019年 7月 30日
US	6237876	B1	2001年 5月 29日	无	