

基于 TDOA 的弹箭残骸轨迹定位监测技术研究*

王 佩¹, 徐 珊¹, 熊 伟², 朱博弢², 陈 略³

(1. 西北工业大学航天学院, 西安 710072; 2. 上海航天电子技术研究所, 上海 201100;

3. 北京航天飞行控制中心, 北京 100094)

摘 要:弹箭残骸舱段的准确定位和连续监测是实现弹箭残骸舱段回收的关键技术之一。根据弹箭残骸飞行轨迹的特点, 基于多站到达时间差(time difference of arrival, TDOA)无源定位原理, 设计了弹箭残骸舱段轨迹定位监测技术方案, 根据多基站接收到弹箭残骸舱段主动辐射信号的时间差信息, 采用 Chan 算法完成对弹箭残骸舱段位置信息的解算, 实现对弹箭残骸舱段轨迹的连续监测。采用火箭回收舱段飞行轨迹数据, 对弹箭残骸舱段监测技术方案的可行性进行了仿真验证, 通过定位精度对比试验, 分析了基站距离和基站构型对弹箭残骸舱段轨迹监测效果的影响, 仿真计算结果表明: 在正方形构型下, 基站间距离越大, 残骸舱段定位精度越高; 在菱形、Y 字型、正方形三种构型中, 菱形构型定位精度最好。

关键词:弹箭残骸; 无源定位; Chan 算法; 定位精度; 舱段回收

中图分类号:TP391; TJ415

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1002-0640.2023.11.021

引用格式:王佩, 徐珊, 熊伟, 等. 基于 TDOA 的弹箭残骸轨迹定位监测技术研究[J]. 火力与指挥控制, 2023, 48(11): 139-144.

Research on Trajectory Monitoring Technology of Missile and Rocket Wreckage Based on TDOA

WANG Pei¹, XU Shan¹, XIONG Wei², ZHU Botao², CHEN Lue³

(1. College of Aerospace, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2. Shanghai Aerospace Electronic Technology institute, Shanghai 201100, China;

3. Beijing Aerospace Control Center, Beijing 100094, China)

Abstract: The accurate location and continuous monitoring of missile and rocket wreckage is one of the key technologies to realize the recovery of missile and rocket wreckage. According to the characteristics of the flight trajectory of the missile and rocket wreckage, based on the multi-station time difference of arrival passive positioning principle, a technical solution for trajectory monitoring of the missile and rocket wreckage is designed. According to the time difference information of the missile and rocket wreckage active radiation signals received by multiple base stations, the Chan algorithm is used to locate the position of the missile and rocket wreckage for continuous monitoring of the wreckage trajectory. The feasibility of the technical scheme for trajectory monitoring of missile and rocket wreckage is verified by simulation using flight trajectory data of the rocket recovery cabin. The influence of base station distance and base station configuration on trajectory monitoring effect of missile and rocket wreckage cabin section is analyzed through positioning accuracy comparison test. The calculation results show that: in the square configuration, the greater the distance between the base stations, the higher the positioning accuracy; among the three configurations of diamond, Y-shaped and

收稿日期: 2022-09-01

修回日期: 2022-11-07

* 基金项目: 上海航天科技创新基金资助项目(SAST2019-101)

作者简介: 王 佩(1983—), 男, 河南安阳人, 博士, 副研究员。研究方向: 组合导航、无源定位算法。

square, the diamond configuration has the best positioning accuracy.

Key words: missile and rocket wreckage; passive location; Chan algorithm; positioning accuracy; cabin recovery

Citation format: WANG P, XU S, XIONG W, et al. Research on trajectory monitoring technology of missile and rocket wreckage based on TDOA[J]. Fire Control & Command Control, 2023, 48(11): 139-144.

0 引言

运载火箭是目前世界各国进入太空活动的主要运输工具,而绝大多数火箭使用的是一次性发动机。研究表明,向太空投送质量 1 kg 的物质需要花费 1~2 万美元的成本^[1-2],高昂的代价成为限制各国航天工程发展的主要因素之一。随着弹箭系统模块化、多任务需求的日益提高,对弹箭发射后部分舱段或残骸进行回收利用逐渐成为了研究热点^[3-4],弹箭残骸的回收不仅有利于重复使用降低发射成本,更是获得弹箭飞行技术资料最直接有效的方法,将为产品性能分析和故障排除提供可靠的原始资料。因此,开展弹箭残骸回收技术研究在经济效益和工程应用上都非常迫切。弹箭残骸舱段的回收存在着陆区域范围广、地形地貌复杂、特殊任务下回收时间窗口有限等问题。因此,对弹箭残骸舱段的高精度轨迹监测成为了实现弹箭残骸舱段可靠回收的关键。如果在弹箭残骸舱段上布装 1~3 类主动辐射源发射定位信号,使用作用距离远、电磁辐射隐蔽性强的无源探测技术,对高速降落过程中的弹箭残骸舱段能够进行快速定位,将为弹箭残骸舱段的可靠回收提供有效的信息支撑,同时该技术也可应用于返回式航天器、弹箭试验装置的回收,在民用航天和深空探测领域均有广泛的应用前景。

1 弹箭残骸轨迹无源监测方案设计

对于多站无源定位技术来说,按照所采用的观测测量分为基于时间信息的到达时间差定位技术^[5],基于角度信息的到达角定位技术,基于频率信息的多普勒频差定位技术和一些联合定位技术^[6-7]。其中,达角定位技术通过计算基站与辐射源信号间方位线的交点来求解辐射源位置,因距离依赖性强存在定位精度不高的缺陷;多普勒频差定位的前提是事先获得辐射源信号到达各个基站的频率为前提,测量误差较大,且在辐射源为低重频脉冲信号源时容易产生定位模糊;时差定位利用辐射源脉冲信号到达多个基站的时间差求解目标辐射源的位置,定位技术简单,探测区域广,能够实现对目标辐射源的瞬时定位,应用较为广泛^[8-10]。鉴于上述原因,采

用多站到达时间差定位(TDOA)体制设计弹箭残骸轨迹无源监测方案,该方案由 1 个主动辐射信号源和 4 个地面基站组成,如图 1 所示。定位原理是记录主站和各副站接收到辐射源信号的时刻,计算主站与各副站之间接收到定位信号的时间差,然后对目标的位置进行解算。



图 1 弹道残骸舱段轨迹无源监测系统原理图

Fig.1 Schematic diagram of passive monitoring system for trajectory of missile and rocket wreckage cabin section

地面站的位置信息可以通过 GPS 或者北斗等定位系统测量出精确的位置信息,记为主站 (x_0, y_0, z_0) 和辅站 $(x_i, y_i, z_i) (i=1, 2, 3)$,火箭残骸舱段的位置是未知的,记为 (x, y, z) 。将弹箭残骸舱段发送时间戳的时刻记为 t ,地面基站接收到该时间戳时,将此时刻记为 t_i 。比较弹箭残骸舱段发送信号时的时间及信号到达地面基站的时间,就可以获得传播延迟时间 $t-t_i$ 。延迟时间乘以光速就是两者之间的伪距,以表示光速,可以得到下面的公式:

$$R_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} = (t - t_i)c \quad (1)$$

式中, (x, y, z) 为我们想要获取的弹箭残骸舱段的位置坐标,所以至少需要 3 个方程才能求解出位置坐标。3 个方程意味着需要 3 个基站坐标,即在地面至少部署 3 个基站就可以解算出来弹箭残骸舱段的位置。如式(2):

$$\begin{cases} R_0 = \sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2 + (z_0 - z)^2} = (t - t_0)c \\ R_1 = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} = (t - t_1)c \\ R_2 = \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2} = (t - t_2)c \end{cases} \quad (2)$$

弹箭残骸舱段时钟与地面时钟是存在一定偏

差的,当一个站出现问题时,整个系统就无法工作。所以为了提高精度减少误差,将 t 也作为未知量。那么就需要在地面至少部署 4 个地面基站,如图 1 所示。这样无源定位方程可表示为:

$$\begin{cases} \sqrt{(x_0-x)^2+(y_0-y)^2+(z_0-z)^2}=(t-t_0)c \\ \sqrt{(x_1-x)^2+(y_1-y)^2+(z_1-z)^2}=(t-t_1)c \\ \sqrt{(x_2-x)^2+(y_2-y)^2+(z_2-z)^2}=(t-t_2)c \\ \sqrt{(x_3-x)^2+(y_3-y)^2+(z_3-z)^2}=(t-t_3)c \end{cases} \quad (3)$$

对式(3)进行整理,可以得到:

$$\begin{cases} r_0=\sqrt{(x_0-x)^2+(y_0-y)^2+(z_0-z)^2} \\ r_i=\sqrt{(x_i-x)^2+(y_i-y)^2+(z_i-z)^2} \\ \Delta r_i=r_i-r_0=c\Delta t_i \end{cases} \quad (4)$$

式中, r_0 为目标到主站的距离, r_i 为目标到各测量辅站的距离, Δr_i 为目标到主站和辅站的距离之差, Δt_i 为目标信号到达第 i 个辅站与到达主站的时间差测量值, $c\Delta t_i$ 为第 i 个辅站的距离差测量值。

通过联立求解方程(4)可以计算出弹箭残骸舱段的位置坐标。

2 弹箭残骸轨迹定位监测算法

多站无源测向定位、时差定位均是基于双曲线方程组进行解算的,而非线性方程组一般为超定的非线性方程组易使定位结果出现偏差,且存在运算量大,计算复杂度高等问题。为此采用 Chan 算法对弹箭残骸舱段的位置进行解算。在式(4)中,将式(1)、式(2)代入式(3),移项并平方可化简得:

$$(x_0-x_i)x+(y_0-y_i)y+(z_0-z_i)z=k_i+r_0\Delta r_i \quad (5)$$

式中,

$$k_i=\frac{1}{2}[\Delta r_i^2+(x_0^2+y_0^2+z_0^2)-(x_i^2+y_i^2+z_i^2)] \quad (6)$$

求解式(5),可以将其写为如下矩阵表达式:

$$AX=F \quad (7)$$

$$\text{式中, } A=\begin{bmatrix} x_0-x_1 & y_0-y_1 & z_0-z_1 \\ x_0-x_2 & y_0-y_2 & z_0-z_2 \\ x_0-x_3 & y_0-y_3 & z_0-z_3 \end{bmatrix}, X=\begin{bmatrix} x & y & z \end{bmatrix}^T,$$

$$F=\begin{bmatrix} k_1+r_0\Delta r_1 \\ k_2+r_0\Delta r_2 \\ k_3+r_0\Delta r_3 \end{bmatrix}。$$

通过求解式(7),即可求得火箭残骸舱段的位置 (x, y, z) , 实现定位。考虑到弹箭残骸舱段具有速度快、空域跨度大等特点,这就要求定位算法应具有较快的实时性。Chan 算法的本质是解析法,通过

求解双曲线分支相交所得方程组的解,该算法计算量小,不需要多次迭代运算,因此,被广泛使用,成为了一种经典定位算法^[11-12]。利用伪逆法求取 X 的最小二乘解为:

$$\hat{X}=(A^T A)^{-1} A^T F \quad (8)$$

式中,

$$(A^T A)^{-1} A^T = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = [a_{ij}]_{3 \times 3}$$

则目标的估计位置为:

$$\begin{cases} \hat{x}=m_1+n_1r_0 \\ \hat{y}=m_2+n_2r_0 \\ \hat{z}=m_3+n_3r_0 \end{cases} \quad (9)$$

式中, m_i 与 n_i 的表达式分别为

$$\begin{cases} m_i=\sum_{j=1}^3 a_{ij}k_j \\ n_i=\sum_{j=1}^3 a_{ij}\Delta r_j \end{cases} \quad (10)$$

将式(10)代入式(4)中 r_0 的表达式,可得

$$ar_0^2+br_0+c=0 \quad (11)$$

式中,

$$\begin{cases} a=\sum_{i=1}^3 n_i^2-1 \\ b=2[(m_1-x_0)n_1+(m_2-y_0)n_2+(m_3-z_0)n_3] \\ c=(m_1-x_0)^2+(m_2-y_0)^2+(m_3-z_0)^2 \end{cases}$$

当 $\Delta=b^2-4ac \geq 0$ 时, r_0 有解

$$r_0=\frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a} \quad (12)$$

求得 r_0 的值后,代入式(9),即可求得目标位置坐标 (x, y, z) 。

3 弹箭残骸轨迹定位监测算法仿真分析

3.1 定位监测目标

以火箭 1 级回收残骸舱段为监测对象,火箭 1 级舱段分离后先后经过掉头调姿、飞回点火、再入点火、气动控制和着陆点火 5 个阶段,在高精度控制下最终以预定的速度、位置和姿态垂直回收。这里仅考虑火箭在铅垂平面内的飞行,火箭 1 级舱段的飞行轨迹如下页图 2 所示^[13]。

图 2 中,点 0 为火箭起飞时刻;点 1 为火箭一级关机时刻,该时刻,火箭高度、速度和弹道倾角分别为 $(62.6 \text{ km}, 1682 \text{ m/s}, 42^\circ)$; 点 2 为飞回点火时刻,该时刻轨迹参数为 $(83.4 \text{ km}, 1538 \text{ m/s}, 38^\circ)$; 点

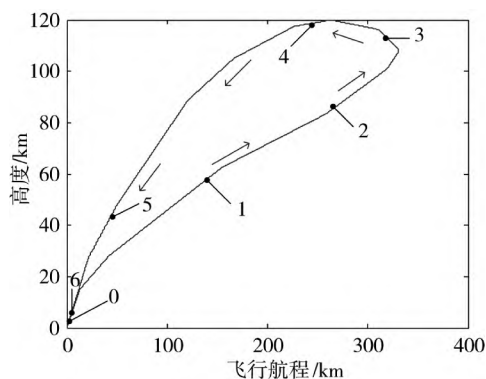


图 2 火箭 1 级回收残骸舱段飞行轨迹

Fig.2 Flight trajectory of the first stage recovery wreckage cabin section of the rocket

3 为飞回关机时刻,该时刻轨迹参数为(114 km, 587 m/s, 34°);点 4 为飞行最高点,该时刻轨迹参数为(120 km, 480 m/s, 0°);点 5 为再入点火点,该时刻轨迹参数为(48 km, 1 256 m/s, -65°);点 6 为着陆点火时刻,该时刻轨迹参数为(4.4 km, 312 m/s, -71°)。

3.2 定位监测仿真计算及影响因素分析

采用 4 个地面站对火箭 1 级回收残骸舱段飞行轨迹进行定位监测,地面站在水平面内采用正方形构型,半对角线距离为 R km,地面站构型如图 3 所示,其中, S_0 为主站,其余各站为辅站^[14]。基站中心位于火箭残骸舱段落点位置,基站位置与火箭残骸舱段位置关系如图 4 所示。假设时间测量误差为均值 10^{-12} s,方差 10^{-13} s 的正态分布误差。

将地面站正方形构型的半对角线 R 从 2.5 km 变化到 15 km,每隔 2.5 km 选择 1 个值,采用上一节

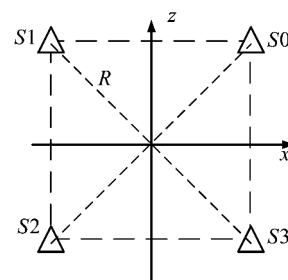


图 3 地面站在水平面位置

Fig.3 Ground station at horizontal position

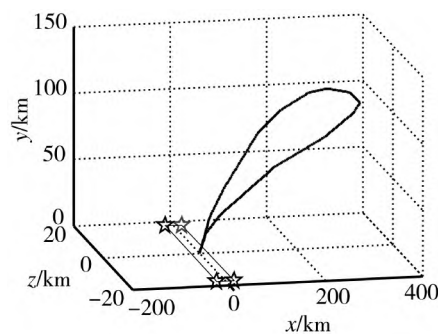
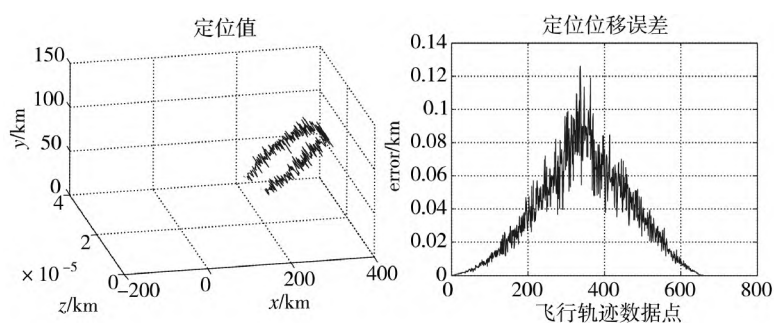
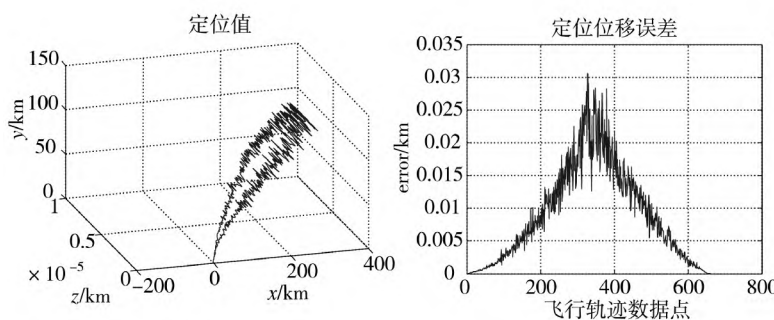


图 4 地面站与火箭回收舱段飞行轨迹位置关系

Fig.4 Position relationship between ground station and rocket recovery section flight trajectory

设计的监测算法对火箭回收舱段的轨迹进行连续解算,并分析每个时间点的定位精度,获得 R 不同取值下火箭回收舱段监测轨迹图与定位位移误差图,如图 5 所示。

由图 5 中不同间距参数下监测轨迹和定位误差曲线可以看出,正方形构型下当 $R=2.5$ km 时,定位误差峰值约为 0.13 km,而 $R=15$ km 时,定位误差

(a) $R=2.5$ km 时舱段监测轨迹与定位误差图(b) $R=5$ km 时舱段监测轨迹与定位误差图

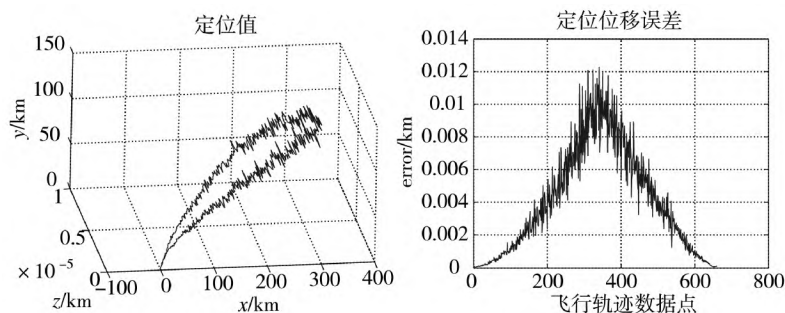
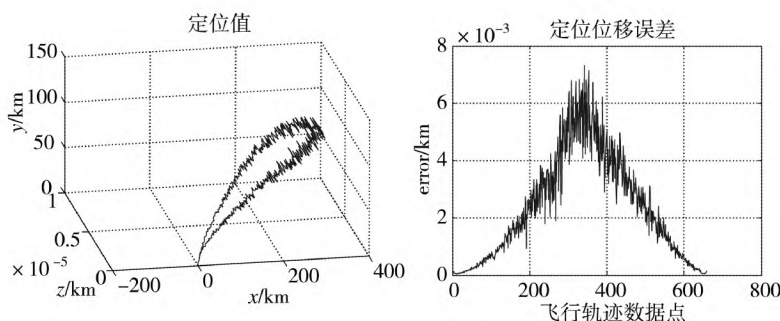
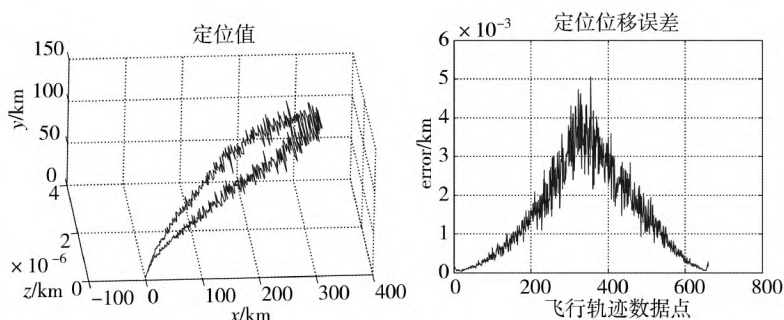
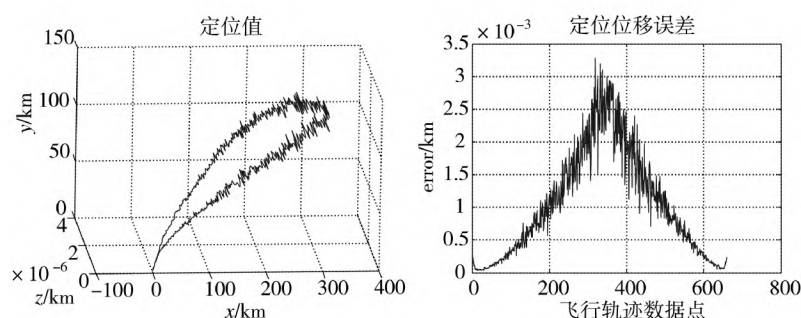
(c) $R=7.5$ km 时舱段监测轨迹与定位误差图(d) $R=10$ km 时舱段监测轨迹与定位误差图(e) $R=12.5$ km 时舱段监测轨迹与定位误差图(f) $R=15$ km 时舱段监测轨迹与定位误差图

图 5 不同地面站正方形构型间距下监测轨迹及定位精度图

Fig.5 Monitoring trajectories and positioning accuracy figures under different square configuration spacing of ground stations

峰值仅为 3.3×10^{-3} km。可见随着基站间距离的增大,定位精度将逐渐提高,因此,在布设地面站时,在条件允许的情况下,可将地面站间距设置的尽量大一些,有助于提高监测定位精度。

3.3 基站构型对监测定位结果的影响分析

为分析基站构型对监测定位结果的影响,将基站构型分别设置为正方形、菱形、Y 字型,构型间距参数均为 $R=2.5$ km,分析基站构型形式对监测定位

结果的影响^[15]。假设时间测量误差为均值为 10^{-12} s,方差为 10^{-13} s 的正态分布误差。采用上一节设计的监测算法对火箭回收舱段的轨迹进行连续解算,并分析每个时间点的定位精度,获得不同基站构型方式下火箭回收舱段监测轨迹图与定位位移误差图,如下页图 6 所示。

由图 6 可以看出,在间距参数相同的情况下 3 种构型的定位误差精度关系为:菱形 > Y 字型 > 正

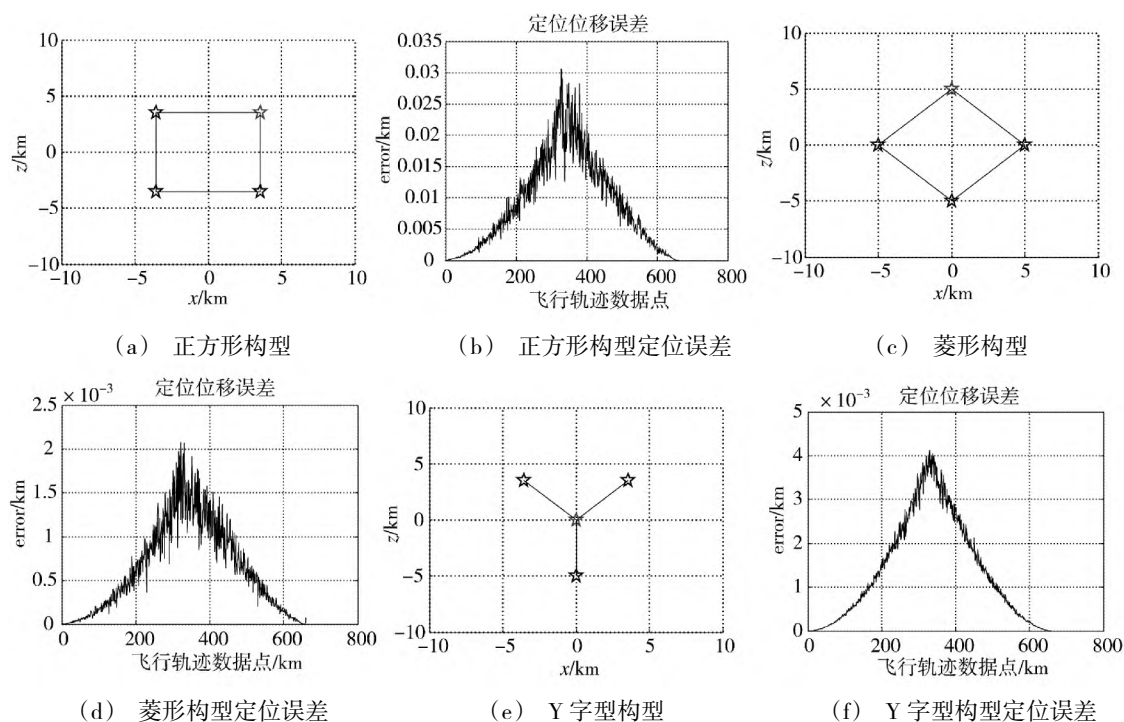


图 6 不同地面站构型形式下火箭回收舱段监测轨迹定位误差图

Fig.6 Error figure of monitoring trajectory positioning for rocket recovery cabin section under different ground station configurations

方形。其中菱形构型最大定位误差 2.086×10^{-3} km 约为 Y 字型构型最大定位误差 4.175×10^{-3} km 的 50%，而菱形构型最大误差约为正方形构型最大定位误差 0.031 km 的 8%，可见菱形构型是 3 种构型中定位精度最好的构型。

4 结论

本文针对弹箭残骸舱段回收问题中的轨迹监测技术展开研究,利用多站时差定位原理,设计了基于 Chan 算法的弹箭残骸舱段轨迹定位监测方法。使用火箭 1 级回收舱段从发射、分离到着陆过程的轨迹数据,对所设计的弹箭残骸舱段轨迹定位监测方案的可行性进行了验证,开展了基站间距参数和基站构型形式两个因素对弹箭残骸舱段定位监测结果的影响性分析,仿真计算结果表明:

1) 正方形基站构型方式下,增大基站间距离将有助于提高对弹箭残骸舱段轨迹的定位精度;

2) 在基站构型间距参数相同的情况下,菱形基站构型的定位监测精度优于 Y 字型和正方形构型,正方形构型定位精度最差。

参考文献:

- [1] 汪小卫,张普卓,吴胜宝,等.运载火箭子级回收技术研究[J].航天返回与遥感,2016,37(3):19-28.
WANG X W,ZHANG P Z,WU S B,et al. Recovery tech-

nology of launch vehicle stage [J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing,2016,37(3):19-28.

- [2] 陈章瑞.对运载火箭回收技术的思考与分析[J].科技传播,2019,11(6):140-142.

CHEN Z R. Reflection and analysis on the recovery technology of launch vehicles[J].Public Communication of Science & Technology,2019,11(6):140-142.

- [3] 庞之浩.回收火箭的重要意义与关键技术 [J]. 科技导报,2016,34(1):15-19.

PANG Z H. The significance and key technologies of recovering rockets [J].Science & Technology Review,2016,34(1):15-19.

- [4] PAUL T,BRETT S,CLYDE G,et al. Ares I-x separation and reentry trajectory analyses [C]// AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference,AIAA 2011-6462,Portland, Oregon,2011.

- [5] 莫成坤,陈树新,吴昊,等.基于抗差估计的三维测向无源定位算法[J].光电与控制,2015,22(2):22-26.

MO C K,CHEN S X,WU H,et al.A robust estimation based 3D passive locating algorithm[J]. Electronics Optics & Control,2015,22(2):22-26.

- [6] 陆洪涛,马飞.基于多普勒频率差的三站无源定位技术[J].舰船电子对抗,2008,31(1):29-31.

LU H T,MA F.Three-station passive locating technology based on the doppler frequency difference [J]. Shipboard Electronic Countermeasure,2008,31(1):29-31.

- [7] LI J,PANG H,GUO F,et al. Localization of multiple disjoint sources with prior knowledge on source locations in

(下转第 151 页)

- WEI P C. Research and application of algorithm based on artificial intelligence [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 2021.
- [10] DOWNEY A B. 复杂性思考[M]. 北京:机械工业出版社, 2020.
- DOWNEY A B. Complexity thinking [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2020.
- [11] 白世贞, 张鹤冰, 薛宁. 复杂系统建模与仿真[M]. 北京: 经济管理出版社, 2019.
- BAI S Z, ZHANG H B, XUE N. Modeling and simulation of complex systems [M]. Beijing: Economic Management Press, 2019.
- [12] 李侠. 复杂系统建模与仿真[M]. 北京: 国防工业出版社, 2021.
- LI X. Modeling and simulation of complex systems [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2021.
- [13] 杨理, 吴艳娟, 叶代会, 等. 复杂系统可视化拓扑建模方法[J]. 计算机应用, 2019, 39(2): 150-154.
- YANG L, WU Y J, YE D H, et al. Visual topological modeling method for complex systems [J]. Computer Application, 2019, 39(2): 150-154.
- [14] 胡晓峰, 李志强, 杨镜宇, 等. 战争模拟研究值得关注的几个问题[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(3): 549-553.
- HU X F, LI Z Q, YANG J Y, et al. Several problems worth paying attention to war simulation research [J]. Journal of System Simulation, 2010, 22(3): 549-553.
- [15] JOHN H M. 复杂适应系统[M]. 上海: 上海人民出版社, 2020.
- JOHN H M. Complex adaptive system [M]. Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 2020.
- [16] 王昊, 刘涛, 孙思远. 基于 Swarm 平台的 Agent 建模仿真探讨[J]. 无线互联科技, 2014, 11(9): 156.
- WANG H, LIU T, SUN S Y. The discussion of agent modeling based on swarm platform [J]. Wireless Internet Technology, 2014, 11(9): 156.

(上接第 144 页)

- the presence of sensor location errors [J]. Digital Signal Processing, 2015, 40(C): 181-197.
- [8] LI J, GUO F, YANG L, et al. On the use of calibration sensors in source localization using TDOA and FDOA measurements[J]. Digital Signal Processing, 2014, 27(1): 33-43.
- [9] WANG G, CAI S, LI Y, et al. A bias-reduced nonlinear WLS method for TDOA/FDOA-based source localization [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2016, 65(10): 8603-8615.
- [10] 任连峻. 时差测量及无源多站定位方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
- REN L J. The research of time-difference measurement and passive multi-station location methods [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006.
- [11] 阎肖鹏, 张志伟, 王红萍. Chan 算法在海上声源定位测量中的应用[J]. 声学技术, 2021, 40(4): 550-555.
- YAN X P, ZHANG Z W, WANG H P. Application of Chan algorithm in marine sound source localization[J]. Technical Acoustics, 2021, 40(4): 550-555.
- [12] 罗正华, 雷林, 周方均, 等. 基于 Chan-Taylor 联合算法的低空无人机时差定位研究[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2019, 38(4): 388-391.
- LUO Z H, LEI L, ZHOU F J, et al. Research on time difference location method of low altitude UAV based on chan-taylor [J]. Journal of Chengdu University (Natural Science Edition), 2019, 38(4): 388-391.
- [13] 胡冬生, 张雪梅, 刘丙利, 等. 重复使用火箭垂直回收任务弹道分析[J]. 导弹与航天运载技术, 2018, 47(5): 21-26, 50.
- HU D S, ZHANG X M, LIU B L, et al. Trajectory analysis on vertical-recovery missions of reusable launch vehicle [J]. Missiles and Space Vehicles, 2018, 47(5): 21-26, 50.
- [14] 夏伟, 罗明, 赵美霞. 无源时差定位系统最优布站方法研究[J]. 雷达科学与技术, 2020, 18(1): 34-38.
- XIA W, LUO M, ZHAO M X. Study on optimal station distribution and performance of passive time difference localization system [J]. Radar Science and Technology. 2020, 18(1): 34-38.
- [15] 袁鹏鹏, 赵玉. 四站时差定位精度影响因素分析[J]. 舰船电子对抗, 2021, 44(5): 17-20.
- YUAN P P, ZHAO Y. Influence factors analysis of four-station TDOA location accuracy[J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2021, 44(5): 17-20.

下 期 要 目

一种自适应变结构交互式多模型算法
意图驱动的防空武器-目标动态分配方法
一种数据驱动的飞行仿真参数辨识方法
电火一体多层防空兵力部署方案优选模型
基于粗糙集理论和 Delphi 法的卫星平台指标优化研究

电感储能电源余能回收对轨道炮特性影响分析
基于改进 ADC 模型的车载激光末制导系统效能评估
基于 DoDAF 的战场电磁频谱管控体系结构建模
自动步枪系统效能评估框架研究
基于 ISM 的战略级弹药订购因素分析