

多移动监测站定位目标的研究

袁伍威 华翔 雷斌

(西安工业大学电信学院 西安 710021)

摘要:针对多移动监测站对三维目标定位时的最优交汇点问题,提出了一种基于最小二乘的最短距离算法。给出了双移动监测站下的定位模型,推导出了求取最优交汇点位置的表达式。仿真实验结果表明该方法可有效获得逼近真实目标位置的最优交汇点,对于多移动监测站实现三维目标的定位具有一定的理论意义和实际意义。

关键词:移动监测站;最优交汇点;最小二乘;最短距离

中图分类号: TN98 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.10

Research on target location of multi-mobile monitoring station

Yuan Wuwei Hua Xiang Lei Bin

(School of Telecommunication, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: In this paper, a shortest distance algorithm based on least squares is proposed to solve the problem of optimal intersection point when the three-dimensional target is located in mobile monitoring station. The positioning model under the double mobile monitoring station is given, and the expression of the optimal intersection location is deduced. The simulation results show that the proposed method can effectively obtain the optimal intersection point which is close to the real target position, which is of great theoretical and practical significance for the multi - mobile monitoring station to locate the three-dimensional target.

Keywords: mobile monitoring station; optimal intersection point; least squares; shortest distance

0 引言

随着现代通信技术的发展,信号的复杂程度越来越高,随之而来的是原来可作为信号分选的稳定参数几乎都可能成为伪随机变化的参数^[1],而辐射源的方位却具有良好的稳定性^[2]。测向交叉定位算法是多站定位算法中应用最广泛的一种,多移动监测站测向交叉定位目标就是利用这一稳定的信息^[3],文献[4]利用多个测向平面结合最小二乘法对目标进行交叉定位确定其位置的方法消除了二维空间交叉定位中存在的投影变换的方位变形等对定位精度的影响,在文献[5]的基础上,文献[6]给出的一种用泰勒级数法结合最小二乘的思想进行定位的方法,降低了目标位置结算的复杂度,文献[7]、[8]给出了目标位置模糊区的分析与求解,但在三维空间下由于移动站和目标的移动,使得监测站的测向线未必相交于一点,因此无法适用于移动监测站对目标的定位情形,而两条测向线之间最短距离的两点

则可以分别表征为两站对目标的定位点,取二者的中点即为逼近目标的最优交汇点,因此本文提出基于最小二乘的最短距离交叉定位法。

1 定位原理

双移动监测站交叉定位目标是利用各监测站可以在角度上自动跟踪目标^[9],从而测出各自的目标方位角 β_i 和俯仰角 α_i ,然后利用定向线交会出目标的距离信息。

假设 A 、 B 为两个移动监测站在某一时刻捕捉到了目标信息,以 O 为组网中心, M 为目标位置。以 O 点为坐标原点,建立坐标系,设某一时刻监测站 A 的坐标为 (x_1, y_1, z_1) 、监测站 B 的坐标为 (x_2, y_2, z_2) 、目标 M 的坐标为 (x_m, y_m, z_m) 、监测站 A 与目标之间的距离为 L_1 ,监测站 B 与目标之间的距离为 L_2 ^[10]。监测站与目标的位置关系如图1所示。

目标相对于监测站的俯仰角 α_1 、 α_2 和方位角 β_1 、 β_2 可分别由监测站 A 、 B 测出。由图1坐标位置关系通过已知

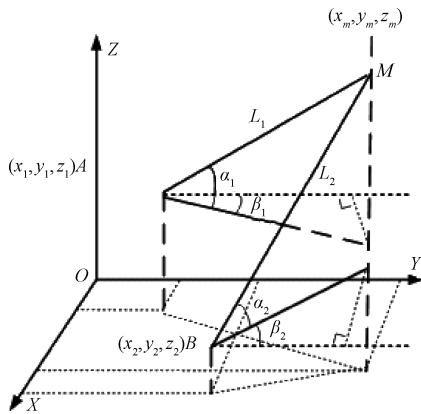


图1 双站测向交叉定位示意图

量建立目标 M 的观测方程如下：

$$(z_m - z_1)^2 = [(x_m - x_1)^2 + (y_m - y_1)^2] \tan^2 \alpha_1 \quad (1)$$

$$(z_m - z_2)^2 = [(x_m - x_2)^2 + (y_m - y_2)^2] \tan^2 \alpha_2 \quad (2)$$

$$x_m - x_1 = (y_m - y_1) \tan \beta_1 \quad (3)$$

$$x_m - x_2 = (y_m - y_2) \tan \beta_2 \quad (4)$$

联立上面的式(2)~(4)即可计算出 M 点的位置坐标。

2 基于最小二乘的最短距离算法

如果不存在误差,那么上述的解算方法得出的位置坐标就是目标 M 的真实位置,然而实际中由于监测站和目标的移动造成的误差已不可避免的。由于监测平台和目标本身都是在移动的,如图 2 所示,目标在 M₁ 点处的两条测向线未必交于 M₁ 点,这样测向交汇点与实际位置就存在了偏差,文献[11-12]的定位方法就无法满足此中情形下的定位需求。本文提出的基于最小二乘的最短距离算法就是在存在上述误差的情况下解算出最逼近目标位置定位点,即:由于监测站在其本身和目标的移动使得两站在不同时刻对于目标同一位置的观测线不相交,此时将两站对目标同一位置的两条观测线上距离最小的两个点分别作为两站对目标位置的估计,利用最小二乘拟合求解两点连线之间的最优点作为目标真实位置的估计。

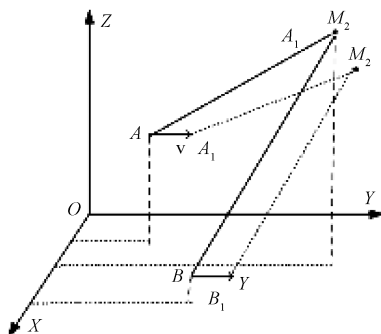


图2 定位示意图

两监测站对于目标 M 的测向线并未交于一点,此时在空间中的两条射线距离最短的两点分别为 M₁, M₂。其中 M₁ 的坐标为 (x_{m1}, y_{m1}, z_{m1}), M₂ 的坐标为 (x_{m2}, y_{m2}, z_{m2}), A、B 两监测站对目标 M₁ 和 M₂ 的极坐标观测为 (x_{r1}, y_{r1}, z_{r1}) 和 (x_{r2}, y_{r2}, z_{r2}), L₁ 和 L₂ 分别为两站到 M₁ 和 M₂ 的距离,如图 2 所示。

可得:A 站的观测线可表示为射线形式^[13]:

$$y_{m1} - y_1 = L_1 \cos x_{r1} \sin y_{r1} \quad (5)$$

$$z_{m1} - z_1 = L_1 \cos z_{r1} \sin z_{r1} \quad (6)$$

$$x_{m1} - x_1 = L_1 \cos x_{r1} \sin x_{r1} \quad (7)$$

同理可得 B 站的目标观测射线形式,则在两条射线上必定存在两点使射线 A、B 之间的距离最小,则该距离 D 可表示为:

$$D = R \quad (8)$$

式中: $R^2 = \sqrt{(x^1 - x^2)^2 + (y^1 - y^2)^2 + (z^1 - z^2)^2}$

对式(8)求 L₁ 和 L₂ 的偏导,可得:

$$\frac{\partial D}{\partial L_1} = 0, \frac{\partial D}{\partial L_2} = 0 \quad (9)$$

通常直接求解式(9)即可求出目标到监测站 A 和 B 的距离,但这样就存在无法将监测站提供的角度信息重复利用的问题,进而可能影响精度,因此采用拟合的最小二乘法来求解该方程组的最优解^[14]。

定义矩阵:

$$\mathbf{R}(A) = \{Ax \mid x \in R^n\}, A \in R^{n \times n} \quad (10)$$

则存在拟合的最小二乘形式:

$$\min_{x \in R^n} \|Ax - b\|_2, \exists b \notin R(A), b \in R^n \quad (11)$$

求在欧几里得空间中以 2-范数作为距离,使得向量 Ax 与 b 之间距离最小的 x,简化推导过程可得最优最小二乘的解:

$$x = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T b \quad (12)$$

根据上述原理将式(9)写矩阵的形式:

$$\begin{bmatrix} x_{mi} \\ y_{mi} \\ z_{mi} \end{bmatrix} = L_i \begin{bmatrix} \cos x_{ri} \tan y_{ri} \\ \sin y_{ri} \cos z_{ri} \\ \sin x_{ri} \sin z_{ri} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} \quad (13)$$

即 AX=0,由公式(12)可得其最优解为:

$$L = (\mathbf{A} \mathbf{A}^T)^{-1} \mathbf{A} \mathbf{X} \quad (14)$$

式中: $L = [L_1 \quad L_2]^T, \mathbf{A} = [\vec{l}_1 \quad \vec{l}_2]^T$

$\mathbf{X} = [(x_2 - x_1) \quad (y_2 - y_1) \quad (z_2 - z_1)]^T,$

$\vec{l}_i = [\cos x_{ri} \tan y_{ri} \quad \sin y_{ri} \cos z_{ri} \quad \sin x_{ri} \sin z_{ri}]^T (i = 1, 2),$ 是两站对目标的方向观测单位矢量。

因此可以得到对应的最近两点 M₁ 和 M₂ 的坐标:

$$\begin{bmatrix} x_{mi} \\ y_{mi} \\ z_{mi} \end{bmatrix} = L_i \begin{bmatrix} \cos \alpha_i \tan \beta_i \\ \cos \alpha_i \tan \beta_i \\ \sin \alpha_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix}, (i = 1, 2) \quad (15)$$

取二者的中点作为最优的交汇点。

根据常用的圆概率误差 CEP 公式^[15]和(15)可得

$$CEP \approx 0.58 \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (16)$$

式中： σ_x 和 σ_y 为 X 和 Y 方向上的均方根误差。

3 仿真及分析

本文研究的目标对象是速度 ≤ 6 m/s、高度 $\leq 1\,000$ m 的低空地速目标,假设监测站 A、B 的坐标为 (0, 30, 10) 和 (70, 20, 30), 单位 m, 方位角误差 σ_β 和俯仰角的误差 σ_α 均是 0.50, 在 x 方向: $-10 \sim 100$ m, y 方向: $-10 \sim 100$ m 的区域内仿真实验。仿真结果如下:

1) 仿真测角误差对定位精度的影响如图 3、4 所示。

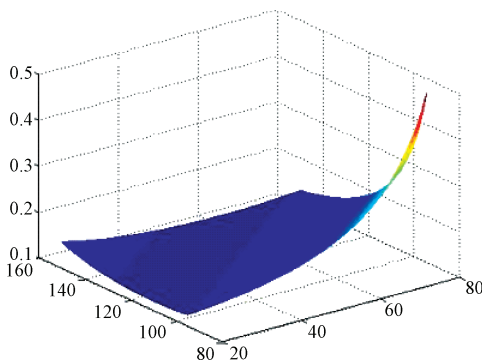


图 3 不同站址下的 CEP 分布

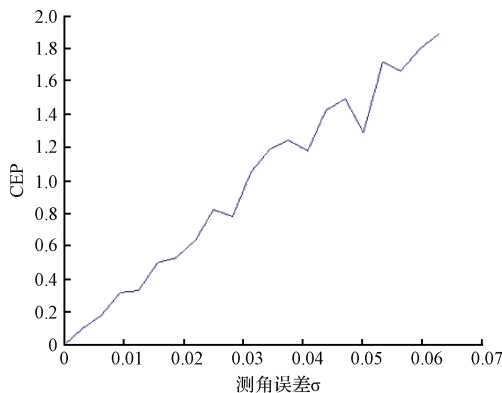


图 4 CEP 随测角误差的变化

2) 仿真算法的定位效果: 某一时刻辐射源真实位置经度和纬度分别为 109.781 202 2 和 34.962 878 67, 高度为 15 m, 连续测量 20 次仿真结果如图 5 所示。

观察 CEP 的变化, 如图 3 所示, 当双移动监测站处在不同的位置时, 圆概率误差 CEP 也在随之发生改变, 当 $CEP \approx 0.017 \sqrt{2} \sigma_\beta$, 理论上当 $\beta_1 = \beta_2 \approx 60^\circ$ 时, 即当目标的真实位置处在双监测站连线的垂直平分线上时与测得的实际目标位置的误差达到最小值, 这与实际几何解算的最优值基本吻合。改变测角误差, 观察 CEP 的变化测角的方差 σ , 其变化值为 $0 \sim 0.02\pi$, 重新测量 CEP, 得到如图 4 的结果, 当改变测角精确时, 即测角误差变大时, 圆概率误差 CEP 会随之增大, 这种趋势基本呈现出线性变化的关

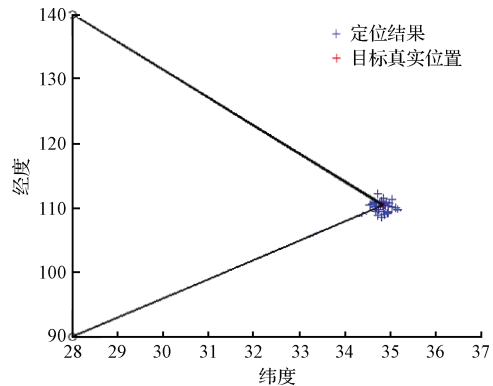


图 5 定位仿真图

系。观察图 5 可知, 利用本文提出的算法测得的目标位置的与实际的目标位置一致, 说明该算法具有良好的定位效果, 同时这也为进一步研究有关多移动监测协同定位目标提供了理论支持。通过数据的交互选择与目标位置构成正三角形的移动监测站的测量结果作为目标真实位置的输出, 可达到良好的定位效果。

4 结论

本文主要讨论了双移动监测站对处于三维空间移动状态下的目标的定位的问题, 提出了基于最小二乘的最短距离的算法, 在无法准确表征空间中由于误差引起的定位模糊区的情况下, 利用最短距离的原理找到最逼近真实目标位置的最优交汇点, 由理论分析和仿真实验结果可知, 该方法可以有效得到逼近真实目标位置的最优交汇点, 特别是在双站中线附近时定位误差最小、运算量低, 因此该方法具有很好的工程应用价值。

参考文献

- [1] 张国凯, 戴霄, 何佳洲. 纯方位交叉定位算法分析[J]. 指挥控制与仿真, 2013, 35(6): 40-44.
- [2] 陈伟民, 李存龙. 基于微波雷达的位移/距离测量技术[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(9): 1251-1265.
- [3] 黄雪梅. 基于分段线性 KF 的测向交叉定位算法[J]. 现代防御技术, 2017, 45(1): 113-118.
- [4] 李志民, 柳强, 张新权, 等. 基于最小二乘法的球杆系统输入输出建模研究[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(1): 65-69.
- [5] LIU W, FU Y. The precision analyses of two stations direction-finding cross location[C]. International Conference on Electronics, Communications and Control, 2012: 2844-2847.
- [6] 贺成龙, 张桂林, 朱霞. 一种三维交叉定位的优化求解[J]. 计算机与数字工程, 2013, 41(4): 556-558.
- [7] YUAN Y, HUANG L, TANG Y, et al. Improved markov predictor in wireless networks[J]. IET Communications, 2011, 5(13): 1823-1828.

- [8] 李兴民,李国君,李健,等. 双站交叉定位雷达布站方法研究[J]. 雷达科学与技术, 2011,9(5):405-408.
- [9] 刘李楠,赵晓萌. 一种三维多站测向交叉定位算法[J]. 电子科技, 2011,24(1):35-37.
- [10] 王德元,唐文彦,张晓琳,等. 基于标准器的大尺寸测量系统坐标统一化方法[J]. 仪器仪表学报, 2015,36(8):1845-1852.
- [11] DENG Y, HU X H, ZHANG ZZ, et al. Passive location accuracy analysis in bearing-only constellation system[C]. International Symposium on Systems and Control in Aeronautics and Astronautics, 2010: 1398-1402.
- [12] 廖小云,高嵩,陈超波. 一种交叉多目标跟踪算法[J]. 国外电子测量技术, 2016,35(2):65-69.
- [13] CHERCHAR A, BELOUCHRANI A, CHONAVEL T. A New Approach to Maneuvring Target Tracking in Passive Multisensor Environment [J]. Passive, 2010,43(4): 558-63.
- [14] 汤扣林. 三维空间测向定位技术[J]. 火力与指挥控制, 2011,36(5):110-113,117.
- [15] 李国重,李建文,李军正,等. 基于圆概率误差的RAIM可用性算法研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2011,36(4):461-466.

作者简介

袁伍威,1989年出生,硕士研究生,主要研究方向为无线定位技术,嵌入式系统等。
E-mail:841170875@qq.com

鼎阳科技荣膺深圳市科学技术奖二等奖

2017年9月21日,深圳市科学技术奖励委员会举行了2016年度深圳市科学技术奖励大会。会议由深圳市市长陈如桂同志主持,深圳市市委书记王伟中同志做了重要总结报告。深圳市鼎阳科技有限公司(以下简称鼎阳科技)题为“智能宽带高刷新率示波器关键技术研究及产业化应用”的研究成果荣膺深圳市科学技术奖二等奖!

示波器的刷新率即波形捕获率,表示示波器单位时间内捕获波形的次数。也可以称为是波形触发率,触发一次,示波器波形就刷新一次,波形捕获率最终反映示波器波形图的刷新速度。鼎阳科技示波器利用SPO(super phosphor oscilloscope)余辉显示技术,极大提升示波器刷新率,减少死区时间,使被测波形的细节一览无余,异常信号无所遁形!鼎阳科技SDS3000,SDS2000X,SDS1000X/X+/X-E系列数字示波器均搭载有此项技术,其中SD3000系列数字示波器波形捕获率高达1,000,000帧/秒!

这些产品在海内外广泛销售,在全球范围内有较高的市场占有率。包括哈佛大学,麻省理工大学,斯坦福大学,北京大学,康奈尔大学等国际顶尖学府;思科,高通,西门子,大疆等世界知名企业都选择了搭载此项技术的数字示波器!

在奖励大会上,王伟中书记强调了国家、市里对科研工作的重视,也提到希望科研用测试测量仪器能够打破依赖海外品牌的不利现状。鼎阳科技自创建以来,推出了多款填补国内空白,打破海外同行垄断的技术和产品(其中包括其于今年7月刚刚发布的破局之作——SDG6000X系列脉冲/任意波形发生器,其带宽高达500 MHz),取得了良好的市场回报。

深圳市年营业额过亿的科技型企业超过1200家,国家高新技术企业达8037家,而此次奖项仅设66项,更有不少公司重复获奖,由此可见这个奖项的重要性!此次能获得这项大奖,和鼎阳科技卓越的创新及研发能力密不可分!公司现有研发人数超过100人,占员工总人数三分之一,研发至上是公司始终坚持的理念。鼎阳科技自创立以来,十年如一日,坚持每年至少把销售额的15%投入到研发中,获得了大量的发明专利和独有技术!今后,鼎阳科技将一如既往的保持精益求精的研发精神,通过不断的技术创新和严格的质量把控,推出更多更好的技术和产品!我们的目标是在未来十年内发展成为全球经济型基础测试测量仪器行业的领导者,希望这一天早日到来!