

基于融合动态加权的光电经纬仪交会定位方法

赵满庆

(92941 部队 葫芦岛 125000)

摘要: 传统的交会定位公式是在假设飞行目标为点目标的前提下推导的理想模型公式,而实际两台经纬仪观测同一目标时其主光轴并不交于同一点,这就会带来较大的模型系统误差。因此,提出了基于融合动态加权的光电经纬仪交会定位方法,详细介绍了该方法的模型以及确定融合动态加权系数的原则,并采用仿真数据,对本文方法和传统方法的定位精度进行对比分析,经实验验证,本文方法精度高于传统方法,具有较大的工程实践价值。

关键词: 光电经纬仪;交会定位;动态加权;精度

中图分类号: V557 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 590.5099

Photoelectric theodolite intersection positioning method based on fusion dynamic weighting

Zhao Manqing

(Unit 92941 of PLA, Huludao 125000, China)

Abstract: The traditional intersection positioning formula is from the ideal model that assuming the flight target is a point. But when two theodolites observing on the same target, their principal optical axis always can not intersection in the same point, and this will cause the model system error. Therefore, in this paper, the photoelectric theodolite intersection positioning method based on fusion dynamic weighting is proposed; the model of this method and the determination principles of the fusion dynamic weighting coefficients is introduced in detail; then, using the simulation data, the positioning precision of this method and the traditional method is compared; finally, analysis of the experiments showed that, the method proposed in this paper is better than the traditional method in positioning accuracy. So this new intersection positioning method has a high value of engineering practice.

Keywords: photoelectric theodolite; intersection positioning; dynamic weighting; precision

0 引言

光电经纬仪主要用来跟踪测量导弹或其他飞行目标的轨迹,具有测量精度高、直观性强等优点,是靶场测控系统的重要组成部分^[1-2]。

目前,靶场光电经纬仪只有方位角和俯仰角的测角信息,至少需要两个站进行交会定位。传统的交会定位公式,是在假设飞行目标为点目标的前提下推导的理想模型公式。然而所有的目标都是有外形尺寸的,两台交会测量的设备可能并没有跟踪目标的同一点。另外,由于受光电经纬仪结构、成像原理、测角精度以及地理位置、太阳入射角、大气折射等外界因素的影响,两台经纬仪观测同一目标时其主光轴并不交于目标的同一点,而是呈现异面关系^[3-4],这样交会定位时将目标视为点目标的假设会带来较大的原理性误差。基于此,本文提出了基于融合动态加权的光电

经纬仪交会定位方法^[5-6]。

1 基于融合动态加权的交会定位方法

发射坐标系是为导弹武器系统飞行试验提供外测参数的主要坐标系,假设 $O-XYZ$ 为发射坐标系,经纬仪布设在测量站点 C_1 和 C_2 ,它们在发射坐标系中的坐标分别 $C_1(x_1, y_1, z_1)$ 和 $C_2(x_2, y_2, z_2)$,假设目标的真实位置在 M_1 点,而两测站的瞄准点分别为 M'_1 和 M''_1 ,如图 1 所示^[7]。

直线 $C_1M'_1$ 的方向向量为:

$$l_1 = (\cos A_{11} \cos E_{11}, \sin E_{11}, \sin A_{11} \cos E_{11}) \quad (1)$$

直线 $C_2M'_1$ 的方向向量为:

$$l_2 = (\cos A_{21} \cos E_{21}, \sin E_{21}, \sin A_{21} \cos E_{21}) \quad (2)$$

因此,可以得到 M'_1 和 M''_1 两点的位置^[8]:

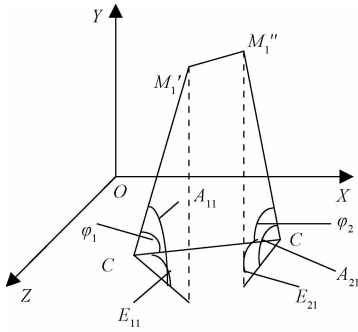


图 1 光电经纬仪双站交会测量模式

在处理结果中占的比重较大,精度低的测元在处理结果中占的比重小。经典的加权模型为:

$$\begin{cases} x = (p_1 x_{M'_1} + p_2 x_{M''_1}) / (p_1 + p_2) \\ y = (p_1 y_{M'_1} + p_2 y_{M''_1}) / (p_1 + p_2) \\ z = (p_1 z_{M'_1} + p_2 z_{M''_1}) / (p_1 + p_2) \end{cases} \quad (11)$$

式中: p_1 和 p_2 分别为各光电经纬仪精度的倒数。这种加权方式虽然也反映出精度较高的测元在最后解算结果中占较大的权重,但缺陷是测元的精度并不能直接反映弹道参数的精度,较为粗糙。

由于目标相对站点是动态变动的,在各点的解算弹道参数精度并不相同,因此,基于最小二乘融合的动态加权交会定位方法是跟据两个弹道参数的精度变化情况,调整权值,提高定位精度,其模型如下^[12-15]。

$$\begin{cases} x = \frac{\sigma_{x_{M'_1}}^2}{\sigma_{x_{M'_1}}^2 + \sigma_{x_{M''_1}}^2} x_{M'_1} + \frac{\sigma_{x_{M''_1}}^2}{\sigma_{x_{M'_1}}^2 + \sigma_{x_{M''_1}}^2} x_{M''_1} \\ y = \frac{\sigma_{y_{M'_1}}^2}{\sigma_{y_{M'_1}}^2 + \sigma_{y_{M''_1}}^2} y_{M'_1} + \frac{\sigma_{y_{M''_1}}^2}{\sigma_{y_{M'_1}}^2 + \sigma_{y_{M''_1}}^2} y_{M''_1} \\ z = \frac{\sigma_{z_{M'_1}}^2}{\sigma_{z_{M'_1}}^2 + \sigma_{z_{M''_1}}^2} z_{M'_1} + \frac{\sigma_{z_{M''_1}}^2}{\sigma_{z_{M'_1}}^2 + \sigma_{z_{M''_1}}^2} z_{M''_1} \end{cases} \quad (12)$$

式中: σ 表示其下标所对应的坐标的精度。

由式(9)和式(10),根据误差传递特性便可以推导出坐标精度与交会角、基线长度、方位角和高低角之间的关系公式。限于篇幅,仅以 $x_{M'_1}$ 为例,其精度可用式(13)来表示:

$$\begin{aligned} \sigma_{x_{M'_1}}^2 = & (\cos E_{11} \cos A_{11} \sin \varphi_2 / \sin \varphi_{12})^2 \sigma_b^2 + \\ & b^2 [(\sin E_{11} \cos A_{11} \sin \varphi_2 / \sin \varphi_{12})^2 \sigma_{E_{11}}^2 + \\ & (\cos E_{11} \sin A_{11} \sin \varphi_2 / \sin \varphi_{12})^2 \sigma_{A_{11}}^2 + \\ & (\cos E_{11} \cos A_{11} \cos \varphi_2 / \sin \varphi_{12})^2 \sigma_{\varphi_2}^2 + \\ & (\cos E_{11} \cos A_{11} \sin \varphi_2 \cos \varphi_{12} / \sin^2 \varphi_{12})^2 \sigma_{\varphi_{12}}^2] \end{aligned} \quad (13)$$

2 仿真实验

以飞行器平稳飞行段为例,假设其运动轨迹:

$$\begin{cases} x = -6\ 806.028 + 133.486\ 45t \\ y = 120.053\ 95 + 0.166\ 631\ 92t + 0.010\ 450\ 217t^2 - \\ \quad 0.000\ 361\ 838\ 29t^3 \\ z = -1\ 880.397\ 3 + 42.868\ 968t \end{cases}$$

利用 MATLAB 进行仿真,设实验中基线长度为 14.07 km,交会角度 $43^\circ \sim 57^\circ$,测站 1 加了 $12''$ 的误差,测站 2 加了 $18''$ 的误差,图 2、图 3 和图 4 分别是采用目标相对测站 X、Y、Z 方向精度曲线图。

从上面 3 幅图可以看出:目标相对测站 1 在 X、Y 方向精度优于测站 2,因此,计算 X、Y 方向坐标时,目标相对测站 1 的动态加权系数要大于测站 2 的权系数,目标相对测站 1 在 Z 方向精度与测站 2 前段相差不大,末段目标相对测站 2 的精度优于测站 1,因此计算 Z 方向坐标时,要合理调整权系数,图 5、图 6 和图 7 是传统定位方法得到的弹道坐标和本文方法解算出的弹道坐标在 X、Y、Z 3 个方向上

$$\begin{cases} x_{M'_1} = x_1 + R_{11} \cos A_{11} \cos E_{11} \\ y_{M'_1} = y_1 + R_{11} \sin E_{11} \\ z_{M'_1} = z_1 + R_{11} \sin A_{11} \cos E_{11} \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} x_{M''_1} = x_2 + R_{21} \cos A_{21} \cos E_{21} \\ y_{M''_1} = y_2 + R_{21} \sin E_{21} \\ z_{M''_1} = z_2 + R_{21} \sin A_{21} \cos E_{21} \end{cases} \quad (4)$$

直线 $C_1 M'_1$ 和直线 $C_2 M''_1$ 的空间夹角为 φ , $C_1 M'_1$ 和基线 $C_1 C_2$ 的夹角为 φ_1 , $C_2 M''_1$ 和基线 $C_1 C_2$ 的夹角为 φ_2 。

$$\cos \varphi = l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2 \quad (5)$$

$$\begin{cases} \cos \varphi_1 = l_1 l_{12} + m_1 m_{12} + n_1 n_{12} \\ \cos \varphi_2 = l_2 l_{12} + m_2 m_{12} + n_2 n_{12} \end{cases} \quad (6)$$

式中: $l_{12} = \frac{x_1 - x_2}{b}$, $m_{12} = \frac{y_1 - y_2}{b}$, $n_{12} = \frac{z_1 - z_2}{b}$, $b = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$ 为两测站基线的长度。

R_{11} 是测站 C_1 到量测目标 M'_1 的斜距,其值为:

$$R_{11} = b(\cos \varphi \cos \varphi_2 + \cos \varphi_1) / \sin^2 \varphi \quad (7)$$

同理可得:

$$R_{21} = b(\cos \varphi \cos \varphi_1 + \cos \varphi_2) / \sin^2 \varphi \quad (8)$$

因此,式(3)、(4)可以写成:

$$\begin{cases} x_{M'_1} = x_1 + \frac{b(\cos \varphi \cos \varphi_2 + \cos \varphi_1)}{\sin^2 \varphi} \cos A_{11} \cos E_{11} \\ y_{M'_1} = y_1 + \frac{b(\cos \varphi \cos \varphi_2 + \cos \varphi_1)}{\sin^2 \varphi} \sin E_{11} \\ z_{M'_1} = z_1 + \frac{b(\cos \varphi \cos \varphi_2 + \cos \varphi_1)}{\sin^2 \varphi} \sin A_{11} \cos E_{11} \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} x_{M''_1} = x_2 + \frac{b(\cos \varphi \cos \varphi_1 + \cos \varphi_2)}{\sin^2 \varphi} \cos A_{21} \cos E_{21} \\ y_{M''_1} = y_2 + \frac{b(\cos \varphi \cos \varphi_1 + \cos \varphi_2)}{\sin^2 \varphi} \sin E_{21} \\ z_{M''_1} = z_2 + \frac{b(\cos \varphi \cos \varphi_1 + \cos \varphi_2)}{\sin^2 \varphi} \sin A_{21} \cos E_{21} \end{cases} \quad (10)$$

目标 M_1 的真实位置应在 M'_1 和 M''_1 的连线上,位置更靠近测量精度高的瞄准点一侧。利用权重可以表示测元的可靠程度,两个测元比较时,权值的大小反映了对测元的信赖程度^[9-11]。解算目标 M_1 的真实位置应让精度高的测元

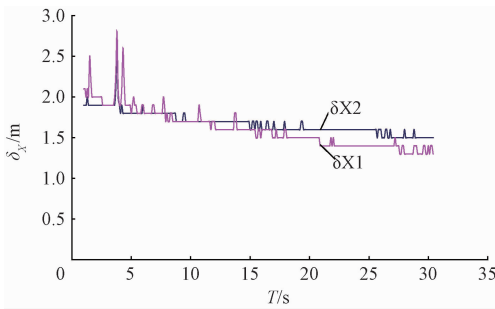


图 2 目标相对测站 X 方向精度曲线

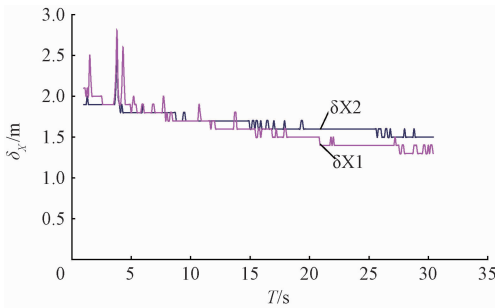


图 3 目标相对测站 Y 方向精度曲线

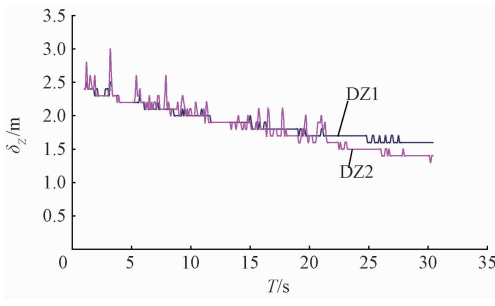


图 4 目标相对测站 Z 方向精度曲线

与真实弹道的一次差图。

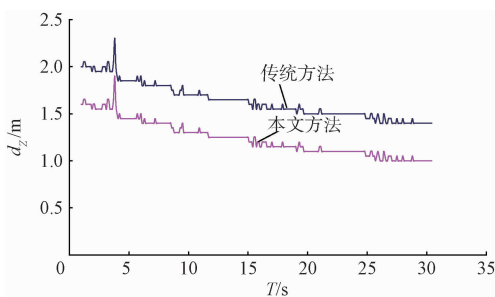


图 5 传统定位方法与本文方法的弹道 X 方向对比

从图 5、图 6 和图 7 可以看出本文方法在 X、Y、Z 3 个方向上与真实弹道的差别都明显小于传统方法,2 种定位方法的精度如表 1 所示。

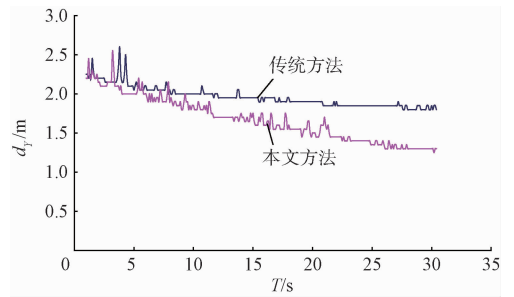


图 6 传统定位方法与本文方法的弹道 Y 方向对比

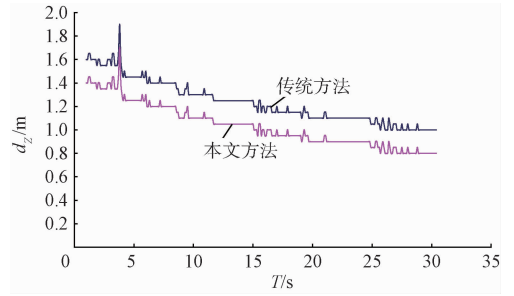


图 7 传统定位方法与本文方法的弹道 Z 方向对比

表 1 本文方法与传统方法的精度表 (m)

精度	δ_x	δ_y	δ_z
本文方法	1.2	1.7	1.1
传统方法	1.6	2.0	1.9

从表 1 可知:本文方法较传统方法在 X 方向精度提高了 0.6 m,在 Y 方向精度提高了 0.3 m,在 Z 方向精度提高了 0.2 m,显然本文方法精度高于传统方法。

3 结 论

针对传统交会定位方法的缺陷,本文考虑了测量设备误差和目标外形尺寸等因素,提出了基于融合动态加权的光电经纬仪交会定位方法。通过仿真实验验证,该方法的定位精度高于传统的交会定位方法,并且宜于代码实现,具有一定的工程应用价值。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 张树春,仇永斌,魏鑫. 再入弹道目标跟踪问题方法研究[J]. 电子测量技术,2016,39(1):45-48.
- [3] 路敬祯等. 双五元十字阵被动声定位融合算法及性能分析[J]. 仪器仪表学报,2016,37(4): 827-833.
- [4] 段一萍. 靶场光雷测量数据融合定位方法研究及应用[J]. 电子测量技术,2014,37(6): 47-49,53.

- [5] 李娅菲,朱炬璋. 非视距条件下的测距信息融合定位方法研究[J]. 电子测量与仪器学报,2015, 29(5): 775-780.
- [6] 胡丙华,吴衡,白永生. 光电经纬仪站址与测角测距误差校准[J]. 测控技术,2016, 35(1): 138-140.
- [7] 曹建华,温瑞. 一种基于时空统一校正光电经纬仪交会融合算法[J]. 空军雷达学院学报,2014, 28(1): 33-36.
- [8] 李静宇,姚志军,田睿. 一致性特征点匹配在目标跟踪中的应用[J]. 电子测量技术,2015, 38(10): 28-31.
- [9] 李超,申继志,吴建敏,等. 光电经纬仪误差修正方法研究[J]. 测试技术学报,2016, 30(3):254-259.
- [10] 柴敏,余慧,宋卫红,等. 光学无线电测量信息融合定位方法[J]. 光学学报,2012, 32(12):158-164.
- [11] 冯成,王荫槐,陈光远. 一种提高双基地雷达定位精度的方法[J]. 计算机仿真,2015, 32(4): 5-8.
- [12] 刘亮等. 靶场光电经纬仪交会测量数据处理方法比较分析[J]. 舰船电子工程,2013, 33(9): 145-148.
- [13] 吴能伟. 基于方向余弦交会测量的误差分析[J]. 中国仪器仪表,2015(12): 42-44.
- [14] 赵晓萌,刘李楠. 一种基于最小均方误差准则的多台光电经纬仪测量融合方法[J]. 现代电子技术,2010, 33(11): 38-40.
- [15] 刘欣,余义德,孙婧. 一种多台交会测量数据的实时融合处理方法[J]. 微处理机,2012, 33(6): 51-54.

作者简介

赵满庆,工学硕士,工程师,主要研究方向为数据处理、图像处理等。

E-mail:zmn19841212@163.com