

doi: 10.7690/bgzdh.2023.09.004

基于最小二乘法运动目标标定方法及应用

范明虎, 张诗德, 刘丽冰, 徐 勇

(西南计算机有限责任公司技术中心, 重庆 400060)

摘要: 为实现对运动目标的有效射击, 采用最小二乘法计算运动方向和运动速度。及时且准确地进行目标标定, 计算出较为准确的运动诸元, 即运动方向和运动速度, 从而计算出提前时间阻击点位置坐标和实有阻击点放的时间, 实现对运动目标的射击; 结合实例有效地验证了最小二乘法计算运动诸元的有效性和正确性, 同时提出运动目标射击软件设计的建议。结果表明, 该方法具有较强的实用价值和推广意义。

关键词: 运动目标; 阻击点; 运动诸元; 运动方向; 运动速度

中图分类号: TJ413 **文献标志码:** A

Calibration Method and Application of Moving Target Based on Least Square Method

Fan Minghu, Zhang Shide, Liu Libing, Xu Yong

(Technology Center, Southwest Computer Co., Ltd., Chongqing 400060, China)

Abstract: In order to shoot the moving target effectively, the least square method is used to calculate the moving direction and speed. Timely and accurately carrying out target calibration, calculating more accurate motion data, namely motion direction and motion speed, thereby calculating the position coordinates of the blocking point in advance time and the release time of the actual blocking point, and realizing the shooting of the moving target. The validity and correctness of the least square method for calculating the motion data are verified by an example, and the suggestions for the design of the shooting software for moving targets are put forward. The results show that the method has a strong practical value and promotion significance.

Keywords: moving target; blocking point; motion elements; motion direction; motion speed

0 引言

运动目标是指位置或运动方向不断变化, 处于运动状态的目标^[1]。运动目标位置随时间变化快, 机动性大, 给决定诸元、射击指挥带来困难, 对运动目标射击需对目标运动状态进行快速准确地估计, 采用拦阻射击的方法, 在阻击点(线)对目标进行拦阻, 以打乱其队形, 迟滞其行动, 妨碍其射击, 大大提高炮兵火力反应速度和射击精度, 有效地提高作战效能, 为我军大量歼敌创造有利条件^[2-3]。

利用实有阻点射击, 就是利用现地实有的地形、地物点作为阻击点所进行的射击, 需要计算出放的时间; 利用提前时间阻击点射击, 就是在目标运动航向的前方提前一定的时间预定某一位置(阻击点), 决定其射击开始诸元, 使目标到达该位置的同时, 集中火力对其行急促射的方法^[4-5]。使用这 2 种方法的前提和关键均需进行目标标定。

由于运动目标运动速度快, 机动性强, 为保证及时抓住有利战机, 获得较好的射击效果, 必须能

及时快速地进行目标标定, 进而计算出较精确的放的时间或阻击点坐标, 通常是通过根据观测器材(通常使用雷达或激光测距机)测定数点目标即时位置, 再推算出阻击点坐标^[6]。

1 运动目标标定方法

假定目标成匀速直线运动, 为更准确地计算出运动方向, 需确定连续记录各点的平均直线, 且使所记录的各点均匀、对称地分布于直线两侧, 并力求各点到直线的距离为最小; 为此, 应用最小二乘法得出运动目标位置、方向和速度等参数^[7]。最小二乘法能将实验中得出的一大堆看上去杂乱无章的数据中找出一定规律, 拟合成一条曲线来反映所给数据点总趋势, 以消除其局部波动, 最小二乘法原理在很多领域都有很广泛的应用^[8-9]。

目标标定是为求取目标的运动诸元, 运动诸元是指目标运动状态的参数, 包括瞬时位置、运动方向、运动速度等。目标标定方式可分为等间隔和非

等间隔标定，标定间隔是指相邻 2 标定点的时间间隔，等间隔标定时，相邻 2 标定点的的时间间隔相等；非等间隔标定，则以获取标定点的的时间进行标记。

1.1 运动诸元

目标的运动状态通常用运动方向、运动速度来表示。运动方向通常用运动方向坐标方位角或航路角 q 表示。

目标在某一时刻的位置称为瞬时位置，使用等间隔或非等间隔，连续不断地标定目标瞬时位置，能反映目标的运动状态，连续记录数个（一般为 4~6 个）目标瞬时位置，即可确定出目标的运动方向、运动速度，这一过程即为目标标定，记录的目标称为标定点。

多个标定点可以确定多个方向，如图 1 所示。

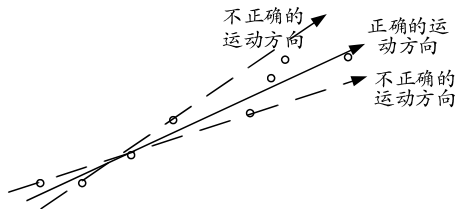


图 1 决定方向

如图 2，正确的运动方向应为连续记录各点的平均直线，其坐标方位角是平均直线与坐标北向的夹角，为正时，说明目标向右运动，反之向左运动。

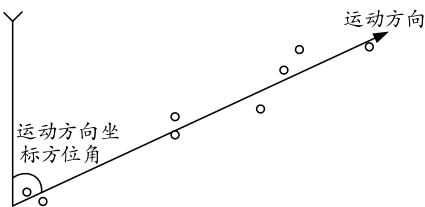


图 2 运动方向

航路角 q 是目标速度矢量与炮目线之间的夹角，如图 3 所示。其值在 $0 \sim 3000$ 之间。

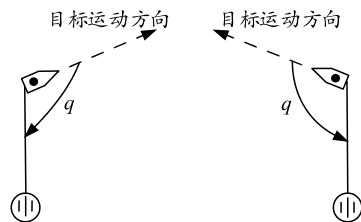


图 3 航路角

运动诸元的计算是运动目标射击的核心和关键，因此，快速而准确地进行目标标定是十分关键而有必要的，是必须要开展的一项工作。

1.2 运动方程

设某一运动目标标定时共有 n 个标定点，各标

定点的位置分别为 $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$ ，标定时间分别为 $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ ，则对于方程： $x=a_x t+b_x$ ， $y=a_y t+b_y$ ，运用最小二乘法计算出 a_x 、 b_x 、 a_y 、 b_y ：

$$a_x = (\sum x_i \sum t_i^2 - \sum t_i \sum x_i t_i) / (n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2);$$

$$b_x = (n \sum x_i t_i - \sum t_i \sum x_i) / (n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2);$$

$$a_y = (\sum y_i \sum t_i^2 - \sum t_i \sum y_i t_i) / (n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2);$$

$$b_y = (n \sum y_i t_i - \sum t_i \sum y_i) / (n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2)。$$

则运动目标的运动方向的坐标方位角为：

$$F_{YD} = \arctg |b_y / b_x|。$$

当 $b_y > 0, b_x > 0, F_{YD} = F_{YD}$ ；当 $b_y > 0, b_x < 0, F_{YD} = 3000 - F_{YD}$ ；当 $b_y < 0, b_x < 0, F_{YD} = 3000 + F_{YD}$ ；当 $b_y < 0, b_x > 0, F_{YD} = 6000 - F_{YD}$ 。

运动速度为：

$$v = \sqrt{b_x^2 + b_y^2}。 \quad (1)$$

已知运动方向坐标方位角 F_{YD} 、炮目坐标方位角 F_{PM} ，则航路角为：

$$q = F_{PM} \pm 3000 - F_{YD}。 \quad (2)$$

1.3 提前时间阻击点

已知提前时间 t_t ，最后一个标定点 n 记为起点，从起点开始计时，提前时间 t_t 后目标到达第 1 个阻击点，从第 1 个阻击点经过 n 个阻击点间隔时间目标到达第 n 个阻击点，如图 4 所示。

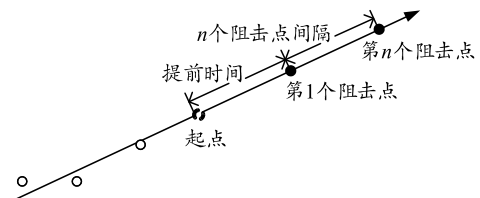


图 4 阻击点

从上图可以看出，第 1 个阻击点的位置为：

$$xz_1 = x_q + v * t_t * \cos(F_{YD}); \quad (3)$$

$$yz_1 = y_q + v * t_t * \sin(F_{YD})。 \quad (4)$$

第 i 个阻击点的射击时间等于第 $i-1$ 个阻击点的时间加上阻击点间隔时间 t_z ，第 i 个阻击点时间为：

$$tz_i = tz_{i-1} + t_z。$$

第 i 个阻击点位置为：

$$xz_i = xz_{i-1} + v * t_z * \cos(F_{YD});$$

$$yz_i = yz_{i-1} + v * t_z * \sin(F_{YD})。$$

1.4 实有阻击点

实有阻击点射击对现地实有的地形、地物点作

为阻击点所进行的射击，需要计算出放的时间，此时阻击点位置已知，则可计算出弹丸落地时间为：

$$t_{z_n} = t_{z_{n-1}} + D_z/v。$$

式中： D_z 为第 n 个阻击点与第 $n-1$ 个阻击点间的距离； t_{z_n} 为第 n 个阻击点的弹丸落地时间； $t_{z_{n-1}}$ 为第 $n-1$ 个阻击点的弹丸落地时间。

2 流程设计

依据运动目标标定方法，设计了运动目标标定处理软件，具体实现步骤如下：

- 1) 选择目标标定方式；
- 2) 获取标定点信息；
- 3) 记录标定点数；
- 4) 判断是否计算运动诸元；
- 5) 若是则执行 6)，否则执行 2)；
- 6) 计算运动诸元；
- 7) 判断是否为实有阻击点；
- 8) 若是则执行 9)，否则执行 13)；
- 9) 计算阻击点与最后一个标定点的距离；
- 10) 计算弹丸落地时间；
- 11) 计算飞行时间；
- 12) 计算放的时间；
- 13) 计算目标到达第一个阻击点的时间；
- 14) 计算第一个阻击点位置；
- 15) 判断是否计算尔后阻击点；
- 16) 若是则执行 17)，否则结束；
- 17) 计算目标到达下一个阻击点的时间；
- 18) 计算下一个阻击点位置。

其流程如图 5 所示。

3 方法应用

选取 6 个标定点进行等间隔标定，其标定时间和标定点坐标见表 1 所示。

表 1 标定点信息

序号	标定时刻	标定点坐标		
		X 坐标	Y 坐标	H 高程
1	00:00:00	3 217 119	18 359 460	0
2	00:00:20	3 217 169	18 359 520	0
3	00:00:40	3 217 209	18 359 510	0
4	00:01:00	3 217 269	18 359 620	0
5	00:01:20	3 217 289	18 359 720	0
6	00:01:40	3 217 339	18 359 760	0

标定点如图 6 所示。

表 2 标定结果

数据项名称	a_x	b_x	a_y	b_y	运动方向坐标方位角/mil	运动速度/(m/s)
计算结果	3 217 123.8	2.171 43	18 359 440.5	3.157 14	924.674 6	3.831 8

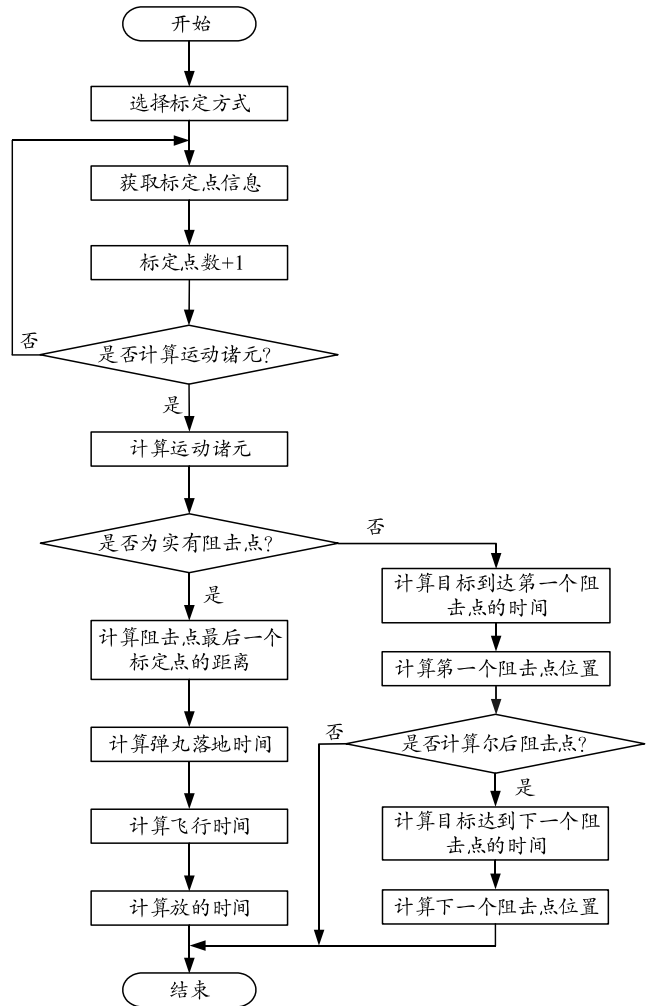


图 5 运动目标标定流程

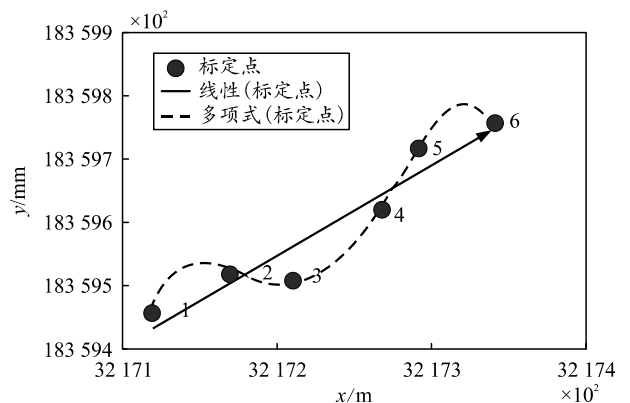


图 6 目标标定

3.1 计算运动诸元

根据表 1 所列的标定点信息进行标定， a_x, b_x, a_y, b_y 由式(1)、(2)可计算出运动方向和运动速度，如表 2 所示。

3.2 计算提前时间阻击点

假设提前时间 t_i 为 100 s, 阻击点间隔时间 t_j 为 20 s, 根据计算出来的运动诸元, 由式(3)、(4)可计算出提前时间 t_i 的第 1 个提前时间阻击点 Z_1 坐标, 在此基础上, 根据阻击点间隔时间自动计算尔后阻击点 Z_2 、 Z_3 、 \dots 、 Z_n 坐标, 表 3 列出计算的提前时间阻击点 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 的位置坐标。

表 3 提前时间阻击点计算结果

阻击点	提前时间阻击点坐标		
	X 坐标	Y 坐标	H 高程
Z_1	3 217 558	18 360 072	0
Z_2	3 217 602	18 360 135	0
Z_3	3 217 645	18 360 198	0

3.3 实有阻击点

假设实有阻击点坐标为 $X=3\ 217\ 558$, $Y=18\ 360\ 072$, $H=0$, 结合表 1 标定点信息, 按照式(7)可计算出弹丸落地时间, 如表 4 所示。

表 4 实有阻击点计算结果

运动速度	提前时间阻击点坐标			弹丸落地时刻
	X 坐标	Y 坐标	H 高程	
3.8 318	3 217 558	18 360 072	0	00:03:19

4 结束语

笔者介绍了运动目标标定方法及实现, 要保证对运动目标进行有效射击, 关键在于及时并准确地进行目标标定。在设计及实现时应注意以下几点:

1) 标定点不宜过多, 一般不多于 6 个, 当多于 6 个时, 需要删除标定时间早的标定点;

2) 在进行目标标定时, 可结合实有阻击点信息, 自动判断运动方向上是否有实有阻击点, 若有

则计算放的时间, 否则计算提前时间阻击点;

3) 条件具备的情况下, 可结合地理信息数据对运动目标的运动趋势进行分析和判别, 以获得更精确的运动诸元。

综上所述, 可采用笔者所述方法对目标进行标定, 实现对运动目标射击的预处理, 从而实现对运动目标的有效射击, 为炮兵指挥信息系统实现对运动目标射击提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 李晓婷, 张玉梅. 运动目标射击指挥研究[J]. 电脑开发与应用, 2011, 24(7): 61-62.
- [2] 段菖蒲, 刘琼, 唐克. 基于 Kalman 滤波算法对运动目标射击研究[J]. 兵工自动化, 2015, 34(4): 1-4, 12.
- [3] 钟宜兴, 谢文, 柳建民, 等. 中国人民解放军陆军炮兵射击教程[M]. 北京: 解放军出版社, 2018: 118-119.
- [4] 郭福喜. 炮兵射击指挥[M]. 张家口: 炮兵指挥学院, 2009.
- [5] 郎守林, 郭玉仑, 张平乐, 等. 射击实施[M]. 张家口: 炮兵指挥学院, 1999: 115-116.
- [6] 陈兵, 赵建新, 石正海, 等. 岸防炮兵对海上运动目标射击算法的分析[J]. 火力与指挥控制, 2012, 7(S1): 132-134.
- [7] 郑锴, 郑献民, 殷少锋, 等. 基于最小二乘拟合的无人机运动目标测速方法[J]. 兵器装备工程学报, 2021, 42(3): 61-64.
- [8] 米歇尔·沃哈根. 滤波与系统辨识: 最小二乘法[M]. 2 版. 西安: 西北工业大学出版社, 2018: 15-18.
- [9] 杨大地, 王开荣. 数值分析[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 134-136.