

·光电工程系统技术·

基于测角信息的机动目标轨迹预测研究

陈海霞, 赵猷肄, 董军章

(光电系统信息控制技术国家级实验室, 河北 三河 065201)

摘要:在地面固定单站对机动目标的无源轨迹预测中,地面固定单站仅提供目标方位角和高低角信息,而没有提供目标距离信息.因此,目标飞行轨迹的预测只能依靠已有的角度信息进行.在无测距信息的情况下,根据匀加速运动和等高飞行 2 个弱条件假设,提出了仅利用测角系统测得的空中机动目标的高低角和方位角进行目标飞行轨迹预测的算法,并对算法进行了仿真测试.仿真试验结果表明该预测算法角度预测误差在毫弧度以下.

关键词:测角;高低角;方位角;轨迹预测

中图分类号: TN911.73; TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2009)04-0006-04

Estimation of Mobile Target Track Based on Angular Information

CHEN Hai-xia, ZHAO You-yi, DONG Jun-zhang

(National Laboratory of Electro-Optic System Technology, Sanhe 065201, China)

Abstract: In the passive estimation of mobile target track, the stationary ground platform only provides angular information but no distance information. So, the target flying track must be estimated solely with the existing angular information. A new algorithm, based on uniform acceleration and constant altitude flying mode hypothesis, is presented to estimate the mobile target track according to the measured angular information. A simulation model was built to test the performance of the algorithm. The experimental results show that the estimation algorithm can reduce the angular error to milli-radian or less.

Key words: angle measurement; elevation angle; azimuth angle; track estimation

固定单站对机动目标的无源轨迹预测利用一个固定观测平台对机动辐射源目标进行连续测量,在获得一定测量信息的基础上,利用适当的数据处理方法预测目标在下一时刻的位置信息.在对机动目标运动特性进行合理假设的基础上,从运动学原理出发,提出了一种仅利用已测方位角和高低角信息进行轨迹预测的算法.仿真试验表明,算法能够较好地降低系统跟踪误差.

1 轨迹预测算法

1.1 算法的基本假设

固定观测平台的测角系统可以提供较准确的目

标方位角和高低角信息,但没有对目标距离进行测量.因此,目标飞行轨迹的预测只能依靠已有的方位角和高低角信息进行.在无测距信息的前提下,提出了一种仅利用方位信息进行轨迹预测的算法.算法基于以下两点假设.

(1)目标匀加速运动假设.目标运动的一阶导数为目标的运动速度,运动的二阶导数为加速度.对于常规的空间运动目标,运动方程三阶以上的高阶导数可视为零^[1].因此,算法采用了匀加速假设,只利用过去 3 个位置信息进行预测.

(2)等高飞行假设.在算法跨越时间间隔较小的情况下,目标飞行高度变化不大.可认为目标在预测

收稿日期:2009-06-23

基金项目:光电系统信息控制技术国家级重点实验室基金(9140C150101901)

作者简介:陈海霞(1977-),女,山东平度人,博士,主要研究方向为图像识别、智能数据库以及计算机仿真等.

算法所跨越的时间范围内做等高飞行.

1.2 飞行轨迹预测算法

在某一时刻 t , 令 $\theta(t)$ 表示测角系统测得的机动目标高低角, $\varphi(t)$ 表示测角系统测得的机动目标方位角, $r(t)$ 表示固定观测平台与空中机动目标之间的距离, $x(t), y(t), z(t)$ 表示空中机动目标在固定观测平台坐标系中的位置, 如图 1 所示.

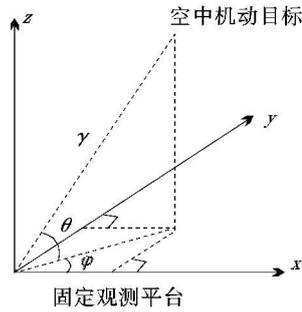


图 1 空中机动目标在固定观测平台坐标系中的位置示意图

则

$$\begin{cases} x(t) = r \cos\theta \cos\varphi \\ y(t) = r \cos\theta \sin\varphi \\ z(t) = r \sin\theta \end{cases} \quad (1)$$

根据假设(2), 式(1)中的 $z(t)$ 是相对固定的.

将式(1)整理消除变量 r 后得

$$\begin{cases} x(t) = \frac{z(t)}{\tan\theta} \cos\varphi \\ y(t) = \frac{z(t)}{\tan\theta} \sin\varphi \end{cases} \quad (2)$$

根据假设(1)有

$$\begin{cases} x(t) = x(t-1) + \int_{t-1}^t v_x dt \\ y(t) = y(t-1) + \int_{t-1}^t v_y dt \\ v(t+1) = v(t) + \int_t^{t+1} a_x dt \\ v(t+1) = v(t) + \int_t^{t+1} a_y dt \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} a_x(t+1) = a_x(t) = a_x(t-1) = a_x(t-2) \\ a_y(t+1) = a_y(t) = a_y(t-1) = a_y(t-2) \end{cases}$$

所以, 在 $t+1$ 时刻预测得到的轨迹值为

$$\begin{cases} \hat{x}(t+1) = x(t) + \int_t^{t+1} v_x dt = 3x(t) - 3x(t-1) + x(t-2) \\ \hat{y}(t+1) = y(t) + \int_t^{t+1} v_y dt = 3y(t) - 3y(t-1) + y(t-2) \end{cases} \quad (4)$$

将式(2)代入式(4)中, 整理后得

$$\begin{cases} \frac{\cos \hat{\varphi}(t+1)}{\tan \hat{\theta}(t+1)} = 3 \frac{\cos \varphi(t)}{\tan \theta(t)} - 3 \frac{\cos \varphi(t-1)}{\tan \theta(t-1)} + \frac{\cos \varphi(t-2)}{\tan \theta(t-2)} \\ \frac{\sin \hat{\varphi}(t+1)}{\tan \hat{\theta}(t+1)} = 3 \frac{\sin \varphi(t)}{\tan \theta(t)} - 3 \frac{\sin \varphi(t-1)}{\tan \theta(t-1)} + \frac{\sin \varphi(t-2)}{\tan \theta(t-2)} \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{令 } a = 3 \frac{\cos \varphi(t)}{\tan \theta(t)} - 3 \frac{\cos \varphi(t-1)}{\tan \theta(t-1)} + \frac{\cos \varphi(t-2)}{\tan \theta(t-2)}$$

$$b = 3 \frac{\sin \varphi(t)}{\tan \theta(t)} - 3 \frac{\sin \varphi(t-1)}{\tan \theta(t-1)} + \frac{\sin \varphi(t-2)}{\tan \theta(t-2)} \quad (6)$$

$$\text{则 } \begin{cases} \hat{\varphi}(t+1) = \arctan \frac{b}{a} \\ \hat{\theta}(t+1) = \arctan \frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2}} \end{cases} \quad (7)$$

式(7)给出了空中机动目标在等高等加速假设条件下飞行时, 利用前 3 个时刻点的飞行轨迹值预测得到的下一时刻点的飞行轨迹值.

2 仿真试验及结果分析

利用 MATLAB 对算法进行仿真. 分别研究了空中机动目标在直线飞行和盘旋飞行 2 种典型飞行状态下算法的预测效果.

2.1 直线飞行仿真

分 2 种情况对空中机动目标作直线飞行时算法的预测性能进行仿真测试. 第一种情况, 目标作水平直线飞行. 仿真模拟条件为: 目标从 $(-120, 20, 1000)$ 开始沿 x 轴正向作匀速直线掠过式飞行, 飞行速度 70 m/s , 预测时间 8 s , 测角频率为 20 次/s . 图 2 给出了该方式下实际测量到的高低角、方位角, 预测得到的高低角、方位角以及两者之间的误差比较结果. 从图 2 中可以看出, 当目标作水平直线飞行时, 预算法能够精确地给出目标下一步的方位信息.

第二种情况下, 目标的飞行高度随时间降低. 具体仿真模拟条件为: 目标从 $(-120, 20, 1000)$ 开始做下降飞行, 经过点 $(-80, 20, 990)$, 飞行速度 70 m/s , 预测时间 8 s , 测角频率为 20 次/s . 图 3 给出了该飞行方式下实际测量到的高低角、方位角, 预测得

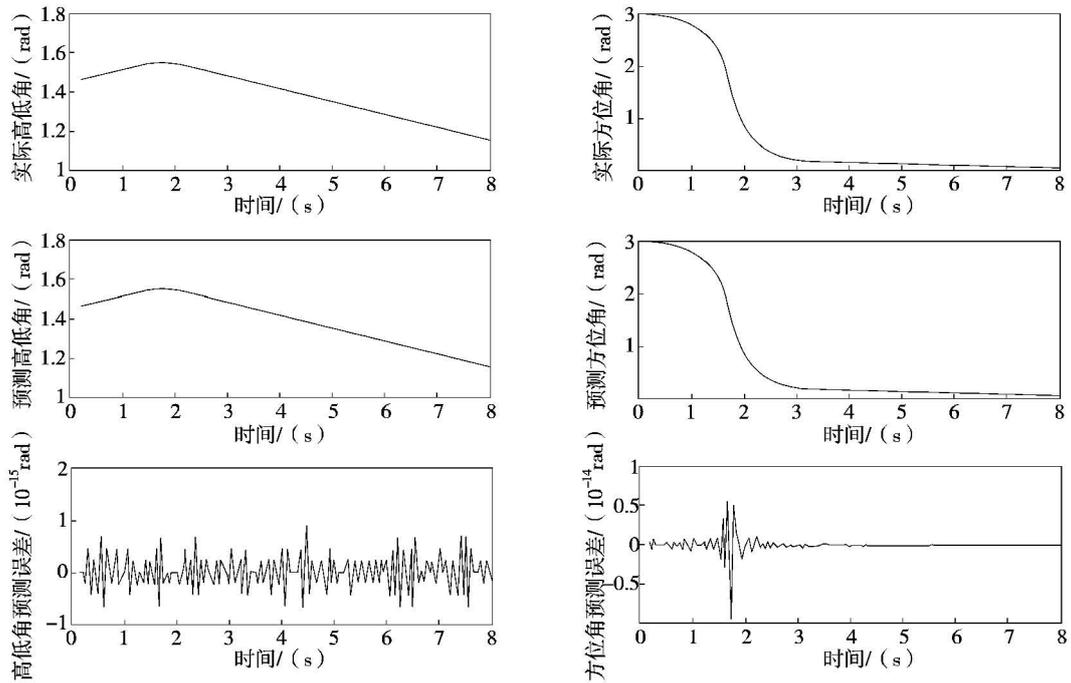


图 2 水平直线飞行预测算法误差比较

到的高低角、方位角以及两者之间的误差比较结果。从图 3 中可以看出,在目标飞行高度变化的情况下,预测算法仍能够较精确地给出目标下一步的方位信

息.但与水平直线飞行情况相比,误差有所增大.这主要是因为预测算法是基于等高飞行假设的,而目标飞行高度的变化破坏了等高飞行假定。

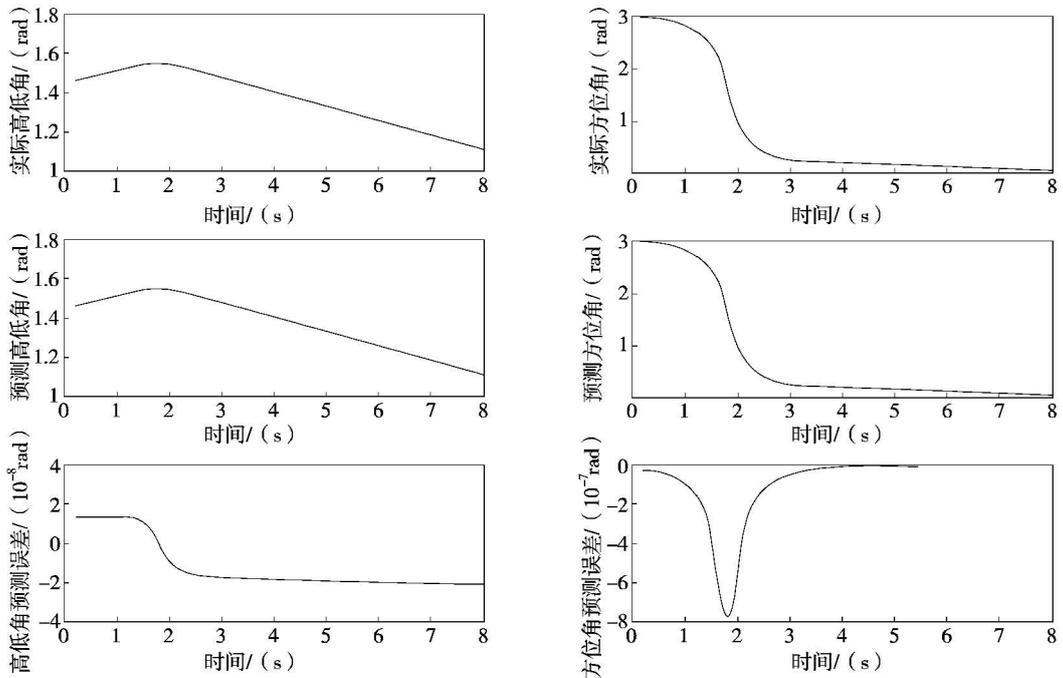


图 3 直线非水平飞行预测算法误差比较

2.2 盘旋飞行仿真

图 4 给出了目标作盘旋飞行时实际能测量到的高低角、方位角, 预测得到的高低角、方位角以及两者之间的误差比较结果. 仿真模拟条件为: 目标从 (200, 1 200, 1 000) 开始绕 (0, 1 200, 1 000) 沿逆时针方向做匀速盘旋式飞行, 飞行速度 70 m/s, 预测

时间 8 s, 测角频率为 20 次/s. 从图 4 中可以看出, 当目标作盘旋飞行时, 预测算法能够较好地给出目标下一步的方位信息, 但与直线飞行方式相比, 误差显著增大. 这主要是因为预测算法是基于匀加速运动假设的, 目标作匀速直线式飞行时能够很好的满足该假设, 而当目标作盘旋运动时, 实际飞行情况与假设出入较大.

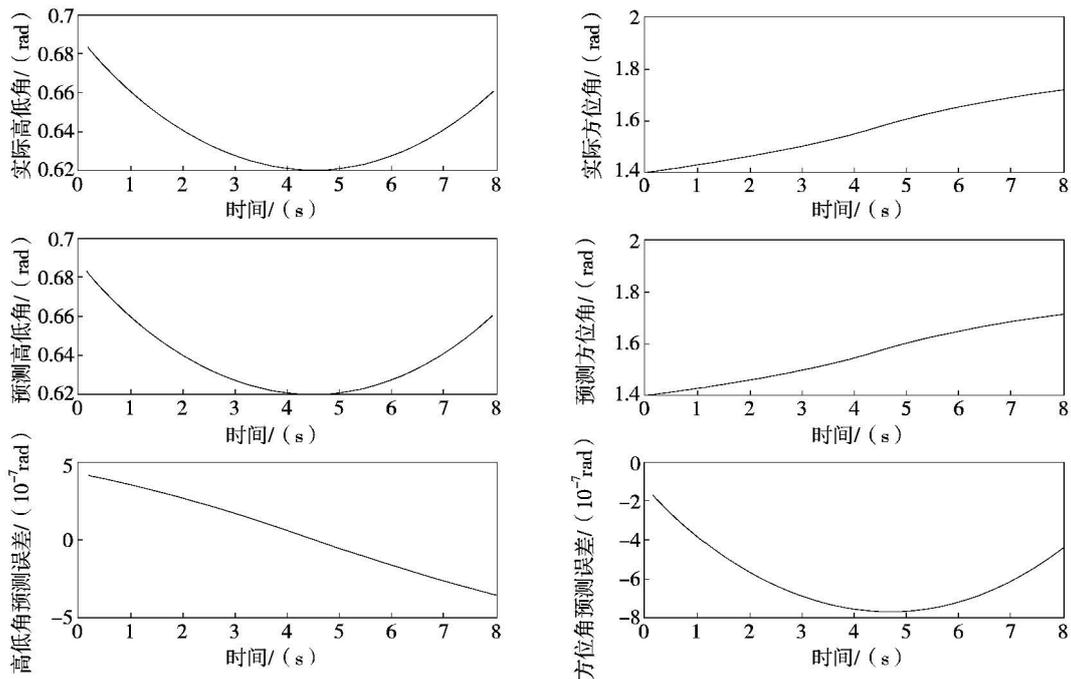


图 4 盘旋飞行预测算法误差比较

2.3 仿真结果分析

表 1 不同运行方式预测误差均值比较

飞行方式	(高低角, 方位角) 误差均值	
	无 预 测	预 测
水平直线	$(3.100 \times 10^{-3}, 1.843 \times 10^{-2})$	$(2.503 \times 10^{-16}, 3.395 \times 10^{-16})$
直线非水平	$(3.347 \times 10^{-3}, 1.842 \times 10^{-2})$	$(1.683 \times 10^{-8}, 8.537 \times 10^{-8})$
盘 旋	$(6.868 \times 10^{-4}, 2.417 \times 10^{-3})$	$(2.079 \times 10^{-7}, 6.037 \times 10^{-7})$

表 1 给出了不同条件下高低角方位角误差均值. 从表 1 中可以看出, 无论在何种飞行条件下, 采用预测算法后, 误差降为不采用预测算法时的 1% 以下. 预测后误差均值远低于毫弧度级, 量级约为十微弧度级. 改变试验条件进行了多次仿真试验均取得类似结果.

3 结 论

在固定单站对机动目标的无源跟踪过程中, 延时会造成较大的系统误差, 利用目标轨迹预测可以较好地降低系统误差, 提高跟踪精度. 利用 2 个弱条
(下转第 20 页)

决定.

将式(13)与式(11)联立,消去参数 β ,并令 b 等于一固定值,可得到校正视轴俯仰角后像旋角 θ 与方位转角 α 的对应关系.当 b 为不同的值时,这种对应关系是不一样的,作出的曲线图如图 8 所示.

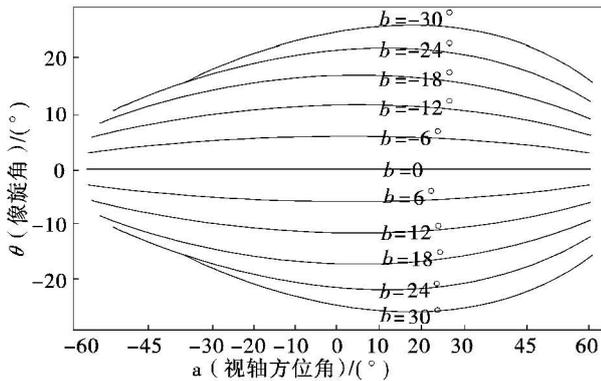


图 8 校正视轴俯仰角后像旋角与方位转角的对应关系曲线

对于单元探测器的系统,像旋并不影响系统功能,但对线列或面阵探测器的目标探测系统,像旋既影响对扫描空间覆盖的均匀性,也影响目标跟踪瞄准时真实离轴信息的获取.对于 45° 扫描镜系统(即 YZ 扫描轴系),像旋角与方位转角之间存在线性关系,可以采用同步旋转探测器方法消像旋,也可以采用转像棱镜(可见光)、或 K 镜(红外及可见光)等光学方法消像旋,但对于这里讨论的二维指向镜定域扫描系统都不太适合,因为像旋角与方位转角之间不存在线性关系,消旋机构的驱动控制显得非常复杂和困难.如果搜索视场不是很大,用图像处理方法消像旋不失为一种较为可行的做法.

因为点目标的检测与像旋角无关,即使存在很大的像旋也可以应用一定的检测算法提取出目标,并且点目标的像旋角可以由式(13)明确解析出来,从而可以精确求得点目标的方位俯仰信息.所以对于点源探测系统,如红外告警系统也可以应用定域扫描方式.

5 结 论

在光学反射矢量理论的基础上,详细分析了二维指向镜的定域扫描方式的非线性扫描特性,给出了指向镜二维扫描的轨迹及像旋角的计算公式,提出了对扫描轨迹进行非线性校正的方法.同时也指出,采用定域扫描方式同样存在像旋,而且像旋角与方位转角之间不存在线性关系,只能靠图像处理的方法进行消旋.因为点目标检测与像旋角无关,而且点源目标的实际方位和俯仰坐标可以通过像旋角计算出来,所以即使不进行消旋,二维指向镜的定域扫描方式也可以应用在与点源探测系统中.

参考文献

- [1] 惠彬,李景镇. 45° 二维扫描镜扫描轴系特性分析[J]. 红外技术,2006:508-511.
- [2] 李淑英,周世椿. 二维指向镜的成像特性分析[J]. 光电工程,2008:17-22.
- [3] 宋丰华. 现代空间光电系统及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2004:49.
- [4] 连铜淑. 反射棱镜共轭理论[M]. 北京:北京理工大学出版社,1988:1-3.

(上接第 9 页)

件假设:匀加速运动假设和等高飞行假设,设计了一种仅利用目标方位信息进行轨迹预测的算法,实现了在无测距信息条件下的目标轨迹预测.仿真结果表明预测算法能够精确地预测目标方位角和高低角.在此基础上,设计了高度降低的直线飞行和盘旋飞行 2 种飞行场景以检验算法在假设不能满足情况下的预测性能.仿真结果表明,在这 2 种情况下,预测算法都能较准确地给出预测方位角和高低角,角

度预测误差均在毫弧度以下.

参考文献

- [1] 时成文,杨飞. 光电跟踪伺服参数设计与跟踪算法误差分析[J]. 光电技术应用,2007,22(2):12-14.
- [2] 程翔,张河. 基于纯测角的直升机飞行轨迹与拦截角估计[J]. 火箭与制导学报,2007,27(2):174-176.
- [3] 钟宜兴,高正,褚政. 直升机电激光指示器发射未制导炮弹射击效能分析[J]. 南京航空航天大学学报,2004,36(4):433-437.