

基于雷达信噪比模型的目标跟踪算法研究

王颖 雷斌

(西安工业大学 西安 710021)

摘要:为了解决目前雷达目标跟踪算法中存在的准确性低、稳定性差的问题,提出了一种基于雷达信噪比模型的雷达目标跟踪算法,该算法对雷达信噪比进行建模,评估测试过程中固定不变的参数数值,并对每一时刻的变量进行预估计算处理,从而获取目标运动轨迹和雷达跟踪强度。仿真结果表明,基于雷达信噪比模型的目标跟踪算法,确实可以及时有效的获取目标的运动轨迹和雷达跟踪强度,提高雷达目标跟踪系统的准确性和稳定性。

关键词: 雷达;信噪比;目标跟踪

中图分类号: TN95 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.70

Research on object tracking algorithms based on a model to radar noise-signal ratio

Wang Ying Lei Bin

(Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: The accuracy and stability of radar object tracking system is bad. In order to resolve this problem, this paper proposes a object tracking algorithm based on the model to radar SNR, this algorithm established a model to radar SNR, evaluated the static parameter in the test processing, at the same time estimated variables at every time, then achieved the moving trail of object and strength of radar tracking system. The simulation result shows that object tracking algorithms based on a model to radar SNR can achieve the moving trail of object and strength of radar tracking system timely and effectively, improve the accuracy and stability of radar tracking system.

Keywords: radar; SNR; target tracking

1 引言

雷达目标跟踪系统能连续跟踪一个目标,获得目标运动轨迹以及雷达跟踪强度,由于雷达在白天黑夜均能探测远距离的目标,不受雾、云和雨的阻挡,具有全天候、全天时的特点,因此成为军事上必不可少的电子装备,被广泛应用于现代化战争中。近年来,国外主要国家为使雷达能适应日趋复杂的作战环境,在提升雷达性能方面做了深入研究,如在美国导弹防御系统计划中,雷达技术不断进步,靶场试验从未停止。而我国将其纳入重点研究内容并且仍在加紧开发高新技术,许多研究机构也在开展相关的研究工作。

随着新型武器的不断出现,目标的材质特征和运动性能有了大幅度的提高和改善,这就要求雷达跟踪系

统能适应目标的各种新特性^[6],在复杂环境中仍然能获得较为真实的跟踪结果。提出的基于雷达信噪比模型的目标跟踪算法,通过对不同时刻影响目标跟踪特性的变量进行预估计算,结合雷达特性,对最终雷达信噪比显示进行仿真和模拟分析,提高雷达目标跟踪系统的准确性和稳定性。

2 雷达信噪比模型

雷达检测信噪比由目标回波功率、杂波功率和噪声功率决定的。

设雷达发射信号的功率为 P_t ,雷达天线主瓣在目标方向上的增益为 G_t ,则当雷达在自由空间工作时,与雷达天线距离为 R 的目标处的功率密度 S_1 :

$$S_1 = \frac{P_t}{4\pi R^2} G_t \quad (1)$$

当目标被电磁波照射时,因为目标的散射特性会将信号能量向周围空间散射从而产生散射回波。散射功率的大小和目标所在点的发射功率密度 S_1 ,与目标的散射特性有关。通常用目标的雷达散射截面(RCS) σ 来表征目标的散射特性^[1-2],其量纲是面积,表示目标散射功率的空间分布,它与天线孔径面积有相同的含义。

若假定目标可将其接收到的功率无损耗的辐射出来,则目标散射出来的总功率(二次辐射功率):

$$P_2 = \sigma S_1 = \frac{P_t}{4\pi R^2} G_r \sigma \quad (2)$$

假设目标散射的功率 P_2 向周围空间均匀辐射,则雷达接收天线处的回波信号密度:

$$S_2 = \frac{P_2}{4\pi R^2} = \frac{P_t}{4\pi R^2} G_r \sigma \quad (3)$$

设雷达接收天线的有效接受面积为 A_r ,则雷达接收到的回波功率 P_r :

$$P_r = \frac{P_t}{(4\pi R^2)^2} G_r \sigma A_r \quad (4)$$

根据天线增益 G_r 和有效面积 A_r 之间的关系(λ 为雷达工作波长):

$$G_r = \frac{4\pi A_r}{\lambda^2} \Rightarrow A_r = \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} \quad (5)$$

则接收天线收到的回波功率大小:

$$P_r = \frac{P_t G_r G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (6)$$

当雷达采用收发用天线时,天线的发射增益和接收增益相同,即 $G_t = G_r = G$,因此:

$$P_r = \frac{P_t}{(4\pi)^3 R^4} G^2 \lambda^2 \sigma \quad (7)$$

设雷达各部分的综合损耗为 L_r ,则回波功率表达式(雷达方程):

$$P_r = \frac{P_t}{(4\pi)^3 R^4} G^2 \lambda^2 \sigma L_r \quad (8)$$

雷达综合信噪比 S/N :

$$\frac{S}{N} = \frac{S}{N_r + N_c} \quad (9)$$

式中: S 为回波信号功率, N_r 为接收机噪声, N_c 为杂波(包括海杂波、地杂波等)功率。

3 目标跟踪方法

根据已经建立好的跟踪模型,评估测试过程中固定不变的参数数值,包括雷达发射功率、天线增益、接收机噪声、工作波长等,并对变量进行每一时刻的预估计算处理,包括目标距离,目标角度和 RCS 等。

通过跟踪模型,从外弹道每一时刻起,对雷达位置和目标参数进行是否在作用范围内的预判,其后,根据模型及跟踪门限,判断雷达是否能跟踪到目标,最后进行导弹

是否飞行结束的判断。

图 1 所示为基于雷达信噪比模型的目标跟踪方法流程。

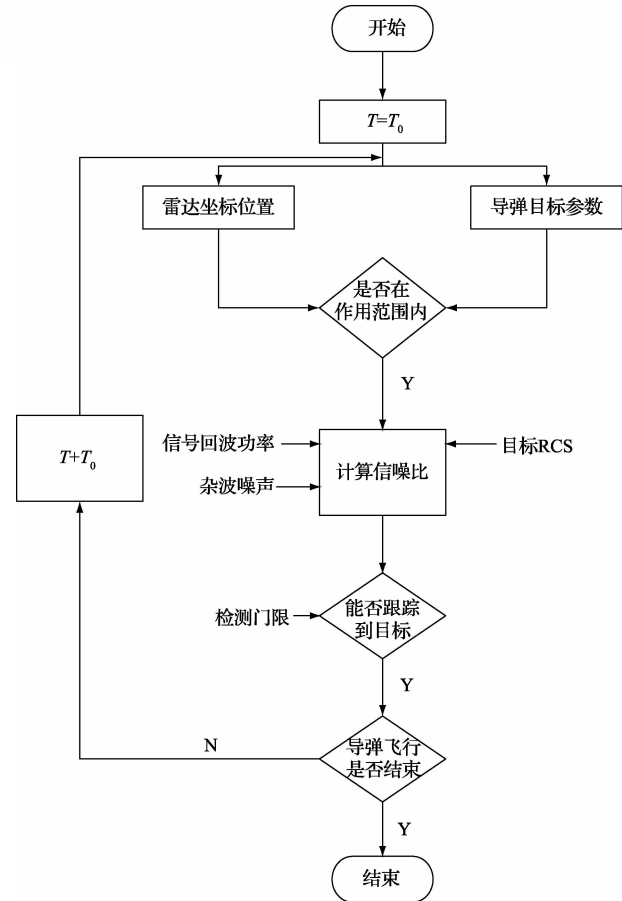


图 1 基于雷达信噪比模型的目标跟踪方法流程

4 仿真实验

为了验证基于雷达信噪比模型的目标跟踪算法的可行性,选用 Weber 雷达,在 Radarpros(外弹道雷达跟踪测试系统,该系统使用文中提出的目标跟踪算法,通过编程实现^[5-7])环境下进行飞行轨迹的模拟^[3],雷达与目标距离的计算,雷达与目标空间夹角对应 RCS^[2]的计算。

仿真中,假定雷达发射功率为 100 W,工作频率为 10.54 GHz,天线增益为 40 dB,将设定的参数值输入到 Radarpros 中,同时导入全方位动态 RCS 数据库以及目标运动过程的实时坐标,运行软件后即可获得目标运动过程中的相关数据。

4.1 弹道的轨迹仿真

考虑到连续波雷达更容易区分活动目标的特性,适合于检测单一活动目标,因此文中采用连续波雷达进行模拟仿真,图 2~4 分别为不同弹道方向下导弹的飞行轨迹。

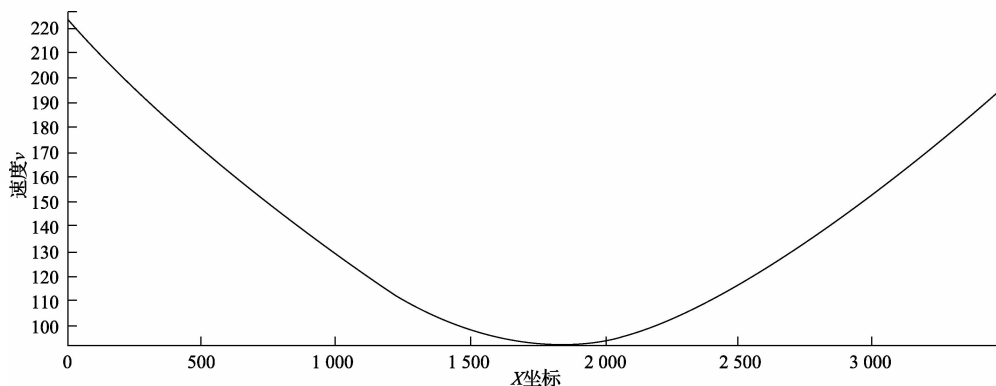


图2 X-v 弹道仿真

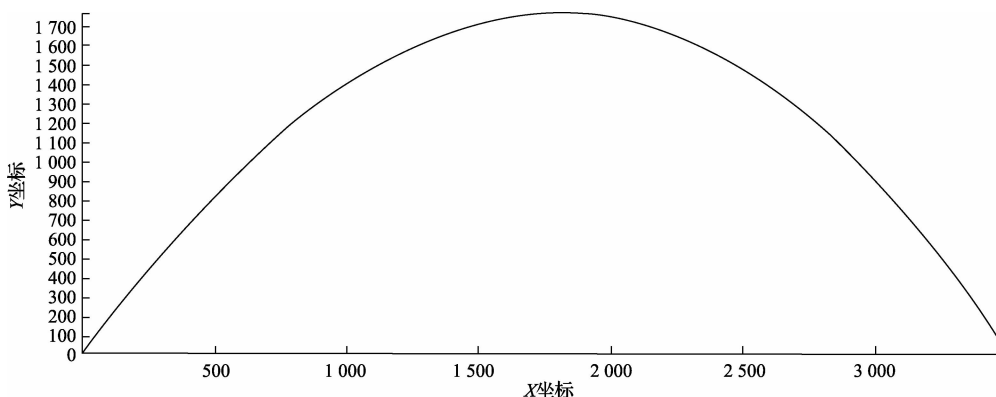


图3 X-Y 弹道仿真

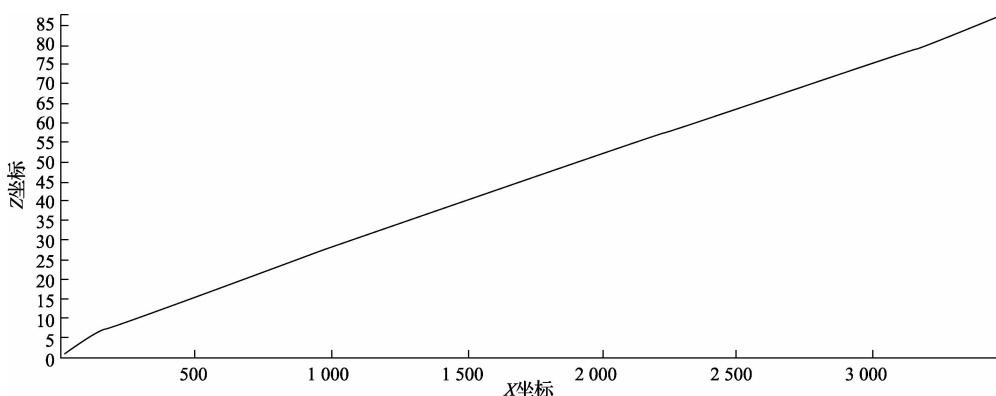


图4 X-Z 弹道仿真

图2是以导弹飞行的 x 方向为横坐标,以飞行速度为纵坐标获得的 $X-v$ 弹道仿真结果;图3是以导弹飞行的 x 方向为横坐标,以导弹飞行 y 方向为纵坐标获得的 $X-Y$ 弹道仿真结果;图4是以导弹飞行的 x 方向为横坐标,以导弹飞行 z 方向为纵坐标获得的 $X-Z$ 弹道仿真结果。这3幅图描述了目标全过程(0~3 km)的飞行轨迹及坐标,经分析可知从导弹发射时刻到升至平飞的过程中速度不

断减小,当导弹能量消耗到一定程度的时候,由于它自身重量和重力势能的存在,使其运动轨迹呈现下降趋势,且速度逐渐增加。

4.2 变量的仿真计算

通过特定布站下的雷达坐标,与不同时刻目标所在的位置坐标,计算得出不同时刻雷达与目标之间的距离。其中,雷达布站坐标满足 $(-100, 0, 15)$ 。

雷达与目标的夹角由理论弹道模拟验证计算得到,相较于导弹被动段夹角修正算法,该方法可避免复杂、烦琐的计算过程。此方法是根据导弹的模拟飞行轨迹,依次取出连续3个点,求出中间点的切线方程,再根据雷达坐标和目标在该时刻的坐标,求出雷达到目标的直线方程,最后求出中间点切线方程和雷达到目标的直线方程的夹角,那么这个夹角就是雷达与目标的夹角。

利用所求得的雷达与目标夹角对应 RCS(雷达散射截面)仿真图表,得到在不同角度下所需要的雷达反射截面(RCS)。

对以上变量进行计算仿真,得出如表1所示数据规律。

表1 导弹与雷达之间位置和 RCS 的关系

时间/s	距离/m	角度(°)	RCS/dBm ²
0.2	126.854	44.957	-11.090
0.3	142.962	38.772	-4.158
⋮	⋮	⋮	⋮
5.5	1 116.691	0.821	3.934
5.6	1 133.260	0.887	3.925
⋮	⋮	⋮	⋮
37.7	3 580.497	65.915	-6.255
37.8	3 588.469	65.812	-6.011

4.3 目标跟踪实验仿真

通过评估动态变量,综合固定参数及雷达目标特性,利用建立好的信噪比模型,模拟得出雷达跟踪强度数据,并查看整个外弹道跟踪强度的趋势变化。

图5所示目标跟踪简单模拟趋势。

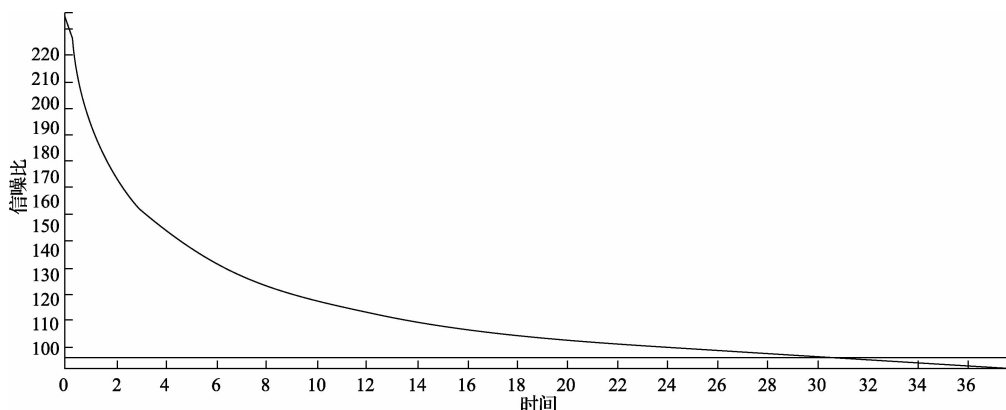


图5 雷达信号强度曲线仿真

从图5中可以看出,雷达对目标的跟踪呈现下降的趋势,考虑到雷达布站是在目标出发点的右后侧位,随着飞行距离的增加,目标与雷达的距离越来越远,相对夹角所对应的 RCS 也随之改变,跟踪到模拟门限设定的 30 dB 时,雷达会丢失目标。

5 结论

为了解决目前目标跟踪算法中存在的准确性低、稳定性差的问题,提出的基于雷达信噪比模型的目标跟踪算法,通过对雷达方程的分析,建立雷达信噪比的算法模型,对测试过程中固定不变的参数进行评估,并对每一时刻的变量进行预估计算,从而获取目标的运动轨迹和雷达跟踪强度。为了验证该算法的可行性,设计了 Radarpros 外弹道雷达跟踪测试系统,对目标飞行轨迹,目标与雷达距离、夹角,进行仿真,得到了目标的 RCS 和信噪比。通过对仿真结果的分析表明,该算法确实可以及时准确的获取目标的运动轨迹和雷达跟踪强度,在提高雷达目标跟踪系统的准确性和稳定性上有一定的实用价值。

参考文献

- [1] 付耀文,贾宇平,庄钊文.基于一维散射中心匹配的雷达目标识别[J].电子学报,2006,34(3):404-408.
- [2] 陈德喜,颜俐,王海婴,等.FEKO软件的RCS仿真应用[J].舰船电子工程,2008,28(9):125-128,203.
- [3] 肖滨,郭鹏程,衡军,等.战术弹道导弹的弹道仿真[J].系统仿真技术,2008,4(4):213-217,221.
- [4] 李晋,皮亦鸣,杨晓波,等.基于微动特征提取的太赫兹雷达目标检测算法研究[J].电子测量与仪器学报,2010,24(9):803-807.
- [5] 张素芹.多雷达信息融合仿真平台的构建与设计[J].国外电子测量技术,2010,29(4):71-73,77.
- [6] 李海贵,孙俊平.通用雷达数据处理系统仿真测试平台设计[J].雷达科学与技术,2010,8(4):339-342.
- [7] 马进军,马维军,赵明波.组网雷达作战分析与几点思考[J].国防科技,2010,31(4):28-49.
- [8] 杨俊强,毛征,张志,等.雷达航迹融合算法验证系统设计[J].国外电子测量技术,2009,28(11):63-66.

(下转第35页)