

The Research of Performance Evaluation Method for Airborne Radar Target Tracking Based on Tracking Coefficient

Shuhua Li, Yong Wang

Naval Aeronautical Engineering Academy, Qingdao Branch, Qingdao Shandong
Email: wyong710922@163.com

Received: Jul. 30th, 2017; accepted: Aug. 12th, 2017; published: Aug. 16th, 2017

Abstract

Improving the performance of target tracking is much in request for modern radar. On the basis of the track formation mechanism and performance evaluation of Monte Carlo simulation experiences in different stages of track formation process, this paper proposes a performance evaluation method for airborne radar target tracking—tracking coefficient, and describes in detail the definition and calculation of functional modules. In the end the flight checking indicates that the evaluation method is valid and the evaluation effectiveness is comprehensive.

Keywords

Target Tracking, Tracking Coefficient, Performance Evaluation

基于跟踪系数的机载雷达目标跟踪能力评估方法研究

李淑华, 王 勇

海军航空工程学院青岛校区, 山东 青岛
Email: wyong710922@163.com

收稿日期: 2017年7月30日; 录用日期: 2017年8月12日; 发布日期: 2017年8月16日

摘 要

目标跟踪是对现代雷达的基本要求, 本文分析了雷达航迹形成的机理及形成过程中各阶段的蒙特卡罗评

估方法, 提出了一种基于跟踪系数的雷达目标跟踪能力评估方法, 给出了跟踪系数的定义和计算模型, 通过飞行检验验证了该方法的有效性和评判效果的综合性。

关键词

目标跟踪, 跟踪系数, 性能评估

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

机载雷达跟踪性能评估依赖于目标动态特性、目标密度和数量、雷达探测精度、跟踪滤波器性能等诸多因素, 由此造成了性能评估指标的繁多。在进行跟踪能力评估时, 一般采用 Monte Carlo 仿真验证法或数学模型解析算法进行评估, 存在计算量大、适应性差等问题[1]。本文基于跟踪系统为黑箱[1]的事实, 实际结合现代雷达工作模式多变的特点, 提出了一种新的基于点迹与航迹时间关联的雷达目标跟踪能力评估模型, 通过飞行检验验证了该方法的有效性和评判效果的综合性。

2. 目标跟踪性能算法仿真评估方法

雷达对目标的跟踪要经历点迹形成与航迹起始、点迹与航迹的数据关联, 航迹的跟踪与维持三个阶段, 不同阶段评估方法不同。

2.1. 航迹起始时间及评估方法

航迹起始时间是反映雷达实现快速跟踪能力的评估指标之一。航迹起始的方法主要有波门法、滑窗法、序贯检验法和其它概率算法[2], 根据算法的不同每次的起始时间不尽相同; 同一部雷达, 不同的时机进入跟踪, 起始时间也会有所不同。

设雷达数据处理系统对目标 n 共进行 M 次 Monte Carlo 仿真实验, 在第 m 次仿真中, 记录下分配到目标 n 的确认航迹的时间为 t_n^m , 若在该次仿真期间 T 内没有航迹分配给目标 n , 则令 $t_n^m = T$, 于是定义

目标 n 的平均航迹起始时间为 $t_n = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M t_n^m$ 。

若把雷达 i 次所测得的所有目标(共 N 个目标)的平均航迹起始时间进行统计平均, 可获得雷达总的平均航迹起始时间 t^i , 即 $t^i = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N t_n$ 。

2.2. 数据关联及评估方法

数据关联任务是将新的录取周期获得的一批点迹分配给各自对应的航迹。在目标密集、杂波复杂的环境中, 可能出现一个点迹落入多个波门或多个点迹落入同一波门的情况, 要么是两个航迹“争夺”单个点迹, 要么是相关波门中的多个点迹与同一航迹关联。

数据关联常用方法有最近邻域法、多假设检验法和联合概率数据互联法等, 数据关联会产生航迹中断和虚假航迹。

在点迹 - 航迹数据关联时, 若连续没有新的点迹分配给已知航迹, 则航迹就会出现中断。在一次评

估中所有真实目标没有分配到航迹的总数, 称为航迹积累中断次数, 记为 NB 。计算方法如下:

在航迹存在期间, 目标 n 在评估中的航迹积累中断次数为:

$$NB_n = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M NB_n^m .$$

式中 M 为 Monte Carlo 仿真次数, NB_n^m 为第 m 次 Monte Carlo 仿真中目标 n 的总航迹中断次数。若目标总数为 N , 则航迹积累中断次数为: $NB = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N NB_n$ 。

2.3. 航迹跟踪及评估

航迹跟踪基于现代动态系统理论和随机滤波理论, 包括跟踪坐标系的转换、机动目标模型的建立、跟踪滤波算法的选取等过程, 其评估方法有航迹精度、目标跟踪概率和虚假航迹比例等。

机动目标跟踪概率就是从目标机动开始到机动结束, 发现点数与总观测点数之比。即

$$P_T = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{N_{\text{发现点数}}^i}{N_{\text{总观测点数}}^i}$$

式中: P_T 为跟踪概率, M 为 Monte Carlo 总仿真次数, $N_{\text{发现点数}}^i$ 为第 i 次仿真时目标在机动段内的发现点数, $N_{\text{总观测点数}}^i$ 为第 i 次仿真时目标在机动段内的总观测点数。

Monte Carlo 方法可在计算机上大量重复抽样, 对于一些模型特别复杂, 利用数值求解的问题, 受条件限制影响小, 经济性好[3], 但存在收敛速度慢、实时性差等问题; 由于仿真数据与实际数据的差异, 也会导致仿真结果的差异。文献[1]尽管定义航迹的目标源归属判断方法用于实际目标跟踪性能评估, 但要实现雷达跟踪性能的客观、真实和全面评估, 最好的方法还是飞行检验。

3. 目标跟踪性能飞行检验评估方法

3.1. 基于跟踪率飞行检验评估方法

国军标 GJB2137.8 中定义跟踪率[4]来综合评估目标跟踪性能。跟踪率的表达式为:

$$\frac{N-n}{N} \geq p$$

N 为总跟踪次数, n 为跟踪中断次数。

从上述公式来看, 该评判方法简单、便于统计计算, 但以跟踪次数和中断次数统计时, 容易产生较大误差。一个目标航迹的形成受目标的机动程度和雷达探测状态影响较大, 对直线航行的目标, 可能一次中断也没有, 而机动飞行的目标中断次数可能会较多, 且有的跟踪过程很短, 或者是跟踪与中断交替, 这就给统计计算结果产生较大误差; 另外统计是以后台数据还是以终端画面显示为依据, 也会产生不同的计算结果。

3.2. 基于目标跟踪概率的评判方法

国军标 GJB6853 中采用机动跟踪概率[5]作为评估目标跟踪性能的指标, 其定义与目标跟踪概率定义相同。该方法以发现点数来判断跟踪能力, 同样存在明显的不足, 一方面雷达发现目标存在两种可能: 一是存在真实目标, 二是虚假目标, 若用发现点数统计计算存在误差; 另一方面, 即使发现点为真实目标, 也并不意味着能形成跟踪, 特别是目标机动或天线扫描速率多变的情况下, 要正确统计出航迹上的真假目标及点迹是平滑点还是外推点, 计算复杂, 误差较大。因此作为跟踪能力评判, 该模型显然还不

够完善。

3.3. 基于跟踪系数的评判方法

按照航迹形成的过程和评判要素, 跟踪性能是航迹起始成功率、航迹中断次数、目标跟踪概率等多种变量的函数。

考虑到飞行检验过程中, 对目标形成跟踪的基本判断是以航迹的连续存在为参照, 也即对目标由点迹形成航迹的时间长短来判断雷达是否形成航迹并保持跟踪, 而不是以目标点迹连续存在多少点或消失多少点作为评判依据。因此, 以航迹存在时间来判断雷达对目标的跟踪能力更符合航迹形成的机理和人们的判断习惯, 也更能综合反应性能评估时目标机动、平台机动所带来的影响。因此可以建立基于点迹与航迹时间关联的雷达跟踪能力评估模型, 定义跟踪系数如下:

设: τ_{ij} 在第 i 次进入时第 j 条航迹的存在时间;

t_i 第 i 次进入时从发现第一个点迹到丢失最后一个点迹的时间间隔;

K 在 i 次进入时的航迹数量;

则: 对目标第 i 次进入时的跟踪系数计算公式:

$$Trace.i = \frac{\sum_{j=1}^K \tau_{ij}}{t_i}$$

若一次飞行有 N 次进入, 则跟踪系数计算公式:

$$Trace = \frac{\sum_{i=1}^N Trace.i * t_i}{\sum_{i=1}^N t_i}$$

运动目标跟踪系数既反映了航迹总虚警数、跟踪航迹丢失率等情况, 又反映了对机动目标的实时跟踪能力和飞机平台机动时的补偿能力, 跟踪系数越大, 说明雷达对目标的跟踪时间越长, 雷达对目标跟踪性能越好。

从跟踪系数表达式可以看出, 跟踪系数不能评估航迹起始时间性能优劣。目前雷达战术参数中, 有不同模式下目标从捕获到建立跟踪的时间指标, 可弥补跟踪系数的不足。

4. 飞行验证

飞行检验需根据任务需求事先进行航路规划, 并根据置信区间、发现概率和采样数据数量之间关系合理确定飞行架次[6]。根据某型雷达技术参数, 对跟踪系数的飞行验证确定 2 个飞行架次, 对实际飞行数据进行统计和分析, 方法如下:

- 1) 按照 UTS 标准时间将记录目标信息转换到处理计算机中;
- 2) 将目标机和检验试飞平台上的标准设备(GPS)数据进行差分处理后, 转录到处理计算机中;
- 3) 对获取数据进行合理性检验, 剔除了与目标运动规律明显不符的异常数据, 降低周围环境的突发性变化及设备干扰造成的数据失真, 提高目标数据的置信度[7];
- 4) 通过坐标变换, 使目标数据与 GPS 数据处在同一坐标系; 以被检飞机的实时位置为坐标中心, 使目标数据与 GPS 数据在时间上对齐, 通过外推、内插等算法, 使目标数据与 GPS 数据在数据率上取得一致[8];
- 5) 按跟踪系数的计算方法完成跟踪性能统计和计算。

将 GPS 标准设备数据和雷达目标数据经坐标转换和时间对齐处理后, 可获得每次扫描目标的距离、方位、速度、航向、时间及跟踪属性等信息, 目标运动轨迹与跟踪航迹如图 1 所示。

根据某型雷达技术特点, 对点迹和航迹的统计时间有两种方法: 一是利用综合导航系统提供时间信息做基准, 利用数据处理软件提取跟踪航迹起始与中断的时间信息, 计算跟踪系数值; 还可利用跟踪目标数据下传的特点, 在数据链信息中提取跟踪航迹起始与中断的时间信息, 计算跟踪系数值。前一种方法统计数据误差较小, 精度更高, 对两次飞行的统计数据如表 1 所示。

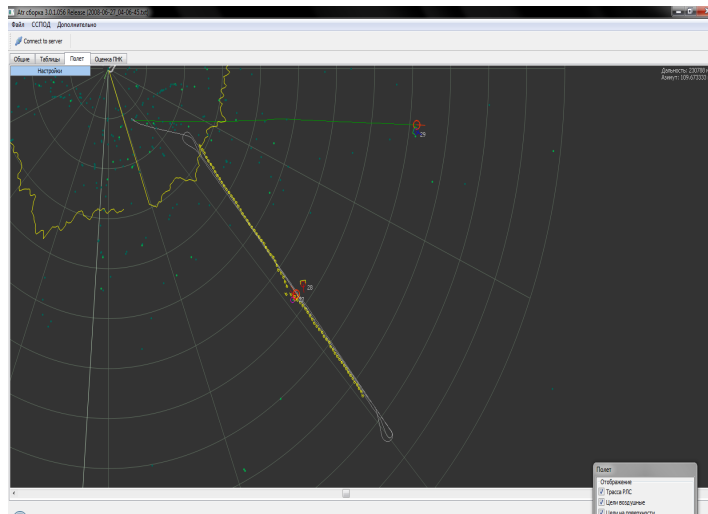


Figure 1. Target moving route and tracking path
图 1. 目标运动轨迹与跟踪航迹图

Table 1. Processed result of 2 flight data

表 1. 两次飞行数据处理结果

架次	进入编号	航迹存在总时间, 秒	从第一个航迹开始至最后一个航迹消失的时间, 秒	跟踪系数
1	1	710.25	719.64	0.99
	2	594.65	604.26	0.98
	3	707.64	717.14	0.99
	4	461.48	509.03	0.91
	5	643.2	662.16	0.97
	6	264.17	273.69	0.96
	7	650.88	698.24	0.93
	Σ 工作	4524.46	4704.66	0.96
2	1	682.81	692.22	0.99
	2	710.79	739.10	0.96
	3	587.64	625.67	0.94
	4	710.06	785.91	0.90
	5	624.64	709.39	0.88
	6	691.06	700.67	0.98
	7	643.53	643.53	1.0
	8	728.18	737.72	0.99
Σ 工作	5378.71	5634.21	0.95	
1 + 2	Σ 工作	9903.17	10338.87	0.96

基于点迹与航迹时间关联的跟踪系数综合反映了航迹起始成功率、航迹中断次数、目标跟踪概率等多种评估方法, 克服了跟踪率方法简单、误差较大等问题, 也克服了目标跟踪概率跟踪属性难以区分、计算复杂等问题, 跟踪系数评估方法数据统计方法简单有效, 误差较小。

5. 结论

根据现代雷达工作模式多、天线扫描速度变化快等特点, 提出的基于跟踪系数的雷达目标跟踪能力评估方法, 用一个数学模型可以方便地完成试飞结果的数据统计与计算, 而且克服了基于点数统计误差大、数据统计复杂等问题, 提高了计算效率; 跟踪系数反映了对机动目标的实时跟踪能力和飞机平台机动时的运动补偿能力, 是雷达对运动目标跟踪性能的一个综合评判。

参考文献 (References)

- [1] 潘广林, 梁彦, 刘宝霆, 等. 目标跟踪系统性能评估研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(24): 5773-5777.
- [2] 张欣, 叶灵伟, 李淑华, 等. 航空雷达原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
- [3] 何友, 修建娟, 关欣. 雷达数据处理及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [4] 国防科学技术工业委员会. GJB2137.8-94 机载雷达通用要求——飞行验证要求[S]. 北京: 国防科学技术工业委员会, 1995.
- [5] 国防科学技术工业委员会. GJB6853-2009 机载预警雷达通用规范[S]. 北京: 国防科学技术工业委员会, 2009.
- [6] 刘飞腾, 曹晨. 机载预警雷达试飞方法的研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2014, 9(1): 55-58.
- [7] 许应康, 彭国金, 刘威. 飞行试验数据自检测系统软件设计[J]. 现代电子技术, 2015, 38(6): 31-35.
- [8] 牟聪, 王伟, 张明. 差分 GPS 应用于机载雷达精度统计的方法研究[J]. 火控雷达技术, 2012(3): 25-28.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: mos@hanspub.org