基于不同角域 RCS均值的雷达探测模型

李 莹 黄沛霖 武 哲

(北京航空航天大学 航空科学与工程学院, 北京 100191)

摘 要: 针对目标在不同方位角的雷达散射截面积(RCS, Radar Cross Section)差异较大的情况, 提出了一种基于目标不同角域内 RCS均值的单部雷达探测概率模型及雷达网综合探测概率模型. 计算机仿真平台中采用了两套不同的 RCS取值方案: 取单个 RCS均值; 根据探测方位角取不同角域内的 RCS均值. 两套方案所得探测概率差异表明: 该模型符合雷达从不同方位角探测到目标的 RCS差异较大的实际情况, 计算所得探测概率更为精确.

关 键 词: 雷达; 概率值; 雷达散射截面积

中图分类号: TN 959. 1+2

文献标识码: A 文 章 编 号: 1001-5965(2008)06-0620-627203

Model of radar network detection based on average RCS value of different angle territory

Li Ying Huang Peilin Wu Zhe

(School of Aeronautic Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: There are great differences among the target's radar cross section values in its different angle territory. A new model about mono-radar detect probability and radar network comprehensive detect probability was presented. The model was based on the target's average radar cross section value in its different angle territory. It adopted two different plans in the computer simulation platform: taking the target's single average radar cross section value; taking the target's different average radar cross section in its different angle territory according to the angle of radar refers to the target. There are differences between the two plans' detect probability results, which prove the model's rationality. The detect model fits the actual detect situation that radar will detect different radar cross section values from different detect angles. The detect probability result is more accurate which comes from the plan that taking the target's different average radar cross section in its different angle territory.

Key words: radar; probability; radar cross section

使用不同频率或波长的雷达组成雷达网是最有效的反隐身措施之一. 计算雷达网对隐身飞行器的综合发现概率为研究分析雷达网的反隐身性能提供了参考. 雷达网对目标的综合发现概率与目标的雷达散射截面积(RCS, Radar Cross Section)相关, 目前大部分的做法是用目标重点姿态角内主要频段的 RCS均值作为其雷达散射截面积来计算雷达网的综合发现概率. 但由于目标不同方位角的 RCS值差异很大, 只用一个 RCS均值来计算雷达网的综合发现概率是有局限性的. 例如突防过程中雷达对目标的探测方位角不断变化, 只有使用不同方位角区域内的 RCS均值才能真实反映雷达网对突防目标综合发现概率的动态变化过程.

1 不同角域 RCS的雷达探测模型

1.1 目标不同重点探测区域的划分

任何目标的 RCS值会随探测俯仰角和方位

收稿日期: 2007-05-218

基金项目: 武器装备预研基金重点资助项目(6140510)

作者简介: 李 莹(1983-), 女, 江西九江人, 硕士生, liying1983@yahoo.com.cn

角的不同而产生剧烈的变化. 图 1是某型号飞行器的周向散射图, 可以看出其周向的 RCS值有较大的差异.

目标的 RCS值应该是探测俯仰角和方位角两个变量的函数, 但在一些特殊情况下, 例如低空突防的飞机所在高度不超过 1 km, 目标受到的照射可以视为平视照射, 即把目标的 RCS值仅视为探测方位角的函数.

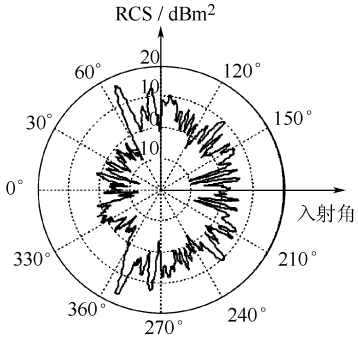


图 1 某型号飞行器的周向散射图

一般将远距离突防飞机周向分为 8个重点探测区域: - 40b~ 40b为头向重点探测区域; 40b~ 50b为飞机左前方重点探测区域; - 40b~ - 50b为飞机右前方重点探测区域; 50b~ 130b为飞机左侧向重点探测区域; - 50b~ - 130b为飞机右侧向重点探测区域; 150b~ 170b为飞机左后方重点探测区域; - 150b~ - 170b为飞机右后方重点探测区域; - 170b~ 170b为飞机尾向重点探测区域[1].

在计算单部雷达对目标的发现概率时, 就可将这 8个不同区域的 RCS均值作为计算的依据.

1.2 不同距离处目标的雷达探测概率模型

雷达在某探测方向上的最大探测距离为

$$R_{max}=\left[\frac{P_tG^2K^2R}{(4P)^3kT_0B_nF_nD_0}\right]^{\frac{1}{4}} \tag{1}$$

式中, P_t为雷达的发射功率; G为雷达天线的增益; K为雷达所用波长; R为目标的散射截面积; k为波尔兹曼系数; T_0为标准室温; B_n为噪声带宽; F_n为噪声系数; D_0为最小可检测信噪比[2]. 再用相对计算的方法可得出雷达对位于相同探测方向、不同距离处目标的探测概率. 用 $P_d(r)$表示雷达对不同距离处目标的检测概率, P_{d0}表示最大探测距离处的检测概率, r_{d0}表示在约束检测概率为 P_{d0}的情况下雷达的最大探测距离, r表示雷达与目标之间的实际距离, P_{fa}表示虚警概率, 则

$$P_d(r)=\exp\left\{\frac{(r/r_{d0})^4\#\ \ln P_{d0}\#\ \ln P_{fa}}{\ln P_{fa}-\ln P_{d0}+(r/r_{d0})^4\#\ \ln P_{d0}}\right\} \tag{2}$$

这里需要注意 r/r_{d0}并不只是一个数值, 它表示雷达在同一探测方向上的比值[3].

1.3 不同角域 RCS均值的雷达网探测模型

计算基于目标不同方位角范围内 RCS均值的雷达对其的探测概率, 需先计算出探测雷达相对于目标的探测角度.

探测方位角度所属的重点探测范围的 RCS均值就是目标相对于该雷达的 RCS均值 R(a), 这里目标的 RCS不是固定值, 而是雷达探测角度 a的函数. 将 R(a)代入公式(1)可计算出在约束检测概率为 P_{d0}时的最大探测距离:

$$r_{d0}(a)=\left[\frac{P_tG^2K^2R(a)}{(4P)^3kT_0B_nF_nD_0}\right]^{\frac{1}{4}} \tag{3}$$

将目标与雷达之间的距离值 r与最大探测距离 $r_{d0}(a)$代入公式(2)就可计算出该雷达对目标的探测概率:

$$P_d(r,a)=\exp\left\{\frac{(r/r_{d0}(a))^4\#\ \ln P_{d0}\#\ \ln P_{fa}}{\ln P_{fa}-\ln P_{d0}+(r/r_{d0})^4\#\ \ln P_{d0}}\right\} \tag{4}$$

由此可见, 雷达对目标的探测概率不仅仅是探测距离 r的函数, 而是探测距离 r和探测角度 a的函数.

n部雷达对以某种飞行姿态, 位于空中某点的突防目标的综合发现概率为

$$P_d(r,a)=1-\prod_{i=1}^{n}(1-P_{di}(r,a)) \tag{5}$$

式中 $P_{di}(r,a)$表示第 i部雷达对突防目标的探测概率[4], i= 1, 2, , , n.

现在通常是使用空间分割法来描述雷达网对突防目标在空间各点的综合发现概率[4]. 首先将突防轨迹进行离散化, 若航迹经过空间某个网格, 就将该网格的中心点作为航迹的一点, 这样就可以得出一系列离散的航迹序列点, 如图 2所示.

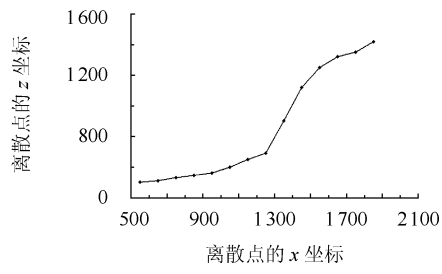


图 2 预定突防轨迹上的离散点

计算出雷达网对这一系列离散的航迹序列点的综合探测概率, 就可以描述出目标在预先制定的突防航迹上, 雷达网对其综合探测概率的动态变化过程.

2　基于突防过程的仿真结果分析

本文根据以上所提出的模型, 利用 Microsoft Visual C++ 6 0建立了一个飞机低空突防仿真模型, 并计算出飞机在突防过程中位于各离散点时雷达网对其的综合探测发现概率. 模型中在地面分别布置了 3部雷达, 坐标位置分别为: (1000, 600), (- 1500, 550), (- 1600, - 750), 飞机的突防轨迹经离散化后得到 14个离散点. 飞机在突防过程中雷达网对其的追踪模型见图 3.

在仿真模型中, 针对飞机的 RCS取值分别采用重点姿态角内主要频段的单个 RCS均值和基于飞机不同重点探测区域的多个 RCS均值这 2种不同的方案, 计算了突防飞机位于各离散点时, 单部雷达及雷达网对其的探测概率. 表 1是采用这 2种不同方案时, 3部雷达的探测概率及雷达网的综合探测概率结果. 可见, RCS均值 2种不同的取值方案会使得计算结果存在一定的差异, 尤其是在计算单部雷达对飞机的探测概率时, 2种不同的取值方案使得计算结果有着较大的差异.

由于雷达网的综合探测概率由各单部雷达的探测概率计算得出, 各单部雷达的探测概率有较大的误差, 但在综合探测概率的计算公式中相乘运算使得误差值变小.

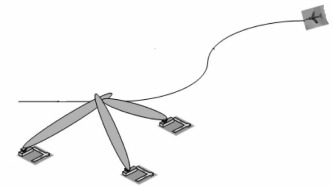


图 3　雷达组网对目标跟踪示意图

表 1　离散点上各部雷达及雷达网对飞机的探测概率比较

离散点	第 1部雷达		第 2部雷达		第 3部雷达		雷达网	
	S	M	S	M	S	M	S	M
1	0 476341	0 403092	0. 520502	0. 376006	0 473 775	0 400456	0. 867869	0 776689
2	0 471996	0 398630	0. 516110	0. 371340	0 469 223	0 395787	0. 982081	0 94899
3	0 467624	0 394149	0. 511701	0. 366678	0 464 627	0 391084	0. 997506	0 980082
4	0 463258	0 389686	0. 507276	0. 362020	0 460 040	0 386402	0. 999644	0 997153
5	0 458888	0 385228	0. 502835	0. 430506	0 455 440	0 381722	0. 999644	0 999384
6	0 451853	0 378073	0. 495697	0. 423085	0 448 020	0 374185	0. 999992	0 999862
7	0 449996	0 376188	0. 493897	0. 421219	0 446 014	0 372154	0. 999999	0 999969
8	0 448159	0 374326	0. 492093	0. 419348	0 440 400	0 370156	1. 000000	0 999993
9	0 447363	0 373519	0. 491726	0. 418968	0 442 950	0 369054	1. 000000	0 999998
10	0 446442	0 372587	0. 491221	0. 418445	0 441 694	0 367786	1. 000000	1 000000
11	0 443813	0 369927	0. 488751	0. 415889	0 438 753	0 364819	1. 000000	1 000000
12	0 441384	0 367473	0. 486365	0. 413422	0 436 103	0 362148	1. 000000	1 000000
13	0 439103	0 365171	0. 484053	0. 411035	0 433 663	0 359693	1. 000000	1 000000
14	0 430165	0 356179	0. 474878	0. 401588	0 424 168	0 350171	1. 000000	1 000000

注: S表示取单个 RCS均值; M 表示取多个角域内 RCS均值.

3　结 束 语

本文根据使用单个 RCS均值计算雷达探测概率的局限性, 提出了随探测方位角变化取多个不同角域的 RCS均值来计算雷达探测概率的方案. 仿真结果表明: 仅仅使用单个 RCS均值来计算雷达的探测概率并不符合飞机不同方位角 RCS值差异较大的实际情况, 这种单一取值的方法会给计算雷达探测概率带来一定的误差. 根据飞机在突防过程中雷达对其探测方位角的变化取不同角域的 RCS均值来计算雷达探测概率的模型比较接近雷达的实际探测情况, 结果也较为精确.

参考文献 (References)

[1] 张考, 马东立. 军用飞机生存力与隐身设计 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2002 196- 199
Zhang Kao, Ma Dongli Military aircraft survivability and stealth design[M]. Beijing Defense Industry Press, 2002 196- 199 (in Chinese)

[2] 丁鹭飞, 耿富录. 雷达原理 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002 128- 132
Ding Lufei, Geng Fulu Radar principle[M]. Xi an: XDian University Press, 2002: 128- 132 (in Chinese)

[3] 郭正新, 江晶. 一种不同距离的雷达探测概率计算模型 [J]. 空军雷达学院学报, 2003, 17(4): 7- 8
Guo Zhengxin, Jiang Jing Computation model of radar detection probability with various distance[J]. Journal of Air Force Radar Academy, 2003, 17(4): 7- 8(in Chinese)

[4] 李光明, 唐业敏, 蒋苏蓉. 雷达网反隐身性能评估 [J]. 现代雷达, 2006, 28(1): 23- 25
Li Guangming Tang Yemin, Jiang Surong Performance evaluation of radar network for counterchecking stealth aircraft comprehensive detecting probability of radar network[J]. Modern Radar, 2006, 28(1): 23- 25(in Chinese)

[5] 王中许, 李银伢, 张学彪. 雷达组网仿真研究与实现 [J]. 南京理工大学学报, 2006, 30(3): 293- 294
Wang Zhongxu, Li Yinya, Zhang Xuebiao Research and realization of multi2radar netting simulation[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 2006, 30(3): 293- 294(in Chinese)

(责任编辑: 文丽芳)