隐身飞行器突防仿真的特征信号新建模方法

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:针对突防目标不同角域内RCS(Radar Cross Section)差异较大的情况,提出5种不同的突防目标特征信号雷达重点探测区域建模方案.在计算机仿真平台上,根据目标的周向散射特性,按照这5种不同的模型取RCS均值计算雷达对目标的探测概率值.不同建模方案所得探测概率值与精确探测概率值的平均误差分别为:13.66%,12.35%,6.6%,5.07%和2.4%.平均误差的差异表明:采用5个或8个特征信号重点探测区域的建模方案,所得探测概率值的误差小,能反映出雷达对目标探测概率的动态变化过程.仿真平台中,这两种建模方案无需存储大量目标的RCS值,只需记录5个或8个目标的RCS均值,可节省计算机的存储量,提高计算速度.

关 键 词:雷达散射截面积(RCS);散射特性;探测区域;探测概率;误差

中图分类号:TN 959.1^{+}2

文献标识码:A **文 章 编 号**:1001-5965(2009)01-0040-04

New method of modeling stealth aircraft's signal based on emulator

Li Ying Huang Peiling 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(RCS) in its different detect angle territory. Five different models about the partition of important radar detect territories were presented. In the computer simulation platform, it adopted the five different models to part the important detect territories according to the characteristics of scattering around the target. Calculating the detect probabilities according to the average RCS from the different five models. The average tolerance of detect probabilities between the results of five models and exact detect probabilities are 13.66%, 12.35%, 6.6%, 5.07% and 2.4%. The differences between the tolerances indicate the detect probabilities from the last two models about the detect territory partition are more accurate. They can reflect the real changes of detect probabilities in the dynamic process of the radar detects the target. The last two models about the partition of important radar detect territories in the computer simulation platform can save the computer storage by using five or eight RCS to instead of lots of RCS. It can increase the computer speed.

Key words: radar cross section (RCS); scattering characteristic; detect territory; detect probabilities; errors

计算雷达对突防目标的探测概率以及雷达网对突防目标的综合探测概率,目前大部分的做法是:将目标重点姿态角内的主要频段的RCS(Radar Cross Section)均值作为目标的RCS值,代入雷达方程来计算单部雷达对突防目标的探测概率或雷达网对突防目标的综合探测概率.目标周向各角域内的RCS值相差较大,若仅用一个RCS均值来计算探测概率会有局限性.在飞机突防过

收稿日期:2008-01-25

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

程中,雷达对目标的探测方位角是不断变化的,只有使用不同角域内的 RCS 均值,才能反映单部雷达或雷达网对目标探测概率的动态变化过程.从这个角度出发,本文探讨了几种新的突防目标特征信号建模方法,以及不同建模方案对计算探测概率的影响.

1　突防目标特征信号模型分析

1.1　突防目标周向特征信号重点探测区域

对于高度不超过 1000 m 的低空突防飞行器,陆基或舰基雷达对其进行的照射可以看作平面照射.若将飞机正前方左右某角度范围内的 RCS 降低,缩短该角域内的可探测距离,可使飞机先于敌机发现对方.因此,前方这一区域是减缩 RCS 最重要的方位角.这一区域可定义为:$\phi_n = 0° \pm \varphi_n$.常规飞机侧向的可探测距离高达几百公里,而隐身飞行器在不超过 1000 m 的高度,从陆基或舰基雷达顶空隐蔽飞过的可能性是不存在的,因此,这类飞行器侧向某一角度范围内的 RCS 减缩是必不可少的.侧向的重点方位角可定义为:$\phi_n = 90° \pm \varphi_n$.远距离突防飞行器在头向及侧向均未被发现的情况下,尾向仍可被发现.因此,飞行器后向的 RCS 减缩也十分重要.尾向的重点方位角可定义为:$\phi_n = 180° \pm \varphi_n$.

1.2　不同的突防目标特征信号建模方案

根据以上对突防目标周向特征信号重点探测区域的描述,拟采用 5 种不同的建模方案.第 1 种方案:将目标周向看作一个区域.第 2 种方案:将目标头向重点姿态角内的范围看作头向重点探测区域,其余周向范围看作另一个区域.第 3 种方案:将目标头向重点姿态角内的范围看作头向重点探测区域,目标左右两侧的重点姿态角内的范围看作目标的左侧和右侧重点探测区域,其余周向范围看作一个区域.第 4 种方案:将目标头向重点姿态角内的范围看作头向重点探测区域,目标左右两侧重点姿态角内的范围看作目标的左侧和右侧重点探测区域,尾向重点姿态角内的范围看作目标尾向重点探测区域,其余的周向范围看作一个重点探测区域.当目标头向重点探测区域左右两侧与尾向重点探测区域左右两侧的 RCS 值差异较大时,采取第 5 种方案.第 5 种方案:将目标头向重点姿态角内的范围看作目标的头向重点探测区域,目标左右两侧的重点姿态角内的范围看作目标的左侧和右侧重点探测区域.目标尾向重点姿态角内的范围看作目标的尾向重点探测区域,目标头向与左右两侧重点探测区域之间所夹区域看作目标的左前侧和右前侧重点探测区域,目标尾向与左右两侧重点探测区域之间所夹区域也看作目标的左后侧和右后侧重点探测区域.在 5 种方案中,根据雷达对目标探测角度的变化情况,取各方案中不同角域内的 RCS 均值作为目标的特征信号[1-2].

1.3　不同距离处目标的雷达探测概率模型

雷达所需信噪比$(\mathrm{SNR})_{P_d}$与探测概率 P_d、虚警概率 P_{fa}应满足关系式[3]:

$$(\mathrm{SNR})_{P_d} = \frac{\ln P_{fa}}{\ln P_d} - 1 \tag{1}$$

可推出雷达探测距离 $R_{P_{di}}$与 P_d,P_{fa}之间满足关系式[3]:

$$\frac{R_{P_{d1}}}{R_{P_{d2}}} = \left[\frac{\ln P_{d1}(\ln P_{fa} - \ln P_{d2})}{\ln P_{d2}(\ln P_{fa} - \ln P_{d1})}\right]^{\frac{1}{4}} \tag{2}$$

利用以上关系式,用相对计算的方法可得出雷达对于不同距离处目标的探测概率计算式:

$$P_d(r) = \exp\left(\frac{(r/r_{d0})^4 \cdot \ln P_{d0} \cdot \ln P_{fa}}{\ln P_{fa} - \ln P_{d0} + (r/r_{d0})^4 \cdot \ln P_{d0}}\right) \tag{3}$$

其中,P_{d0}为最大探测距离处的探测概率;r_{d0}为在约束检测概率为 P_{d0}的情况下,雷达的最大探测距离;r 为雷达与目标之间的实际距离.注意这里的 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[3-6].

2　基于某突防目标的仿真结果分析

2.1　突防目标特征信号重点探测区域模型

根据以上提出的目标特征信号重点探测区域模型,对某突防目标进行仿真,并对结果进行分析,验证这 5 种模型的合理性.突防目标的周向散射特性如图 1 所示.

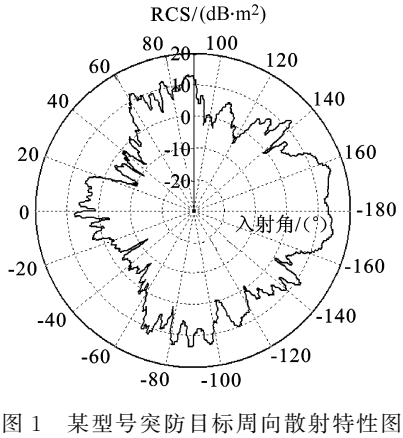

图 1　某型号突防目标周向散射特性图

根据该突防目标的周向散射特性拟定以下 5 种建模方案:第 1 种方案:将目标的周向看作一个

重点探测区域. 第2种方案:将目标头向 $\phi_n=(0\pm20)°$ 的范围看作头向重点探测区域,其余周向范围看作目标的另一个重点探测区域. 第3种方案:将目标头向 $\phi_n=(0\pm20)°$ 的范围看作头向重点探测区域,目标左侧 $\phi_n=(90\pm30)°$ 的范围看作左侧重点探测区域,目标右侧 $\phi_n=(-90\pm30)°$ 的范围看作右侧重点探测区域,其余的周向范围看作目标的第4个重点探测区域. 第4种建模方案:将目标头向 $\phi_n=(0\pm20)°$ 的范围看作头向重点探测区域,目标左侧 $\phi_n=(90\pm30)°$ 的范围看作左侧重点探测区域,目标右侧 $\phi_n=(-90\pm30)°$ 的范围看作右侧重点探测区域,目标尾向 $\phi_n=(180\pm30)°$ 的范围看作尾向重点探测区域. 第5种方案:将目标头向 $\phi_n=(0\pm20)°$ 的范围看作头向重点探测区域,目标左侧 $\phi_n=(90\pm30)°$ 的范围看作左侧重点探测区域,目标右侧 $\phi_n=(-90\pm30)°$ 的范围看作右侧重点探测区域,目标尾向 $\phi_n=(180\pm30)°$ 的范围看作尾向重点探测区域,目标 20°～60° 的范围看作左前侧重点探测区域,−20°～60° 的范围看作右前侧重点探测区域,120°～160° 的范围看作目标左后侧重点探测区域,−120°～−160° 的范围看作目标的右后侧重点探测区域.

2.2 仿真探测概率结果分析

本文基于以上提出的5种模型,利用 Microsoft Visual C++6.0 建立了一个飞行器低空突防仿真模型,并计算出飞行器在突防过程中,位于航迹上各离散点时雷达对其的探测发现概率. 文献[7－9]模型中布置雷达的坐标位置为(1 000,600),飞行器的突防轨迹通过空间分割法离散化后得到14个离散点. 飞行器离散的运动轨迹与地面雷达的位置如图2所示.

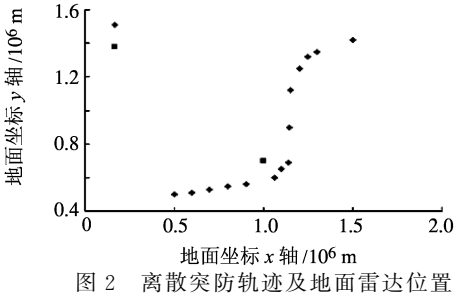

图2 离散突防轨迹及地面雷达位置

按照5种方案取 RCS 值代入公式计算雷达的探测概率值,并将其与精确的探测概率值进行比较. 结果表明:只划分一个重点探测区域时,目标的 RCS 值不随雷达探测角度的变化而变化. 突防过程中探测概率值变化不大. 不符合突防过程中雷达探测方位角不断变化的实际情况,也不能反映出探测概率的动态变化过程. 比较结果如图3～图7所示.

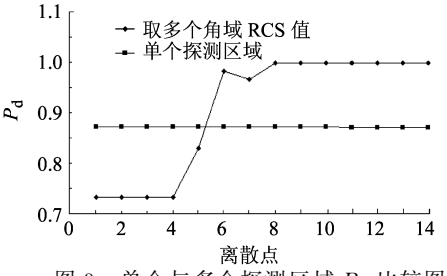

图3 单个与多个探测区域 P_d 比较图

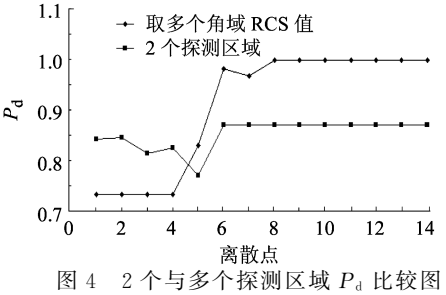

图4 2个与多个探测区域 P_d 比较图

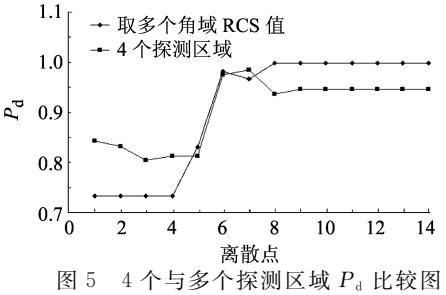

图5 4个与多个探测区域 P_d 比较图

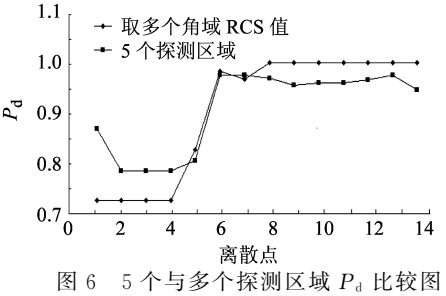

图6 5个与多个探测区域 P_d 比较图

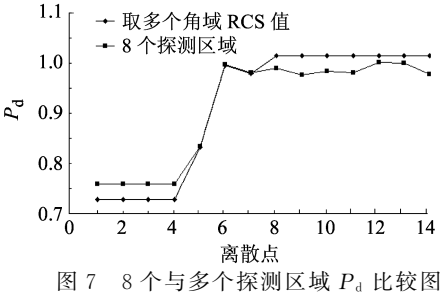

图7 8个与多个探测区域 P_d 比较图

从图3可以看出,采用一个重点探测区域模型时,所得探测概率值与精确值相差较大,各离散点探测概率值的平均误差为 13.66%. 采用2个

重点探测区域模型时,突防飞机位于前 4 个离散点,雷达从目标头向照射目标,所得探测概率较接近精确探测概率值,而其它离散点上的探测概率误差仍较大,各离散点的探测概率值与精确值的平均误差为 12.35%.采用 4 个重点探测区域模型时,当雷达从头向和侧向照射目标,所得探测概率较接近精确值,而当雷达从尾向照射目标时与精确值仍有差距,所得各离散点的探测概率值与精确值的平均误差为 6.6%.分别采用 5 个和 8 个重点探测区域模型时,各离散点的探测概率值与精确值的平均误差分别为 5.07%,2.4%.

3　结　论

从仿真结果中可以看出:采用单个 RCS 均值计算探测概率不能反映出雷达对目标探测概率的动态变化过程,应将目标的周向划分为若干个特征信号重点探测区域,根据雷达探测角度变化取各个重点探测区域的 RCS 均值来计算探测概率.特征信号重点探测区域的划分方案直接影响着探测概率的精确度.一般情况下,目标的头向、侧向及尾向的特征信号差异较大,采用 5 个或 8 个特征信号重点探测区域模型所得探测概率与精确值比较接近,平均误差较小.尽管这两种方案所得探测值与精确值有较小误差,但在仿真系统中,存储精确的目标 RCS 值,需要大量的存储空间,若采用 5 个或 8 个重点探测区域模型,则只需存储 5 个或 8 个 RCS 数据,可大大节省计算机的存储量,提高计算速度.由此得出结论:根据目标周向散射特性采取 5 个或 8 个重点探测区域划分方案可较好的反映出雷达对目标探测概率的动态变化过程,可较精确计算出不同位置上雷达对目标的探测概率值.

参考文献(References)

[1] 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 Gangming, 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)

[2] 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 multi-radar netting simulation[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 2006,30(3):293－294 (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] 袁奇伦,谭绍贤.建立雷达探测概率模型的方法[J].现代防御技术,2002,30(3):1－3
Yuan Qilun, Tan Shaoxian. A method of establishing model of radar detecting probability[J]. Modern Deffence Technology,2002,30(3):1－3(in Chinese)

[5] 程红斌,杨瑞娟,田康生.基于雷达探测概率的目标分配算法[J].空军雷达学院学报,2003,17(1):20－21
Cheng Hongbin, Yang Ruijuan, Tian Kangsheng. The allot arithmetic based on the target's detect probability[J]. Journal of Air Force Radar Academy, 2003,17(1):20－21(in Chinese)

[6] 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: XiDian University Press, 2002:128－132(in Chinese)

[7] 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: National Defence Industry Press, 2002:196－199(in Chinese)

[8] 张考,张云飞,马东立,等.飞行器对雷达隐身性能计算与分析[M].北京:国防工业出版社,1997:41－42,89－92,130－133
Zhang Kao, Zhang Yunfei, Ma Dongli, et al. The analysis and calculational methods about the stealth ability of the aircraft to the radar[M]. Beijing: National Defence Industry Press,1997: 41－42,89－92,130－133(in Chinese)

[9] Donald de Forest Boyer George LeFurjah. Experimental modified reflectivity of backscatter from the sea surface, at very low grazing angles, compare to a ducted sea clutter model used in navy radar simulations[C]//IEEE Radar Conference,2003

(责任编辑:刘登敏)