

雷达对抗环境仿真模型

张 强

(船舶重工集团公司 723 所, 扬州 225001)

摘要: 介绍了雷达和雷达对抗的基本概念以及雷达对抗的基本分类, 阐明了雷达对抗环境下雷达和雷达对抗设备分别所面临的电磁信号环境以及雷达对抗仿真试验所需的仿真模型。

关键词: 雷达对抗; 仿真; 模型

中图分类号: TN955.3

文献标识码: A

文章编号: CN32-1413(2004)05-0031-03

Radar Countermeasure Environment Simulated Model

ZHANG Qiang

(The 723 Institute of CSIC, Yangzhou 225001, China)

Abstract: The article introduces fundamental concept of radar and radar countermeasure and the primary sort of radar countermeasure, clarifies the electromagnetic signal environment that radar and radar countermeasure equipment will confront in radar countermeasure environment, and presents the simulated model that the radar countermeasure simulated experiment required.

Keyword: radar countermeasure; simulation; model

0 引 言

雷达对抗是与敌方雷达和雷达火控系统作斗争、相对抗的各种技、战术措施的总称。这些

对抗措施主要包括对雷达的侦察、干扰、伪装和欺骗以及对己方雷达功能的保护。因此, 雷达对抗可分为雷达对抗侦察、雷达干扰和雷达反干扰。雷达对抗的具体分类如图 1 所示。

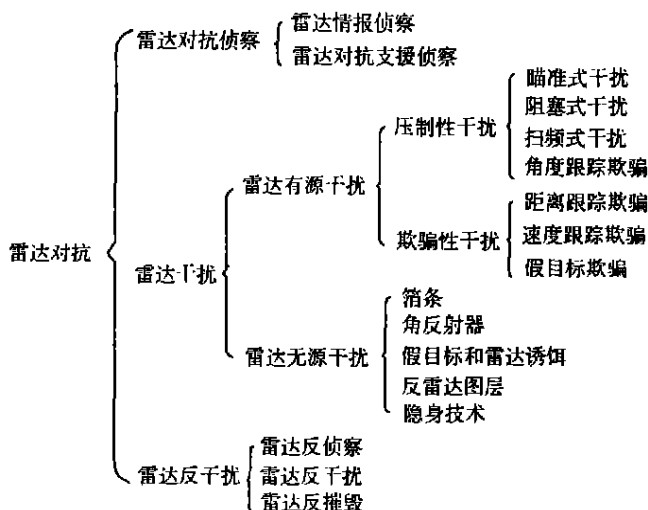


图 1 雷达对抗分类

雷达对抗在现代战争中日益显示出其重要地位,愈来愈受到人们的普遍重视,雷达对抗系统的仿真技术近年来也得到了飞速发展和提高。而系统仿真的核心问题是系统模型的建立。所谓系统模型就是实际系统或过程在某些方面特性的一种表达方式,它能反映出该系统和过程的行为特性。

因此,根据上述雷达对抗的定义和系统模型的定义可知,由于雷达对抗设备功能和使命的不同,各自所面对的电磁信号环境也不相同,即各自具有独特的电磁信号环境模型。下面就分别从雷达和雷达对抗侦察设备的概念出发,介绍雷达和雷达对抗侦察设备所面临的电磁信号环境,给出其仿真模型集合,最后阐明雷达对抗仿真试验所需的仿真模型。

1 雷达侦察设备信号环境

雷达对抗侦察是通过对雷达信号的探测、测量、分选、分析、识别来实现对信号的截获及对雷达载体的定位和识别,判断雷达的能力和用途,以实现电子情报的搜集、威胁告警和电子对抗的准备。雷达对抗侦察的内容可分为雷达情报侦察和雷达对抗支援侦察。

雷达情报侦察是通过对敌方雷达的侦测获取雷达的特征参数(细微特征参数),判断雷达的性能、类型、用途、配置和所控制的武器系统等有关战略、战术情报,它是获取战场情报的一种重要手段。雷达对抗支援侦察要求在情报侦察、获取数据的基础上,实时截获敌方雷达的信号,分析识别威胁雷达的类型、数量、位置、特征、威胁性质和威胁等级等有关情报,作为作战指挥、实施雷达告警、战术机动、引导对雷达的干扰、对雷达的火力摧毁等作战行动的重要依据。

因此,在实际雷达对抗的过程中,雷达侦察设备所面临的信号环境实际上就是所有雷达辐射源的环境,也就是到达雷达侦察设备的所有雷达辐射源辐射信号的集合。组成该集合的基本元素是某一时刻来自某雷达的辐射脉冲(连续波),或同时来自某几个雷达的同时到达的辐射脉冲组。

通常,描述某一射频脉冲的基本特征需要有五大参数:脉冲前沿到达时间(TOA)、脉冲到达

角(AOA)、脉冲载频(RF)、脉冲宽度(PW)和脉冲幅度(PA),统称为脉冲描述字(PDW)。随着对雷达信号细微特征提取技术的提高,描述雷达参数的数量也在不断增加,一般需要增加脉内特征(FC)和平台(RPLA)项。

所以,雷达侦察设备信号环境可以用脉冲描述字(PDW)的集合流来描述。即:

$$PDW_i = \{AOA_i, TOA_i, RF_i, PW_i, PA_i, FC_i, RPLA_i\} \quad (1)$$

式中:下标 i 表示到达雷达侦察设备的第 i 个脉冲。

目前,雷达信号的频率范围从 0.05 ~ 40 GHz,是一个十分宽开的频域范围。雷达辐射源的数量也日益增多,可达 2 048 部之多。雷达信号的空间覆盖范围愈来愈广阔,信号密度最多可达 200 万个脉冲/秒。同时雷达信号的样式也变得十分复杂。这种复杂性主要来源于雷达技术的发展和雷达体制的增多。

通常雷达信号可分为常规信号和复杂信号两类。常规信号一般是指雷达的射频频率、脉冲宽度、脉冲重复频率不变的信号。而雷达的复杂信号是相对于雷达常规信号的,通常是指雷达的频域参数和时域参数发生变化的雷达信号,各种复杂信号包括:

- (1) PRI 变化的信号(规律变化或随机变化);
- (2) PRI 参差信号;
- (3) 脉冲编码、脉冲串信号;
- (4) 频率脉间捷变信号;
- (5) 频率脉组捷变信号;
- (6) 脉内调频(线性、非线性)信号;
- (7) 脉内调相(二相、多相)信号;
- (8) 频率分集(时分分集、同时分集)信号;
- (9) 频谱扩展信号;
- (10) 非正弦载波信号与无载波信号。

在一个实际雷达电磁战区中,雷达侦察设备所面临的雷达信号中,由于所处环境的影响,不仅有雷达辐射信号(常规信号和复杂信号),而且还存有这些雷达辐射信号的多路径调制信号。因此,在具体构建 PDW 时,也就是构建雷达信号环境模型时,应根据实际的雷达信号样式和雷达工作模式以及所处的地理环境来完成 PDW 参数

模型的建立。同时还必须考虑雷达载体和雷达侦察设备载体的相对运动和姿态以及雷达的工作模式、雷达天线的扫描样式等。

2 雷达设备信号环境

雷达是利用目标对电磁波的反射现象来发现目标并测定其位置的。它可以测量目标的距离、方位、仰角、速度以及目标的其它形态。因此, 雷达设备信号环境 $E(R)$ 是指雷达在其所处位置上接收到的各种辐射、散射信号的集合。这些信号包括: 目标回波信号, 各类杂波(地杂波、海杂波和气象杂波)信号和雷达干扰信号。

2.1 干扰信号环境

雷达干扰信号是指各种有源干扰信号和无源干扰信号。有源干扰是由专门的干扰发射机辐射的干扰信号, 以破坏敌方雷达正常工作; 无源干扰是利用干扰器材对电磁波的散射或吸收特性产生杂乱的回波, 或改变和减弱目标的回波特性, 从而达到破坏雷达对目标的发现和跟踪性能。具体的干扰样式参见图 1。

雷达干扰信号环境是动态变化的。它不仅取决于作战对象的军事实力和战术、技术水平, 也取决于雷达的体制和工作模式。因此, 不能建立一个普遍适用的干扰环境, 而只能根据雷达的主要功能(搜索/跟踪)、装置平台(车载、机载、星载、舰载)和干扰的可能组合, 分别建模。

同样各类杂波信号也是与雷达所处的地理环境以及气象条件、雷达载体、雷达体制和雷达的发射信号等紧密相关。

通常描述雷达杂波信号幅度分布的模型有 4 种: 瑞利分布、对数-正态分布、韦伯分布和 K 分布。瑞利分布适用于气象杂波、箔条干扰、低分辨率雷达的地杂波; 对数-正态分布适用于低入射角、复杂地形的杂波或者平坦地区高分辨力的海杂波; 韦伯分布适用于高分辨力雷达, 低入射角情况下的一般海情的海浪杂波; K 分布适用于高分辨力雷达的非均匀杂波, 多见于对海杂波的描述。K 分布是一种复合分布。而雷达杂波信号的功率谱分布通常有: 高斯型、立方型和指数型。因此雷达杂波信号也必须根据具体情况选择合适的模型。

$$E(J) = \{E_{\text{ACT}}, E_{\text{PAS}}, E_{\text{CIU}}\} \quad (2)$$

式中: E_{ACT} 为有源干扰, E_{PAS} 为无源干扰, E_{CIU} 为杂波干扰。

其中 E_{ACT} 是一个最复杂的子集, 按其平台不同可写成:

$$E_{\text{ACT}} = \{J_{\text{SO}}, J_{\text{ES}}, J_{\text{SS}}, J_{\text{E}}, J_{\text{SF}}, J_{\text{S}}\} \quad (3)$$

式中: J_{SO} 为远距支持干扰; J_{ES} 为随队干扰; J_{SS} 为自卫干扰; J_{E} 为投掷式干扰; J_{SF} 为近距干扰; J_{S} 为支援干扰。

无源干扰 E_{PAS} 的子集为:

$$E_{\text{PAS}} = \{E_{\text{CHA}}, E_{\text{COR}}, E_{\text{DEC}}\} \quad (4)$$

式中: E_{CHA} 为箔条干扰; E_{COR} 为箔条走廊; E_{DEC} 为假目标干扰。

杂波干扰 E_{CIU} 的子集为:

$$E_{\text{CIU}} = \{E_{\text{GCLU}}, E_{\text{MCLU}}, E_{\text{SCLU}}\} \quad (5)$$

式中: E_{GCLU} 为地杂波; E_{MCLU} 为气象杂波; E_{SCLU} 为海杂波。

最后, 通过集合的运算, 可得干扰信号环境模型为:

$$E(J) = \{J_{\text{SO}}, J_{\text{ES}}, J_{\text{SS}}, J_{\text{E}}, J_{\text{SF}}, J_{\text{S}}, E_{\text{CHA}}, E_{\text{COR}}, E_{\text{DEC}}, E_{\text{GCLU}}, E_{\text{MCLU}}, E_{\text{SCLU}}\} \quad (6)$$

2.2 目标回波信号环境

雷达目标回波信号除与目标本身的性能、形状相关外, 还与视角、极化和入射波长有关。也就是目标回波与雷达的发射信号紧密相关。目标根据其起伏特性一般可分为 5 类, 即: Swerling 0~Swerling 4 型。其中 Swerling 0 型表示目标的雷达截面积保持不变; Swerling 1 和 Swerling 3 型是指扫描间起伏——慢起伏; Swerling 2 和 Swerling 4 型是指脉冲间起伏——快起伏。对于复杂目标运动所产生的目标噪声一般也分为 5 类, 即: 幅度噪声、角噪声、极化调制噪声、由角闪烁和目标运动引起的多普勒闪烁以及距离噪声等。

通常用来描述目标回波信号性质的参数包括: 脉冲幅度(PA), 距离延迟(TD), 多普勒频移(FD)和脉冲宽度(PW)。当然在实际信号环境中, 还必须包括目标回波信号的到达角(AOA)和脉冲载频(RF)。假设雷达目标回波信号模型的集合为 ST, 则 ST 可表示为:

$$ST = \{PA, TD, FD, PW, AOA, RF\} \quad (7)$$

(下转第 37 页)

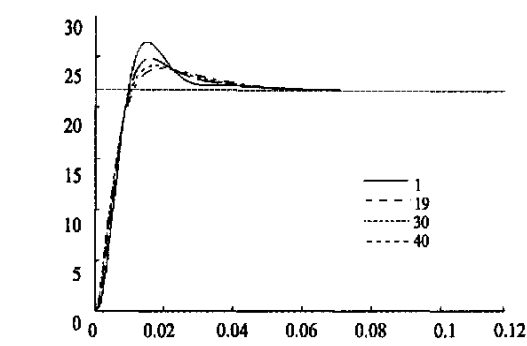


图 7 K_D 变化对电机速度响应的影响

最优参数的组合。借助于 Matlab 的图形功能可以使分析工作变得更加直观。

4 结束语

通过上面的实例可以看出, Simulink 完全能够解决我们对控制系统建模、仿真、分析的需求。在科学研究中, 使用计算机进行实物系统的仿真, 可以加快研究的进度, 节省人力物力, 为企业创造更多的效益。

参考文献

[1] 王沫然. Simulink 4 建模及动态仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.

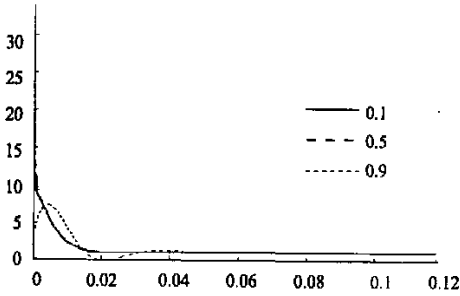


图 8 A 变化对控制信号的影响

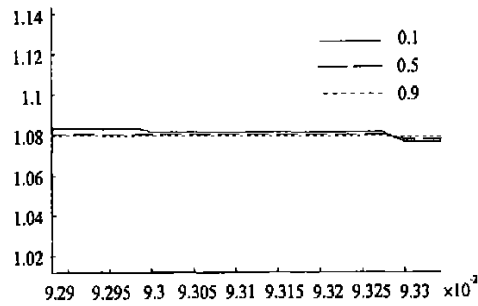


图 9 A 变化对控制信号的微观影响

[2] 何克忠, 郝忠恕. 计算机控制系统分析与设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988.
[3] 胡寿松. 自动控制原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1994.
[4] 秦继荣, 沈安俊. 现代直流伺服控制技术及其系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993.

(上接第 33 页)

通过集合的运算, 可以得出雷达信号环境模型。即雷达信号环境由目标回波信号环境和干扰信号环境共同组成。但雷达设备的信号环境必须根据雷达本身的特性独立建模:

$$E(R) = \{ST, E(J)\} \tag{8}$$

3 结束语

综上所述, 一个雷达对抗信号环境实际上可用一个更大的集合来描述, 即:

$$E = \{PDW, E(R)\} \tag{9}$$

也就是雷达对抗信号环境由雷达侦察设备信号环境、干扰信号环境和目标回波信号环境共同组成。

但是, 在描述一个具体的实际电磁战区雷达对抗仿真试验时, 光有一个雷达对抗信号环境是

远远不够的, 必须根据战情, 明确目标库、传感器库、JUT 库、环境库和威胁库等, 再分别建立下述仿真模型来完成:

- (1) 平台相对运动模型;
- (2) 大气传播模型;
- (3) 多路径模型;
- (4) 雷达辐射源信号环境模型;
- (5) 雷达目标信号环境模型;
- (6) 杂波信号环境模型;
- (7) 箔条杂波模型;
- (8) 有源干扰信号环境模型。

参考文献

[1] 林象平. 雷达对抗原理[M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1985.
[2] 王子才. 关于仿真实验的探讨[J]. 系统仿真学报, 2000 12(6): 604 - 608.