

雷达对抗信号环境的模拟

合肥电子工程学院 林春应 黄建冲 王贵生

(合肥 230037)

摘要 在实际工作中,要使用真实的雷达对抗信号环境进行系统调试和人员培训是比较困难的。一般是采用模拟的方法产生所需要的雷达对抗信号环境。本文主要介绍我们研制的雷达对抗侦察数据模拟系统的原理和方法。

关键词 信号环境 参数模拟 环境模拟

1 前 言

在雷达对抗情报处理系统的调试、检测以及情报分析人员的培训中,都必须有适当的雷达对抗信号环境。在实际工作中,要使用真实的雷达对抗信号环境进行系统调试和人员培训是比较困难的。一般是采用模拟的方法产生所需要的雷达对抗信号环境。因此,雷达对抗信号环境的模拟,是雷达对抗情报处理中的一个重要问题。现在国外已有多种雷达对抗信号环境模拟设备,国内也在加紧这类模拟器的研制。

2 雷达对抗信号环境模拟现状

目前,雷达对抗信号环境模拟的方法主要有 3 种:(1)雷达射频信号模拟。这是利用多部射频信号发生器,模拟雷达发射的射频信号,并模拟雷达平台的运动特性;(2)雷达视频信号模拟。这是利用微机控制视频信号发生器,模拟雷达信号的视频脉冲序列,有些还能模拟雷达平台的运动特征;(3)雷达对抗侦察数据模拟。这是利用微机模拟雷达侦察机截获的雷达信号参数数据,这些数据包括:全脉冲信号数据,已分选的雷达信号参数数据,雷达信号的视频脉冲序列,雷达信号的视

频脉冲波形,雷达信号的音响特征,雷达射频信号的频谱等。

这 3 种雷达对抗信号环境模拟方法的性能、成本和用途是不同的。从原理来说,雷达射频信号模拟是能比较全面、真实地体现雷达对抗信号的环境特性,并且可以全面地检验雷达对抗情报保障系统的性能,包括雷达侦察接收机的性能、信号处理器的性能和情报综合处理系统的性能。但是这种模拟需要多部射频信号发生器及其相应的平台,并且,这种模拟通常还要在微波屏蔽室中进行。因此这种模拟方法是相当困难的,成本也很高。如果要模拟比较复杂的雷达对抗信号环境,就需要大量的射频信号发生器和不同类型的平台,同时还必须有一套复杂的控制系统。这时,模拟的难度和成本往往难以接受,因此雷达射频信号在情报综合处理中难以普遍应用。

雷达视频脉冲信号模拟是模拟雷达对抗接收机输出的雷达视频脉冲序列,可以用来检测雷达对抗情报系统中信号处理器以及情报综合处理系统的性能。从原理上来说,雷达视频脉冲信号模拟不仅可以比较逼真地模拟雷达视频脉冲序列,也可以模拟雷达所在平台的运动特性。实际上,由于雷达视频信号处

理的复杂性,要逼真地模拟在雷达侦察机显示器上显示的视频脉冲序列是相当困难的。此外,要模拟雷达平台的运动特性也是比较困难的。总的来说,雷达视频信号模拟可以模拟的信息量小,要达到高的逼真性比较困难。因此,这种模拟在雷达对抗情报处理中的应用是有限的。

雷达对抗侦察数据模拟是利用微机模拟雷达侦察机信号处理输出的全脉冲数据,以及脉冲波形分析器、频谱分析器、音响等设备的输出信号。这种模拟方法模拟的信息大,模拟的结果比较逼真,并且具有设备简单、使用方便等优点。雷达对抗侦察数据模拟主要用于检验雷达对抗情报处理系统的性能,它是主要的信号环境模拟设备。雷达对抗侦察数据模拟的开发难度很大。它必须全面考虑雷达信号射频特性、雷达平台的运动特性、雷达射频信号传播空间的特性、雷达对抗接收机及其信号处理器的特性。如果要模拟多平台、多侦察机的情况,还要考虑通信系统特征及指挥控制关系。正由于这种模拟的困难性,目前国内还没有见到比较全面的侦察数据模拟系统。

3 雷达对抗侦察数据模拟的基本考虑

为了满足教学和训练的需要,我们研制了一个雷达对抗侦察数据模拟系统,用来产生需要的各种雷达对抗信号环境。在研制这种模拟系统时,我们主要考虑了下面几个因素:

(1)雷达对抗情报保障系统的组成。雷达对抗情报保障系统是由一个情报综合处理中心和几部侦察机系统组成,其中至少有一部为 RCL-518A 侦察机。情报综合处理中心可以和某一部侦察机配置在一起,也可以分开配置,整个系统用通信设备连接成一个有机的整体,从而保障情报综合处理设备可以接收或调看系统中任意一部侦察机的数据。

(2)模拟信号的种类尽量齐全。考虑到目前我军雷达对抗侦察机装备的现状及其未来的发展,目前主要是模拟雷达全脉冲信号、雷达视频脉冲序列和雷达信号参数。从原理上,采用计算机应当能模拟出任意雷达信号和雷达对抗信号环境。但是,由于雷达信号的多样性及不同战场环境的特殊性,实际上要模拟任意雷达信号和雷达对抗信号环境是很困难的。因此对雷达信号的类型和变化规律必须有一定的选择和限制。当然,选择的信号类型必须能包括常见的全部雷达信号类型。

(3)使用上的方便性。由于模拟信号是用于情报综合系统的调试和人员的训练,所以必须能产生多种不同的信号环境,可以多次复现,并且操作简单,使用方便。因此,在设计中,我们采用下列措施:①模拟参数设置文件、模拟结果数据文件。调试和训练的结果数据均以文件形式保存下来;②模拟参数的设置尽量简单,也可以利用已有的样本文件修改得到新的模拟文件;③软件的可维护性。即雷达对抗信号环境模拟软件中的某些制约关系可以由用户作修改,以满足各用户的不同需求。

4 雷达对抗信号环境模拟方法

目前,我们研制的雷达对抗信号环境模拟软件模拟输出的信号有两种:(1)雷达全脉冲信号,包括视频脉冲序列。(2)雷达信号参数数据。下面介绍这两类信号模拟中的一些方法。

4.1 雷达全脉冲信号的模拟

目前,我军国产装备只有 RCL-518A 可以输出雷达全脉冲信号,因此只模拟 RCL-518A 的全脉冲信号。雷达全脉冲信号是 RCL-518A 信号处理器的输出信号,这个信号数据和雷达发射机发射的射频信号是有差别的,这主要是受下列因素的影响:(1)雷达天线的扫描方式;(2)雷达平台位置及其运动特性;(3)雷达与雷达侦察机的相对空间关

系;(4)雷达侦察机的工作状态;(5)雷达侦察机所处的电磁信号环境,包括雷达信号及干扰信号密度等。因此在设置模拟雷达信号参数时必须考虑到上述各个因素的影响。设置每一部雷达信号参数的基本过程如图 1 所示。

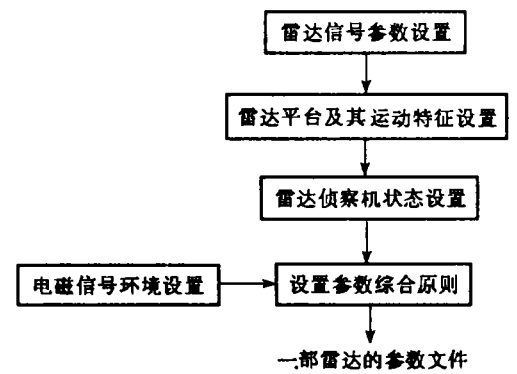


图 1 每部雷达信号参数的设置

在上述各类参数设置中,最困难的是雷达信号参数设置,这里主要有两个难点:(1)雷达信号参数容差;(2)雷达信号参数变化规律的表示。雷达信号参数容差决定了模拟信号的逼真性。雷达信号参数变化规律的表示方法决定了可模拟信号的复杂性及使用

的方便性。

雷达信号参数容差指雷达信号参数变化范围的统计平均值。它与多种因素有关,一般难以给出一个确定的值。在雷达对抗情报处理中,严格地说,雷达信号参数容差是指在特定的电磁信号环境中,指定的一部雷达侦察机截获指定的某部雷达信号时,在适当的时间间隔内,该雷达信号参数变化的统计平均值。影响雷达信号参数容差的因素很多,经分析,下列几个因素起主要作用:(1)雷达发射机的体制;(2)雷达运用的战术原则;(3)雷达的工作状态;(4)雷达对抗侦察机的工作状态;(5)外部干扰信号的相对强度。根据这些分析结果,为了简化参数设置,我们把影响雷达信号容差的有关设置参数分在两个部分进行。一部分因素分到雷达信号参数设置中进行,另一部分到设置参数综合原则中进行。

在设置了每一部雷达的全脉冲信号参数后,把所有这些参数综合在一起,就形成一个雷达全脉冲信号模拟文件,可以随时用来产生全脉冲信号数据。图 2 是模拟的频率捷变全脉冲信号的片断。

NO	AZ	RFI	RFS	PW	PA	TOA	PRI
00021	033	09380	0000	0001.0	43	11724	1052
00022	033	09480	0000	0001.0	44	12776	1052
00023	033	09410	0000	0000.9	42	13828	1052
00024	033	09360	0000	0000.8	38	14879	1051
00025	033	09440	0000	0001.0	42	15931	1052
00026	033	09420	0000	0001.1	50	16983	1052
00027	033	09360	0000	0000.9	43	18035	1052
00028	033	09390	0000	0001.0	42	19086	1051
00029	033	09370	0000	0000.8	40	11138	1052
00030	033	09450	0000	0001.0	45	12191	1053

图 2 模拟频率捷变全脉冲信号

4.2 雷达信号参数模拟

雷达信号参数模拟是模拟一部或多部雷达侦察机按指定的数据密度上报到情报综合处理中心的雷达信号参数。这种模拟数据反映了情报保障系统所监控战区雷达对抗的动

态情况。雷达信号参数是雷达侦察机对所截获的信号进行分选识别的结果,因此,要模拟雷达信号参数必须考虑与产生这些输出雷达信号参数有关的所有因素。

与输出雷达信号参数有关的因素很多,

但主要的是下列几种：(1)雷达的体制、数量及其部署位置；(2)雷达的战术运用原则与工作状态；(3)侦察机的体制；(4)侦察机的位置和工作状态；(5)侦察机监视战区内的地形；(6)战区内电磁信号环境。

在模拟中，根据模拟的需要，建立了基本模型，描述相互间的逻辑关系，画出流程图，建立必要的数学模型，然后才能编制模拟程序。在与雷达信号参数有关的 6 个主要因素中，雷达战术运用方法与工作状态切换的描述及表示方法是比较困难的。有关雷达信号参数容差的表示，直接引用在雷达全脉冲信号参数模拟的结果中。

雷达信号参数模拟中有关参数的设置包括 5 个部分：

(1)雷达设置，设置各部雷达的位置、体制、战术运用原则、工作状态的切换方式等；

(2)雷达侦察机设置，设置各部雷达侦察机的位置、体制、战术运用原则、工作状态的切换方式等；

(3)战区地形特征设置，设置可能影响雷达信号的地形与地貌特征参数；

(4)战区电磁信号环境设置，设置可能影

响雷达侦察机正常工作的各种干扰辐射源；

(5)侦察机输出参数调度方式设置，设置调用各侦察机输出参数的方式。

雷达信号参数模拟的参数设置过程如图 3 所示。

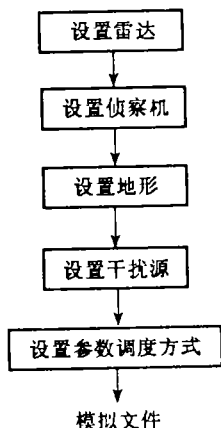


图 3 雷达信号参数模拟中模拟参数的设置过程

在完成图 3 所示的各种参数设置之后，就可以得到一个模拟文件。利用模拟文件就可以产生所需要的模拟雷达信号参数。图 4 是情报处理中心接收某一部雷达侦察机上报的模拟雷达信号参数片断。

侦察机号：***				侦察机体制：***					
侦察机位置：经度***				纬度***		高度***			
侦察日期：1996-6-12									
NO	AI	RF	PW	PRI	Ta	mod	S-T	E-T	num
					(s)		n:m:s	n:m:s	
1	83	2 745	2.00	2 000	10		8:50:10	8:51:20	
1	78	7 180	1.00	500			9:10:00	9:10:20	

图 4 模拟的雷达信号参数

在图 4 中，各符号的含义分别是：

NO：目标批号；

RF：雷达信号射频；

PW：脉宽；

PRI：脉冲重复间隔；

mod：雷达体制；

Ta：雷达天线旋转周期；

S-T：目标发现时间；

E-T：目标消失时间；

num：雷达脉冲个数。

5 试用结果

我们研制的雷达对抗信号模拟软件经过一段时间的试用和修改后，现已用于我国东南沿海方向雷达对抗信号环境的模拟，模

(下转第 11 页)

设置调整,但要求侦察机测得的幅度信息可靠,否则会使跟踪时间变长,甚至不能可靠地抑制旁瓣跟踪。

3.1.2 利用侦察机全向天线信号改变灵敏度

侦察机的全向天线和 ECM 接收天线相对于远处目标而言,相当于在同一点,此时全向天线相当于提供一个活动门限,用以改变跟踪灵敏度,当外界目标雷达信号增强时,门限上升;当信号减弱时,门限降低。但这个门限值必须始终在 ECM 接收机天线的主瓣交点之下和旁瓣交点以上。在宽带侦察干扰系统中,这种方法要求检波器以及视频对数放大器一致性好,对器件要求高,特别当侦察机变灵敏度工作时,实现的复杂性更大。从原理上讲,这种方法完全能保证在全频带内都使 ECM 接收机跟踪在主瓣上,但调试工作量很大。其最大优点是实时性好,速度快,能缩短反应时间。

3.2 增加主瓣识别措施克服旁瓣跟踪

ECM 接收机根据侦察机引导的方位角 α 和最大可能的测向误差 $\Delta\theta_{\max}$, 在两倍的最大误差角范围内,即 $\alpha \pm \Delta\theta_{\max}$ 范围内进行主瓣判别,然后在主瓣上进行跟踪。这种方法处理简单,具体分析如下。

假设最大测向误差 $\Delta\theta_{\max} = 15^\circ$, 主瓣判别时采样间隔点为 3° , 则在 $2\Delta\theta_{\max} = 30^\circ$ 范围内,若需采样 ≤ 11 点,完成一次采样处理时间为 $50\mu\text{s}$,完成主瓣识别的时间 $\leq 550\mu\text{s}$,选用一般器件就可实现。如选更高速器件,这个时间还可减少,上述结论假设信号一直存在。考虑低重频的跟踪雷达,假设重频间隔时间

为 $\Delta T_{\max} = 2\text{ms}$, 则反应时间需增加 22ms , 而这个时间对系统的反应时间的影响可忽略不计。

3.3 采样综合法解决旁瓣跟踪问题

这种方法是前几种方法的综合。在实际安装条件下,测试侦察机在不同频率、不同方位的测向精度,建立跟踪表,处理方法如下:

在侦察机测向精度高的频率和方位,由软件设定门限,直接到位转跟踪处理,此时可跟踪到主瓣上。

在侦察机测向精度低的频率或方位,由全向天线的视频信号提供活动门限,一次性跟踪在主瓣上。

由于侦察机大部分点的测向精度都满足要求,不会导致旁瓣跟踪。在少数点上利用全向天线来的信号抑制可能出现的旁瓣跟踪,较容易满足干扰机主瓣跟踪条件,调试也相对容易些。

4 结 论

从理论上分析,以上几种方案都能实现抑制旁瓣跟踪,其中利用全向天线的视频信号速度最快,而用综合法能使这种方案工作量降低,可行性增加。采取先识别主瓣再转跟踪的方法,调试最简单,单机就能克服旁瓣跟踪问题。以上分析主要针对跟踪型雷达,对于搜索雷达,处理时间将会长一些。

参考文献

- 1 林象平主编. 电子对抗原理. 北京: 国防工业出版社, 1981.

(上接第4页)

拟的数据用于教学和训练。实践表明,这种模拟数据对于提高受训人员的情报分析能力很有帮助。当然由于我们初次开发这种较大型软件,经验不足,经费有限,还存在许多需要改进和完善的地方。

参考文献

- 1 林象平. 雷达对抗原理. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1985.
- 2 丁鹭飞, 张平. 雷达原理. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1984.