

文章编号: 1672-2892(2010)04-0393-05

雷达电子战仿真系统设计

毕大平^{1,2}, 祝本玉²

(1.安徽省电子制约技术重点实验室, 安徽 合肥 230037; 2.电子工程学院, 安徽 合肥 230037)

摘要: 雷达电子战(REW)仿真系统是用于研究和评估多种干扰样式和干扰信号的计算机仿真系统。本文介绍了一种采用 VC++ 与 MATLAB 交互的 REW 仿真系统, 该系统可以完成对雷达的压制与欺骗干扰仿真, 并对干扰效果进行初步的评估。分析了该仿真系统的基本组成、软件结构和实现方法, 论述了其中涉及的若干关键技术。最后, 在给定的场景下对该系统进行了仿真实验, 仿真结果验证了该系统的有效性和实用性。

关键词: 雷达电子战; 建模; 仿真系统

中图分类号: TN974

文献标识码: A

Design of Radar Electronic Warfare simulation system

BI Da-ping^{1,2}, ZHU Ben-yu²

(1.Key Laboratory of Electronic Restriction of Anhui Province, Hefei Anhui 230037, China)

2.Electronic Engineering Institute, Hefei Anhui 230037, China)

Abstract: The Radar Electronic Warfare(REW) simulation system based on computers is used to research and evaluate the jamming modes and jamming signals generally. A REW simulation system adopting the software of VC++ and MATLAB was introduced in the study. The barrage jamming and the deception jamming to radar could be realized, and the jamming effect could be evaluated by the simulation system. The structure and the realized method of the simulation system were analyzed, and the key technologies were discussed in detail. Finally, a simulation experiment was performed under the given scene. The simulation results proved the validity and the practicality of the simulation system.

Key words: Radar Electronic Warfare; modeling; simulation system

在现代战争条件下, 电磁威胁环境日益复杂, 干扰技术非常丰富和多样化, 相应的雷达系统工作体制和抗干扰措施日益增多, 使得雷达电子战(REW)研究日趋复杂和昂贵。为了在复杂电磁环境下分析雷达攻防对抗作战效能评估及研究有效的干扰措施, 亟需一种比较通用的 REW 仿真软件平台。随着计算机技术的飞速发展, 运用计算机仿真技术完成 REW 仿真平台成为可能。笔者通过多年的实践与研究, 开发了一套比较通用的 REW 仿真系统, 可以完成对雷达的压制与欺骗干扰仿真, 并对干扰效果进行初步的评估。通过该仿真系统可以分析各种干扰样式的特性和干扰效果, 针对具体的雷达可仿真得出最佳的干扰样式和参数。本文从总体上论述了该仿真系统的结构和组成, 介绍了其中涉及的若干关键技术。

1 仿真系统软件结构

MATLAB 是一套功能强大的数学软件, 广泛应用在信号处理、数据采集、数值运算、图像处理及电子仿真、金融分析等领域。其强大的科学计算与可视化功能, 简单易用的开放式可扩展环境以及面向不同领域而扩展的工具箱支持, 使其在许多学科领域中成为计算机辅助设计与分析、算法研究和应用开发的基本工具和首选平台^[1]。但是由于其编译器采用伪编译的方式, 在 MATLAB 中编写的程序无法脱离其工作环境而独立运行。针对这个问题, Mathworks 公司为 MATLAB 提供了应用程序接口, 允许 MATLAB 和其它应用程序进行数据交换, 并且提供了 C/C++ 数学和图形函数库, 从而其它程序设计语言可调用 MATLAB 高效算法。C++ 是新一代的以面向对象概念为根本的高级程序设计语言, 类封装性和模块化的构造非常适合软件的移植和维护, 使用 C++ 开发有助于提高

收稿日期: 2009-11-23; 修回日期: 2010-03-18

基金项目: “十一五”国防预研基金资助项目(41101030403)

软件工程的质量。VC++是美国微软公司利用 C++的底层机理开发的新一代编译器，并且绝大多数的软件开发包都提供了对它的接口，MATLAB 也为 VC++提供了多种接口^[2]。

REW 仿真系统使用具有灵活扩展能力的 VC++开发友好人机界面，选择具有稳定的计算内核 MATLAB 编制的算法源程序，再利用 VC++与 MATLAB 的软件接口技术，使两者有机地结合起来。该仿真系统软件总体架构如图 1 所示，主界面如图 2 所示。

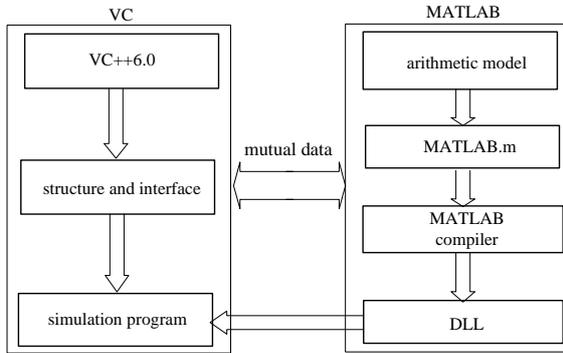


Fig.1 Software structure of the simulation system
图 1 仿真系统软件总体架构

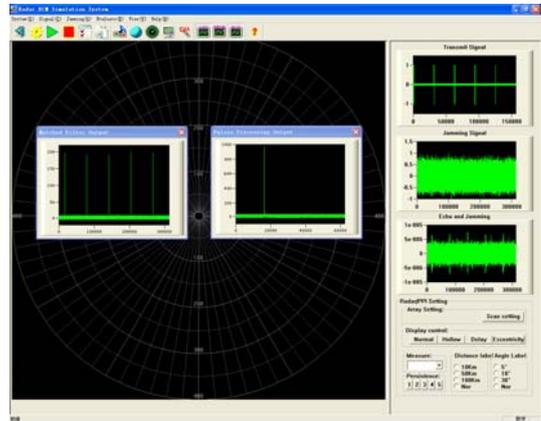


Fig.2 Main interface
图 2 主界面

2 REW 仿真系统组成

为了能够真实体现雷达系统在干扰背景下的工作情况，本仿真系统采用了基带相干信号仿真方式，利用数字处理技术，模拟雷达从信号接收到终端显示的整个工作过程。采用基带信号处理技术，避免了中高频信号处理带来的数据量大，硬件成本高的缺点。同时，由于采用信号级的仿真方式，相对功能仿真的方式具有更准确、更直观、更真实的优点。软件的流程设计贴近真实雷达系统的工作流程，对雷达系统的各个工作环节有准确的描述。图 3 为 REW 仿真系统的整体流程框图。由图 3 可知，仿真的过程就是一个信号数据流处理的过程，整个系统软件分为 7 个子系统，即：基础数据管理子系统、压制干扰信号模拟子系统、欺骗干扰信号模拟子系统、雷达目标回波模拟子系统、接收机及信号处理模拟子系统、终端显示模拟子系统和干扰效果评估子系统，下面分别介绍各子系统的基本功能。

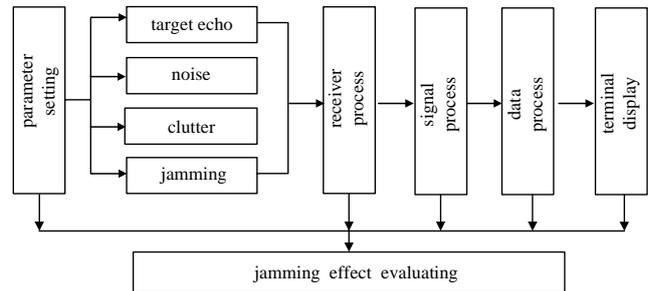


Fig.3 Flow of the radar ECM simulation system
图 3 REW 仿真系统流程图

2.1 基础数据管理子系统

该子系统主要包括雷达参数设置、压制干扰参数设置、欺骗干扰参数设置、组合干扰参数设置和评估参数设置等模块，各模块所涉及的参数均在一定的约束范围内可以自由设置，具有极大的灵活性，为试验最佳干扰样式提供了方便。

2.2 压制干扰信号模拟子系统

该子系统主要完成对各种压制干扰信号的建模与仿真，主要包括射频噪声、噪声调频、噪声调幅、锯齿波调幅、锯齿波调频等典型的压制干扰信号^[3]，并且可以通过灵活的参数设置，实现对雷达的瞄频、扫频以及阻塞式干扰等。扫频干扰信号参数设置界面如图 4 所示。

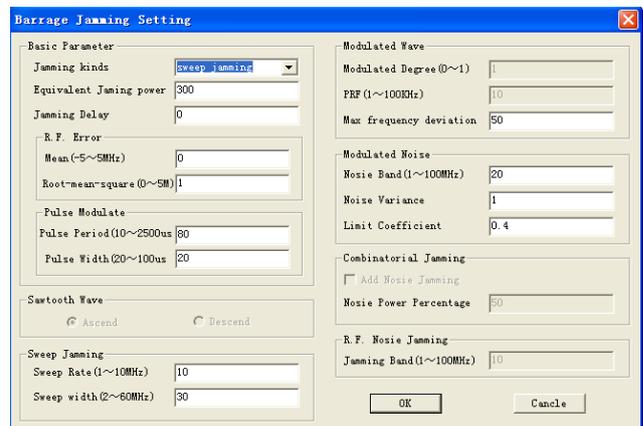


Fig.4 Parameter setting interface of the sweep jamming
图 4 扫频干扰信号参数设置界面

2.3 欺骗干扰信号模拟子系统

该子系统主要完成对各种欺骗干扰信号的建模与仿真,主要包括距离假目标欺骗、距离前拖引/后拖引欺骗、速度假目标欺骗、速度前拖引/后拖引欺骗以及转发干扰等典型的欺骗干扰信号。同样可以通过参数设置,实现对雷达多批次、多方位的假目标欺骗干扰。

2.4 雷达目标环境及回波模拟子系统

该子系统主要完成对目标场景的设定及目标回波的模拟。目标的环境主要包括气象、地物以及海浪等杂波环境^[4],根据雷达与目标的距离、有效反射面积和速度等实现对目标回波的仿真,并与干扰信号、噪声及杂波信号等一起构成雷达的回波信号。

2.5 接收机及信号处理模拟子系统

该子系统主要对经过线性叠加过来的杂波、干扰以及目标回波信号进行时间灵敏度控制、自动增益控制、脉冲压缩、脉冲积累、动目标指示和恒虚警处理等^[5]。虽然仿真中没有考虑射频信号的下变频处理,但将微波前端的误差影响加入到该子系统中。

2.6 数据处理及终端显示模拟子系统

该子系统主要完成对信号处理送过来的点迹信息进行数据凝聚、滤波、相关、航迹形成和航迹管理等处理,最终将航迹信息显示在终端显示器上^[6]。终端显示器可以模拟 PPI(Plan Position Indicator)显示器的各种基本显示功能,如正常显、偏心显、空心显等。

2.7 干扰效果评估子系统

该子系统主要采用功率准则、欺骗干扰成功率等,通过综合分析信号处理流程各个环节的干扰效果以及数据处理航迹效果,最终得出所设置干扰样式对设置雷达的干扰效果。

3 仿真系统实现的关键技术

3.1 VC++与 MATLAB 的互编程技术

由前文可知,采用具有灵活扩展能力的 VC++开发友好界面,选择具有稳定的计算内核 MATLAB 编制的算法源程序,运用 VC++与 MATLAB 的互编程技术,开发出 REW 仿真系统。首先完成 REW 仿真系统涉及算法的 MATLAB 程序编写工作,然后利用 MATLAB 编译器将编写好的 m 文件编译为动态链接库文件,并将该动态链接库文件导入到由 VC++开发的界面程序中。VC++和 MATLAB 之间的数据通信包括仿真参数设置和仿真结果输出,数据通信的方法很多,由于两者通信的数据量非常大,所以在仿真中主要采用了通过数据文件进行通信的方法来实现。进行仿真运算时,VC++首先将用户在界面中设置的各仿真参数写入参数设置文件中供 MATLAB 程序读取, MATLAB 程序在设置的参数下进行仿真运算,然后将仿真结果写入结果文件供 VC++程序读取、处理和显示。

3.2 雷达系统建模与仿真技术

对雷达系统的仿真建模,主要围绕雷达信号处理及数据处理的基本工作过程进行数学建模。根据典型雷达的系统组成,按照信号/数据处理的过程可提取相应的雷达仿真模型结构,其中许多仿真模块,特别是信号处理和数据处理模块,基本上与实际雷达系统的相应模块一一对应。比如信号处理模块包括匹配滤波和脉压处理、动目标指示、相干/非相干积累和恒虚警处理等。数据处理模块根据信号处理模块形成的点迹信息进行航迹起始、跟踪滤波与预测、数据关联和航迹形成等处理后,最终将处理的航迹信息送到 PPI 显示^[3-6]。对于天线、接收机、发射机等微波前端的仿真,考虑到计算机处理能力和满足仿真的主要目标,采用了简化方式,即不模拟具体过程,只是将微波前端的误差影响添加到雷达接收信号或雷达发射信号中去,同时考虑距离传输的延迟和接收机处理等响应时间,这样既达到了以比较真实的雷达模型为基础,进行雷达对抗效能评估的目的,又大大简化了仿真的难度和计算量。

由于资源调度模块是相控阵雷达区别其它雷达的重要特征,因此仿真系统中包括了自适应资源调度模块,以充分实现对相控阵体制雷达工作方式的逼真模拟。自适应调度策略是指在满足不同工作方式相对优先级的条件下,在雷达设计范围内,实时地平衡各种雷达波束请求所要求的时间、能量和计算机资源,为一个调度间隔选择一个最佳雷达事件序列的一种调度方法^[7-8]。仿真系统中重点考虑了 4 类基本的雷达事件:搜索事件、确认事件、

跟踪事件和失跟事件。搜索事件是指对指定空域按照波位编排表进行照射以检测目标；确认事件是指在搜索检测到目标后，发射验证波束，以确定回波来自有效目标还是虚警；跟踪事件是指对跟踪的目标进行跟踪照射和航迹相关处理；失跟事件是对失跟目标进行再次的搜索和捕获。自适应调度按着事件优先级原则及先进先出原则安排调度间隔内请求的雷达事件。仿真中自适应资源调度模块安排的搜索、确认及跟踪事件的次数如图 5 所示。

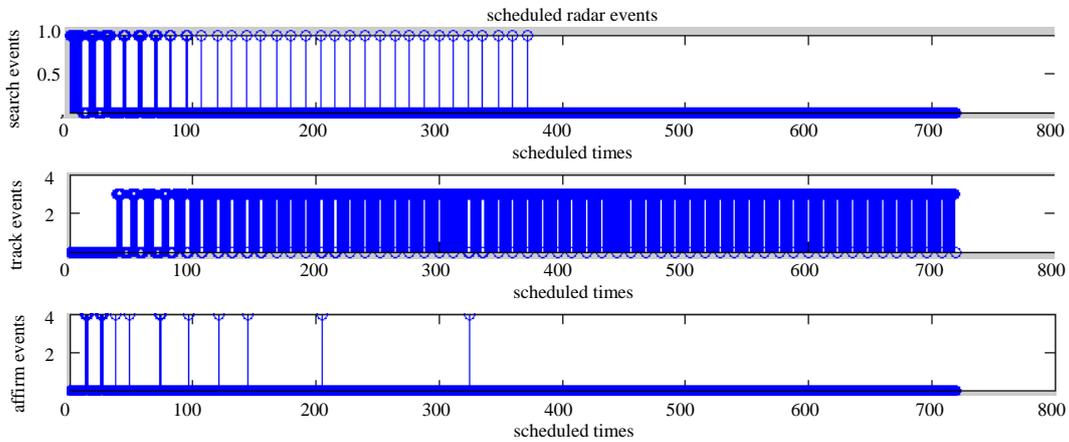


Fig.5 Scheduled search, track and affirm events by the adaptive resource scheduling
图 5 自适应资源调度的搜索、跟踪以及确认事件的时序图

3.3 干扰信号建模与仿真技术

干扰信号的产生过程比较复杂，而且牵涉到的因素很多，如果直接对干扰设备的结构进行仿真建模，不仅使仿真的难度和工作量大大增加，而且将仿真的重点转移到了干扰结构和部件功能的仿真上，反而将干扰样式的仿真置于次要地位。为此，本系统中忽略了干扰信号在硬件中产生的过程，而从结果上对信号进行仿真，也就是运用某种数学方法并考虑到干扰设备中某些环节的影响，产生和实际具有相似特征和形式的干扰信号。这样的信号在输入到雷达信号处理系统后产生的效果和实际的干扰信号产生的效果基本相同。该仿真系统对噪声调幅、噪声调频、锯齿波调频、宽带阻塞、窄带瞄准、杂乱脉冲、组合干扰等 11 种压制信号以及距离欺骗、距离拖引、距离+速度相关/不相关拖引、多普勒闪烁等 11 种欺骗信号进行了建模与仿真^[3-4]。

3.4 综合评估准则的应用

雷达干扰效果评估是一个复杂的研究领域，至今没有一个全面的统一的实用准则和方法。目前，压制干扰的评估准则有信息准则、效率准则、功率准则、时间准则等，但均以干扰/信号的功率比为基础而衍生，为此以“功率准则”为基础，综合考虑接收机前端及信号处理输出端的峰值干信比和均值干信比以及受压制后雷达检测的目标个数等进行压制干扰效果评估。同样在制定欺骗干扰评估准则时，综合考虑了接收机前端及信号处理输出端的峰值干信比和均值干信比、最大欺骗距离与雷达分辨力的比值以及欺骗的假目标个数等。上述各因子在评估压制/欺骗干扰效果时各占一定的权值，通过对仿真结果进行综合考虑，使干扰效果的评估更具合理性和可信性。

4 仿真实验结果

选择干扰对象为“爱国者”相控阵雷达，其基本参数为：频率 5.5 GHz，带宽 1 MHz，脉宽 80 μs，天线主瓣增益 40 dB，发射功率 600 kW。自卫式干扰机选择噪声调频干扰信号，干扰机发射功率为 20 W，干扰机天线增益为 15 dB，干扰机距离雷达 200 km。图 6 给出了该干扰场景下的干扰效果评估结果，由图 6 可知，接收机前端的干信比为 61.96 dB，接收机处理后的干信比为 35.94 dB。由于干扰比很大，起到了很好的压制效果，所以此时恒虚警处理的目标数为 224 个，从而给出了干扰等级为 3 级(及重度干扰)的评估结果。

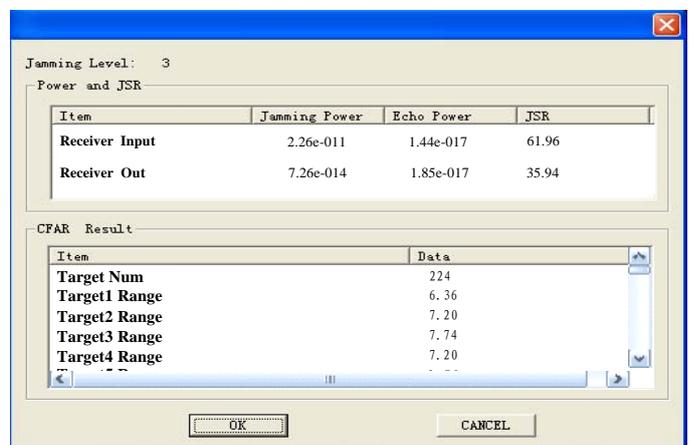


Fig.6 Result of the jamming effect evaluation
图 6 干扰效果评估结果