

文章编号: 2095-4980(2018)06-1045-04

## Ka 波段信号链路非线性效应研究平台的设计

许 雄, 吴若无, 陈 翔, 郝晓军, 韩 慧, 曾勇虎, 汪连栋

(电子信息系统复杂电磁环境效应国家重点实验室, 河南 洛阳 471003)

**摘 要:** 针对毫米波导引头的复杂电磁环境效应实验研究需求, 设计并实现了一套 Ka 波段信号链路非线性效应研究平台。该平台由数学仿真系统和实验测试系统 2 部分组成, 其中数学仿真系统基于 SystemVue 软件平台设计实现, 实验测试系统基于模块化组装的思想设计实现。经测试, 该平台可用于开展复杂电磁环境对典型毫米波导引头相关关键信号链路环节的影响效应研究。

**关键词:** 毫米波导引头; 复杂电磁环境效应; 信号链路

**中图分类号:** TN97

**文献标志码:** A

**doi:** 10.11805/TKYDA201806.1045

## Non-linear effect investigation platform for Ka-band signal link

XU Xiong, WU Ruowu, CHEN Xiang, HAO Xiaojun, HAN Hui, ZENG Yonghu, WANG Liandong  
(State Key Laboratory of Complex Electromagnetic Environment Effects on Electronics and Information System,  
Luoyang Henan 471003, China)

**Abstract:** According to the experimental research needs of complex electromagnetic environment effect for millimeter wave seeker, a set of non-linear effect investigation platform for Ka-band signal link of millimeter wave seeker is designed and developed. The platform contains mathematical simulation system and experimental test system. Thereinto, the mathematical simulation system is designed based on SystemVue software platform, and the experimental test system is designed based on modularize assembly. The test results show that the platform can be applied to study the effects of complex electromagnetic environment on key signal links of typical millimeter wave seeker.

**Keywords:** millimeter wave seeker; complex electromagnetic environment effect; signal link

随着电子对抗技术的发展, 毫米波导引头已获得广泛应用。这类导引头不可避免地受到各种复杂电磁环境要素的影响<sup>[1-2]</sup>。如何从各关键信号链路环节上, 研究导引头受各种电磁环境要素的影响, 是当前一个重要研究课题, 也是导引头抗干扰性能评估、导引头对抗、导引头复杂电磁环境适应性试验等所面临的现实需求<sup>[3-4]</sup>。

各种电磁环境要素对导引头接收信号链路的影响机理不一样, 在进行导引头复杂电磁环境效应实验时, 需要将导引头各关键信号链路环节同时进行测量观察, 而不是将导引头作为一个整体来进行测试, 因此必须专门建立一套典型的以供效应机理分析用的导引头信号链路非线性效应研究平台。本文依据系统级的复杂电磁环境效应研究方法, 分别从数学仿真和实验测试 2 方面设计了基于 SystemVue 软件平台的效应仿真分析系统和基于模块化组装思想的效应实验测试系统。这 2 个系统共同组成了一套完整的 Ka 波段导引头信号链路非线性效应研究平台, 期望为研究复杂电磁环境对典型毫米波导引头相关关键信号链路环节的影响效应提供技术支撑。

### 1 效应研究方法

开展系统级的复杂电磁环境效应研究主要有 3 种方法: 实验室条件下的纯数学仿真和半实物仿真, 以及真实地理环境下的实体装备模拟法<sup>[3-5]</sup>。其中, 实验室条件下的仿真方法是基于对导引头所面临复杂电磁环境要素的基本认识, 通过提取各种环境要素并对其表征, 再利用计算机建立相应的数学模型, 并对要素进行多种可能性的组合, 模拟导引头可能面临的复杂电磁环境, 进而开展复杂电磁环境对导引头作用效果的仿真分析, 其结果可为开展真实地理环境下的实体装备试验提供方案的指导和数据的验证<sup>[6-7]</sup>。典型的半实物仿真方案如图 1 所示。

收稿日期: 2017-08-06; 修回日期: 2017-10-27

基金项目: 试验技术研究青年科技基金资助项目

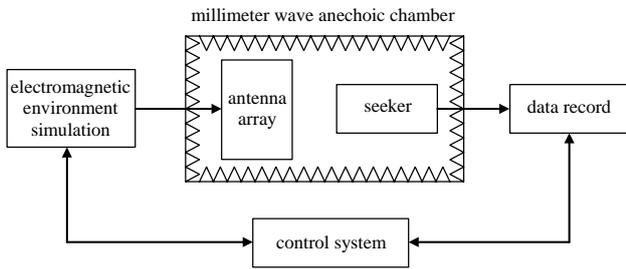


Fig.1 Simulation schematic diagram of hardware-in-the-loop  
图 1 半实物仿真方案示意图

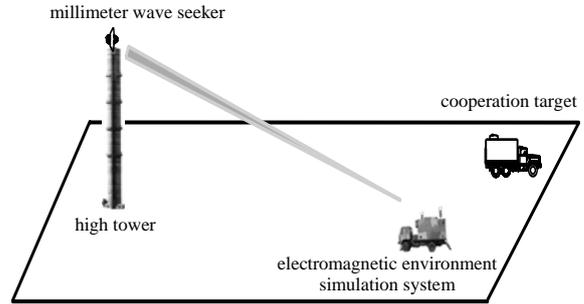


Fig.2 Simulation schematic diagram of actual equipment  
图 2 实体装备模拟方案示意图

真实地理环境下的实体装备模拟法是通过各种信号模拟器或同类型功能系统替代等效,现场模拟导引头所面临的电磁信号环境,并通过真实的导引头系统感受信号环境对其作用的情况,分析研究信号环境对导引头的作用效果,并与实验室条件下所产生的仿真试验数据进行对比验证。典型的实体装备模拟方案如图 2 所示。

如引言所述,为了开展相应的机理分析,应该建立一套典型的导引头信号链路模型,则所采用的方法只能是实验室条件下的纯数学仿真和半实物仿真,本文将分别从数学仿真和实验测试 2 方面设计相应的效应分析系统。

### 2 数学仿真系统

数学仿真可分为功能级和信号级 2 类。鉴于信号级更有助于效应机理的分析研究,本文主要利用 SystemVue 系统仿真平台来实现信号级的数学仿真<sup>[8]</sup>。首先对整个典型信号链路模型进行建模,模拟信号链路的完整信号处理过程,其典型的仿真模型图如图 3 所示。该模型图不仅包含了一个典型的接收信号链路,还包含了对回波信号和干扰环境信号的模拟模型,以及对信号传输路径损耗的模拟模型等。通过该模型的仿真,可以从信号传递和系统行为上对复杂电磁环境的作用效果进行有效的综合分析,为后续的实验测试奠定基础。

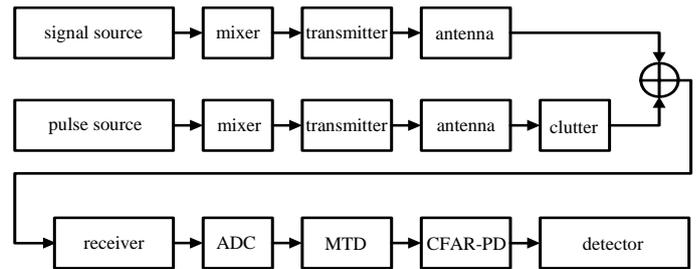


Fig.3 Mathematical simulation system  
图 3 数学仿真系统

### 3 实验测试系统

半实物仿真可分为注入式和辐射式 2 类。这 2 类的差异主要体现在对角度的模拟上。按研究需求,一般是先完成注入式测试,再进行辐射式测试。本文设计的重点在于信号链路各模块的研制。

现有的导引头型号丰富,体制各异,用途广泛,不可能逐一进行模仿。为了满足研究的需要,通过对多种体制毫米波导引头相关关键信号链路的兼容性进行分析,进而综合考虑,选取了当前比较主流的 Ka 波段以及单脉冲测角、脉冲多普勒测速、步进频率测距 3 种测量体制进行兼容设计。其中,比幅单脉冲测角技术是跟踪制导雷达中应用最广泛的测角体制,通常为“一个和、一个俯仰差、一个方位差”的四喇叭或五喇叭的 3 通道结构,考虑 3 个差支路的信号变化特征基本一致,因而设计时可只考虑 2 个通道,即采用单平面的比幅和差双通道体制。脉冲多普勒体制是最常用的测速体制,几乎所有的导引头都采用这种测速方法,其性能实现主要依赖于数字信号处理器及其算法的选择。步进频率体制是线性调频脉冲压缩信号的变形,可用于进行一维距离成像,在测距领域被广泛研究。步进频率体制能对频率综合器进行简单的软件控制,并与脉冲多普勒体制实现良好的硬件兼容,是导引头常用的技术体制<sup>[9]</sup>。

在充分研究这 3 种体制的基础上,为了便于实验,采用基于模块化组装的思路,将毫米波导引头接收信号链路主要分成以下几个模块进行设计,分别是:天馈线模块、射频模块、中频模块、信号与数据处理模块、制导信息处理模块等。其中,天馈线模块采用 2 个标准的喇叭天线和 1 个魔 T 完成和差 2 通道的信号接收与变换;射频模块由保护开关、低噪声放大器、混频器、滤波器、中频放大器等组成;中频模块由功分器、移相器、混频器和视频放大器等组成;信号与数据处理模块由模数转换器、数字信号处理器等组成;制导信息处理模块由惯导组件和中央处理器等组成<sup>[10]</sup>。最后将这些模块通过相应的转接头和连接线缆有机集成起来,形成一套可供效应实

验用的能够模拟典型体制毫米波导引头的接收信号处理链路。再配合相应的电源、测试测量仪器等,形成图 4 所示的效应实验测试系统。

#### 4 结论

针对毫米波导引头的复杂电磁环境效应实验研究需求,在充分考虑导引头现行体制和硬件结构的基础上,设计并实现了一套 Ka 波段信号链路非线性效应研究平台。该平台由数学仿真系统和实验测试系统 2 部分组成,其中数学仿真系统基于 SystemVue 软件平台设计实现,实验测试系统基于模块化组装的思想设计实现。经测试,该平台可用于开展复杂电磁环境对典型毫米波导引头各关键信号链路环节的影响效应机理分析研究,为开展毫米波导引头系统的干扰与抗干扰机理和性能评估分析提供重要的手段。



Fig.4 Experiment test system  
图 4 实验测试系统

#### 参考文献:

- [ 1 ] 高峰. 雷达导引头概论[M]. 北京:电子工业出版社, 2010. (GAO Feng. Introduction to radar seeker[M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2010.)
- [ 2 ] 汪连栋,申绪润,韩慧,等. 复杂电磁环境概论[M]. 北京:国防工业出版社, 2015. (WANG Liandong,SHEN Xujian, HAN Hui,et al. Introduction to complex electromagnetic environment[M]. Beijing:National Defense Industry Press, 2015.)
- [ 3 ] 隋起胜,袁健全. 反舰导弹战场电磁环境仿真及试验鉴定技术[M]. 北京:国防工业出版社, 2015. (SUI Qisheng,YUAN Jianquan. Battlefield electromagnetic environment simulation and test and evaluation technique on anti-ship missile[M]. Beijing:National Defense Industry Press, 2015.)
- [ 4 ] 隋起胜,张忠阳,景永奇,等. 防空导弹战场电磁环境仿真及试验鉴定技术[M]. 北京:国防工业出版社, 2016. (SUI Qisheng, ZHANG Zhongyang,JING Yongqi,et al. Battlefield electromagnetic environment simulation and test and evaluation technique on air defense missile[M]. Beijing:National Defense Industry Press, 2016.)
- [ 5 ] 刘佳琪,吴惠明,饶彬,等. 雷达电子战系统射频注入式半实物仿真[M]. 北京:中国宇航出版社, 2016. (LIU Jiaqi,WU Huiming,RAO Bin,et al. RF injection hardware-in-the-loop simulation on radar EW system[M]. Beijing:China Aerospace Publishing House, 2016.)
- [ 6 ] 陶欢,周小平,孙永全,等. 一种基于干信比的电子干扰信号环境度量方法[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2017,15(1): 59-64. (TAO Huan,ZHOU Xiaoping,SUN Yongquan,et al. An evaluation method of electronic jamming signal environment based on SJR[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2017,15(1):59-64.)
- [ 7 ] 董俊,蒲秀英,韩慧,等. 电磁环境分形特性分析与量化[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2015,12(3):428-432. (DONG Jun,PU Xiuying,HAN Hui,et al. Fractal characteristics and quantification method of electromagnetic environment[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2015,12(3):428-432.)
- [ 8 ] 吴若无,许雄,韩慧,等. 基于 SystemVue 的 PD 雷达对抗仿真系统设计[J]. 现代电子技术, 2016,39(21):44-46. (WU Ruowu,XU Xiong,HAN Hui,et al. Design of PD radar countermeasure simulation system based on SystemVue [J]. Modern Electronics Tehnique, 2016,39(21):44-46.)
- [ 9 ] 张江华,梁培康,刘逸平. 毫米波导引头系统设计与工程实现[M]. 北京:国防工业出版社, 2017. (ZHANG Jianghua, LIANG Peikang,LIU Yipin. System design and engineering implement on millimeter-wave seeker[M]. Beijing:National Defense Industry Press, 2017.)
- [ 10 ] 许雄,吴若无,韩慧,等. 效应实验用的 Ka 波段正交解调接收机的研制[J]. 现代电子技术, 2016,39(2):1-3. (XU Xiong, WU Ruowu,HAN Hui,et al. Develop of Ka-band quadrature demodulation receiver used in effect experiment[J]. Modern Electronics Tehnique, 2016,39(2):1-3.)