



电子对抗课程综合实验设计

廖红舒, 张花国, 甘露, 魏平

(电子科技大学信息与通信工程学院, 成都 611731)

摘要: 信息对抗技术是一门计算机类、信息类和通信多学科交叉融合的宽口径的综合性学科。然而, 目前针对信号层面的通信对抗和雷达对抗实验课程, 还没有形成一个完整的具有工程适用性的侦察和干扰对抗的综合实验体系。针对该课程的不足, 该文设计了一个具有实际工程应用基础, 能够涵盖完成针对雷达/通信信号截获模拟、测向、参数估计、类型识别、干扰样式设计以及干扰效果评估等系列的综合性电子对抗实验, 并具体阐述了实验的建设目标、具体内容和实施方案。从教改第一年的实践效果表明, 该综合性实验课能激发学生对解决工程问题的学习兴趣, 增强学生对多学科知识的灵活运用能力, 取得了良好的教学效果。

关键词: 通信对抗; 雷达对抗; 工程应用; 综合性实验

中图分类号: TN911.7

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20190101

Comprehensive Experiment Design for Electronic Countermeasure Course

LIAO Hongshu, ZHANG Huaguo, GAN Lu, WEI Ping

(School of Information and Communication Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: Information countermeasure technology is a wide-aperture comprehensive subject which integrates computer science, information science and communication science. However, at present, there is no integrated experimental system of reconnaissance and jamming countermeasure with engineering applicability for the experimental courses of communication countermeasure and radar countermeasure at signal level. In view of the shortcomings of this course, this paper designs a comprehensive experiment with practical engineering application, which can cover the completion of radar/communication signal interception simulation, direction finding, parameter estimation, type identification, jamming style design and jamming effect evaluation, etc. The experiment and the construction goal, specific content and implementation plan of the experiment are expounded. The practical effect from the first year of teaching reform shows that this comprehensive experimental course can stimulate students' interest in solving engineering problems, enhance students' flexible use of multidisciplinary knowledge, and achieve good teaching results.

Key words: communication countermeasure; radar countermeasure; engineering application; comprehensive experiment

随着现代电子技术、信息技术和通信网络的迅速发展, 信息对抗技术已经从一门单纯的军事学学科, 发展成为计算机类、信息类和通信多学科交叉融合的宽口径的综合性学科^[1]。该专业的特色是学习信息获取与处理、信息防御与对抗的体系, 掌握电子信息战系统的设计、开发与应用等知识, 特别是通过建立的信息获取与处理、通信对抗、雷达对抗、网络对抗等系统实验平台, 为学生提供系统的软硬件知识培养和工程能力训

练, 为培养具备军事与民用信息攻防技术等方面的理论和技术的**高级技术研究人才提供必要的保障^[2]。

然而, 我国能够培养信息对抗方向的本科生和研究生的重点大学还不多, 培养的数量还远不能满足需求。由于信息对抗专业是一个宽口径专业, 各学校根据不同学科背景, 设立的专业课也有所差异。截至 2018 年, 全国仅有 11 所高校开设了信息对抗专业, 并且国内高校开设的该专业

收稿日期: 2019-03-12; 修回日期: 2019-07-04

基金项目: 电子科技大学教学改革研究项目(2017XJYS10)。

作者简介: 廖红舒(1978-), 女, 博士, 副教授, 主要从事电子对抗方面的教学与研究。

的实验课程只涉及信息对抗领域中的某些方面,尤其是在信号层面的通信对抗和雷达对抗^[3-11],目前没有把通信对抗和雷达对抗有效地结合起来,还没有形成一个完整的电子侦察和干扰对抗的实验体系。因此需要建立一个具有实际工程应用基础,能够涵盖针对雷达/通信信号截获模拟、测向、参数估计、类型识别、干扰样式设计以及干扰效果评估等系列的综合性电子对抗实验。

1 电子对抗综合实验建设目标

通过梳理与凝练现有电子对抗领域中常见的基础问题,结合本校电子信息专业的知识架构,在已有的信息对抗实验课程基础上,设计、开发与扩充通信与雷达对抗在信号层面上的设计性和综合性实验课程,从而促进学生形成课外自主学习和实践能力,最终达到提高学生解决复杂工程问题能力和系统理解整个领域知识体系的目的。

2 综合实验设计

2.1 电子对抗工程基础问题

典型的电子对抗任务是利用侦察接收机监测、截获目标电磁信号,并利用信号处理技术实现对目标信号的方向测量、信号类型识别、参数估计,在此基础上根据目标信号特点,设计干扰信号,引导干扰机对准目标方向实施特定干扰,达到对抗的目的^[12-14],如图 1 所示。在这些作战任务当中,信号的检测和方向测量两个任务,由于与信号类型没有必然的联系,可以作为电子对抗系统的共性任务,而信号类型、信号参数以及干扰通常针对特定的雷达信号和通信信号设定不同的处理算法。

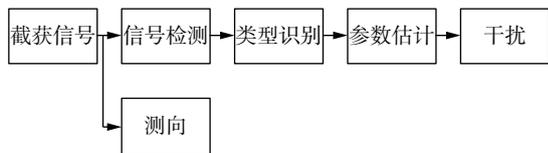


图 1 典型电子对抗流程

因此,电子对抗中的工程基础问题可以归纳为:

- 1)通信/雷达信号检测;
- 2)通信/雷达信号的方向估计;
- 3)通信信号参数估计、调制类型识别、通信干扰信号设计与干扰效果评估;

4)雷达信号参数估计、雷达干扰信号设计与干扰效果评估。

电子对抗实验课程需要覆盖以上的全部内容,设计与开发新的综合性实验课程与之相匹配。

2.2 电子对抗综合实验设计

电子对抗的诸多工程问题都需要涉及现代信号处理算法,要求学生能够熟练掌握和灵活运用通信原理、雷达原理、数字信号处理、信息论、随机过程等学科内容,并且具备对算法进行熟练编程能力。此外,电子对抗所要解决的问题通常都是一个逆向问题,也就是说,给定一个信号如何在未知条件下判断它是什么类型,如何才能准确获得它的参数等。因此,电子对抗的综合实验主要是培养学生的逆向思维,内容设计上主要从算法处理的角度进行设计,学生需要自行编程模拟截获的信号,学习经典的处理算法并设计处理流程,然后通过计算机编程实现,并在不同的仿真条件下验证和分析算法的性能。

2.2.1 通信截获信号模拟生成实验

针对典型数字通信调制信号如 ASK、2FSK、BPSK、QPSK、16QAM 等不同调制类型,从随机序列生成,序列到幅度、频率和相位的映射,成型滤波器以及载频调制等方面,完成对截获通信信号的模拟方法仿真,为后续的信号参数估计、识别和干扰奠定基础。

2.2.2 通信信号调制类型识别实验

利用各类数字通信信号在时域和频域具有的不同特征,包括包络、功率谱、二次方谱和四次方谱等不同的特征,通过提取有效特征并分类以达到识别通信信号调制类型的目的;让学生能够加深对通信信号特征的理解并能用 MATLAB 软件进行计算机仿真验证。

2.2.3 通信信号中心频率估计实验

学习并掌握经典的载频估计方法及其估计性能分析原理,设计并编程完成至少两种基于时域或频域的通信信号中心频率估计的算法,完成计算机仿真验证,思考并比较这两种方法的优缺点以及工程适用性。

2.2.4 通信干扰信号设计与干扰效果评估实验

学习单音、多音干扰原理,结合调制识别和中心频率估计实验的分析结果,设计针对特定数字通信信号的干扰信号,并研究分析干扰评估效

果, 利用计算机编程完成仿真实验。

2.2.5 雷达截获脉冲信号模拟生成实验

针对 LFM、相位编码脉冲压缩雷达对抗目标, 掌握侦察接收机截获信号样本的模拟产生方法, 并用 MATLAB 软件编程实现截获信号的生成。

2.2.6 雷达参数估计实验

针对常规脉冲/脉冲压缩(LFM、相位编码)雷达信号, 掌握雷达脉宽、脉冲幅度、脉冲达到时间、频率及脉内调制特征参数估计的基本原理与方法, 并进行计算机性能仿真。

2.2.7 雷达干扰信号设计与干扰效果评估实验

针对常规脉冲或脉冲压缩雷达, 利用在侦测试验中估计的雷达特征参数, 设计雷达噪声压制或欺骗干扰样式, 并进行计算机编程实现, 评估不同干信比下的干扰性能。

2.2.8 通信/雷达信号检测器设计实验

学习并掌握通信/雷达信号有无检测理论及其检测性能分析原理; 针对能量/功率、信号频谱特征等典型信号检测器, 在掌握其工作原理基础上设计相应实现算法, 并通过计算机编程完成加性高斯噪声信道及不同信噪比条件下检测性能(ROC-接收性能曲线)的仿真验证。

2.2.9 通信/雷达信号测向设计实验

学习基于幅度/相位的测向方法原理, 设计并编程完成基于比幅法/比相法的信号方向测量算法, 完成计算机仿真验证, 思考并比较这两种方法的优缺点以及工程适用性。

3 实验实施方案

本实验课一共需要 8 周时间完成, 每周 4 个学时, 每周完成一个专题内容。由于实验的内容涉及较多的工程问题, 有许多问题学生均是第一次涉及, 因此在保证课程体系的完整性基础上, 每个专题只针对一个工程问题, 教师首先提出为何要解决该问题的背景, 然后介绍解决该问题的最基本方法, 进一步给出本次实验内容。实验内容一方面让学生自行编程实现基本算法, 另一方面提出思考任务: 针对该工程问题目前的研究现状, 提出开放性问题, 让学生查阅最新文献并给出可行的解决方案。为了保证实验内容的前后有效衔接, 同时也是遵循电子对抗的工作流程, 实

验课程的安排是按照先侦察后干扰, 先通信对抗后雷达对抗的方式。

以通信信号调制类型识别实验为例。

1) 背景

通信对抗中, 敌方信息的获取需要获取调制类型和调制参数后方能通过解调实现。因此调制类型识别仅能从截获的信号中通过处理算法寻找该信号的特征, 并通过分类器自动判断该信号类别。

2) 基本算法

基于频域特征提取和决策分类算法。算法原理与步骤如下。

提取信号频域特征, 包括频谱、二次方谱和四次方谱等各种频域的离散谱峰个数。方法(a)以频谱或二次方谱或四次方谱中的最大值为参考值, 设置一个门限, 搜索大于该门限以上的谱峰个数。方法(b)以频谱或二次方谱或四次方谱 $P(f)$ 中的最大值为参考值, 记录最大值的位置为 pos, 选取最大值左右两侧第 N 个点的谱的幅度值, 计算最大值左右 N 点幅值之和, 设置门限, 搜索 R 大于门限以上的谱峰个数。

构造自动分类器, 根据二分类规则, 设计决策树自动从提取的特征中识别调制类型, 如图 2 所示。

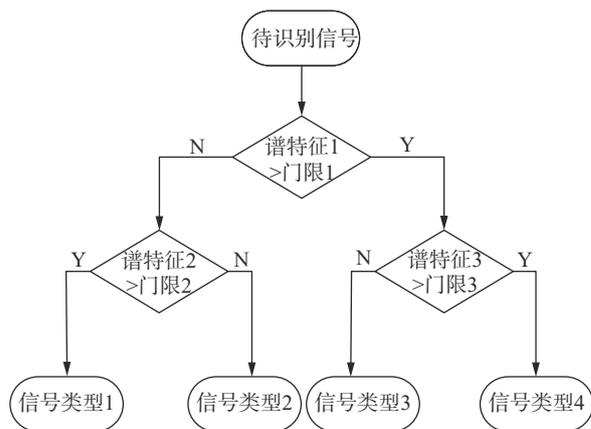


图 2 决策分类树

3) 实验内容

分别用介绍的两种方法编程提取这四种信号的频谱、二次方谱、四次方谱的谱峰个数(根据每种信号的特点分别提取频谱或二次方谱或四次方谱的谱峰个数)。信噪比从 0 变化到 10 dB(即 0 : 2 : 10), 分别画出 BPSK、QPSK、2ASK、2FSK

(不连续相位)用两种方法获得谱峰个数特征随每个信噪比的变化曲线,然后设定区分门限。比较这两种方法的优缺点。

选择其中一种方法提取谱峰特征,设计识别决策树,并编写程序实现。画出 BPSK、QPSK、2ASK、2FSK(不连续相位)信号的正确识别率随信噪比(0:2:10)的变化曲线。说明在多少信噪比下能保证每种信号的正确识别率均在 90% 以上。

思考连续相位的 2FSK 信号,怎么进行调制类型识别,怎么保证选择的门限能适用各种实际环境。

4 实验实施效果

实验课虽然只开展了一个学期,但是总体的效果不错。大部分学生虽然学习过 MATLAB 编程语言,也学习过通信原理与雷达原理的理论知识,但是从一个逆向角度重新理解通信信号与雷达信号的特点,并且能在理解经典算法后独立编程完成电子对抗中较为工程问题的解决,这对许多学生来说都是一种新的经历,对他们的工程思维与实践能力都有了很大的锻炼。部分学生实验的成果如图 3 所示。

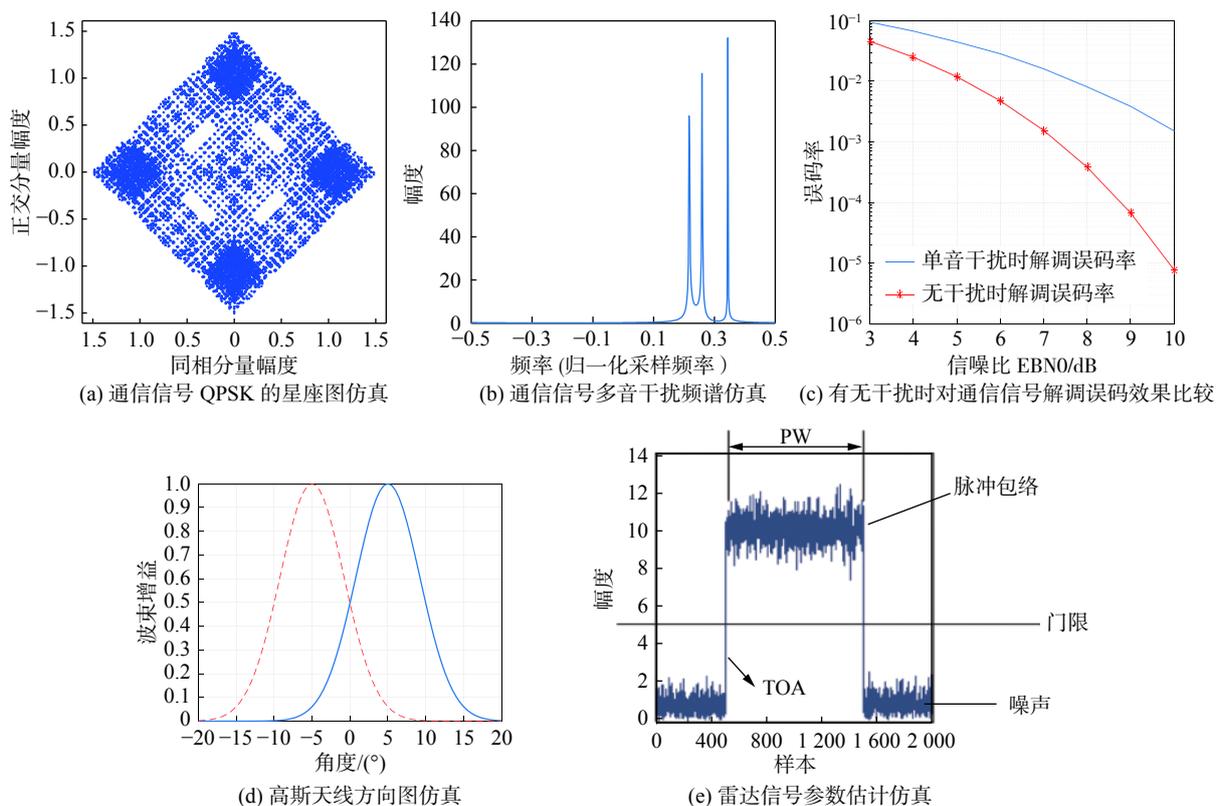


图 3 学生部分仿真结果展示

图 3(a)是学生模拟产生的含噪声的通信信号 QPSK 的星座图,由于 QPSK 是四相相移键控信号,星座图可反映其特点。图 3(b)是学生仿真的多音干扰信号的频谱图,该多音干扰信号由 3 个频率构成。图 3(c)比较有无干扰时对通信信号解调误码率的影响,可以看出有干扰时通信信号解调误码率增大,反映了干扰对合作通信效果有显著影响。图 3(d)是学生仿真的波束宽度 10 度时的高斯天线方向图。图 3(e)是对雷达参数包括到达时间 TOA、脉冲宽度 PW 等参数估计的仿真图。

从实验仿真的效果来看,仿真结果是正确的,表明学生对电子对抗中的信号特点、参数估计原理以及干扰波形的仿真方法已能够掌握,反映了学生对通信对抗和雷达对抗的基础理论有了较好的理解。

经过 8 周的实验实践过程,信息对抗专业的学生均顺利完成本实验课的学习,在软件编程方面的能力得到了极大的锻炼,学生在教学效果方面也给予了较高的评价。大部分学生都表示电子对抗课程综合实验让他们真正理解了通信系统和

雷达系统的工作原理,也获得了怎样解决具体工程问题的方法;36名学生给予本门课程5星的评教结果;部分学生因此对信息对抗专业产生了兴趣,并成功成为该专业方向的研究生。

5 结束语

本文在促进电子对抗知识体系与工程实践应用结合方面进行了深入研究。首先从电子对抗工程任务中梳理了关键的基础问题,然后设计了综合性实验的内容,在此基础上根据实验难度与电子对抗流程给出实施方案。从实施的实验效果来看,本文提出的电子对抗综合实验设计方案是切实可行的,达到了提高学生解决复杂工程问题能力以及加深理解电子对抗知识体系的目的。考虑到实际的电子对抗工程问题难度更大,内容更复杂,本文设计的实验内容还略显单薄。可以提供一些现有的未解决的工程问题作为开放性的课程设计题目,让学生组队完成,有利于提高学生的团队合作能力、同时也能让学生对该领域的发展现状有更深切的体会,这对培养满足社会需要的高级应用型信息对抗专业技术人才是非常有益的。

参考文献

- [1] 王祖林,郭旭静,尚佳栋.通信对抗基础实验的教学设计[J].*实验室科学*,2010,13(1):15-17.
- [2] 王亚文,喻钧,刘智平.基于学科竞赛平台的信息对抗技术专业人才培养模式实践[J].*实验室研究与探索*,2018,37(3):232-234.
- [3] 张花国,廖红舒,李立萍.“信号监测与处理”实验教学设计[J].*实验科学与技术*,2011,9(3):19-22.
- [4] 孙闽红,沈雷,尚俊娜.基于Simulink的通信对抗实验教学设计[J].*实验室科学*,2012,15(3):79-82.
- [5] 高平,田东.信息对抗技术实验室建设的探索[J].*实验技术与管理*,2003,20(5):111-114.
- [6] 石子言,程柏林,王光明.案例教学在电子对抗战术课程中的运用[J].*空军预警学院学报*,2014,28(3):220-222.
- [7] 杨青,李鸣,赵喜,等.信息化教学模式下《电子对抗技术》课程教学的探索与实践[J].*高教学刊*,2017(3):90-91.
- [8] 王广学,何缓,彭世蕤,等.研讨式教学法在《雷达对抗技术与实验》课程中的应用[J].*科技创新导报*,2016(32):159-160.
- [9] 赵喜,杨青,李鸣,等.仿真技术在电子对抗技术课程中的应用[J].*中国教育技术装备*,2017(8):39-41.
- [10] 康凯,徐东辉,郭文善,等.多维立体教学法在《通信安全与对抗技术》教学中的应用[J].*教育教学论坛*,2017(2):158-159.
- [11] 车俐,蒋留兵,黄继华,等.基于B/S模式的电子对抗实验室综合管理系统设计[J].*信息通信*,2014(8):98-99.
- [12] 赵国庆.雷达对抗原理[M].西安:西安电子科技大学出版社,2003.
- [13] POISEL R A.现代通信干扰原理与技术[M].陈鼎鼎,译.北京:电子工业出版社,2005.
- [14] 曹志刚,钱亚生.现代通信原理[M].北京:清华大学出版社,1995.

编辑 张莉