

基于软件无线电的通信原理实验课程改革

卢敏¹ 何雪云¹ 刘冬²

(1. 南京邮电大学通信与信息工程学院, 南京 210003)

(2. 武汉易思达科技有限公司, 武汉 430205)

摘要:以提高学生解决复杂工程问题的能力、相互协作能力、交流沟通能力为目标,依托 XSRP 软件无线电平台,设计通信原理实验课程的内容、教学体系及考核方式,实现通信原理实验课程的改革。实践结果表明,新的实验教学方案适应工科教育的要求,有效提升学生对理论课程的理解,并激发学生进一步探索和研究本学科的兴趣和主动性。

关键词:通信原理实验课;软件无线电;实验教学体系

中图分类号:G420

文献标识码:A

文章编号:1008-0686(2022)03-0169-04

Teaching Reform for the Experimental Course of Communication Principles Based on Software Defined Radio

LU Min¹ HE Xueyun¹ LIU Dong²

(1. College of Telecommunications & Information Engineering, Nanjing University of Posts and Software Defined Radio, Nanjing 210003, China)

(2. Wuhan Easystart Technology Co., Ltd, Wuhan 430205, China)

Abstract: With the aim of developing students' ability to solve complicated technical problems, teamwork abilities, and communication skills, by incorporating the XSRP software radio platform, we design the material, teaching framework and exam methods of the communication principle experimental course in order to realize the reform of the course. The practice results show that the new experimental teaching scheme satisfies the criteria of engineering education, strengthens student comprehension of theoretical courses, and motivates students to investigate and study the subject.

Keywords: principle experimental course; software defined radio; experimental teaching scheme

通信技术的迅速发展和国际形式的风云变换,对高水平通信电子类人才的培养和储备提出了迫切要求。作为通信学科的重要专业课“通信原理”,其特点是理论与实践紧密联系。然而长期以来,“重理论轻实验”的传统教学方式,忽视了对学生的工程应用和创新能力的培养。提升实验教学质量,优化实验教学体系,完善实践教学机制,是实现新时期人才培养目标和标准的关键内容和方法^[1-2]。

“通信原理实验课”的目标是通过学生主动参与通信系统设计,使学生理解这门课程所提出的问题,发现这门课程在回答这些问题时所使用的信息和方法,从而具备解决复杂工程问题的能力以及相互协作、沟通交流的能力,同时培养学生进一步探索和研究该领域新知识的好奇心和主动性。

多年来,不同高校的教师都进行着积极的探索,为我们提供了丰富的经验和启示^[3-8]。其中,

基于软件无线电平台完成通信原理实验的方式,因其具有可重构性、灵活性,且与真实系统的相似性等优势,成为国内外高校的首选^[3-6]。

软件无线电平台指的是在通用的硬件平台上用软件来实现各种通信模块的无线通信设备,可以方便地实现从原型设计向实际应用的过渡。将软件无线电技术应用于通信原理实验教学,可以加深学生对通信理论和通信系统的理解,帮助学生建立系统级的概念,避免了传统实验方式只关注单一知识点,学生“只见树木,不见森林”的缺点,同时提高了学生的创新与工程实践能力,为课程的发展提供了广阔的空间。

1 软件无线电实验平台

软件无线电的基本架构^[9]如图1所示:在发送端,信号经过信源编码、信道编码、调制映射后,由数模转换器(DAC)转换为模拟信号,输入到射频

前端。接着,模拟信号与高频载波混合到特定的射频频率后,通过天线发射传输。在接收端,天线捕获到射频信号,并将其解调回基带,经由模数转换器(ADC)处理后,由数字信号处理组件负责完成信号的恢复,包括解映射、滤波、信道译码和信源译码等。发送端和接收端的整个基带信号处理流程都是通过软件完成的。无论发射机还是接收机,都需要基带处理器具有很强的计算能力,所以工业上常采用数字信号处理器(DSP)或现场可编程门阵列(FPGA)语言来实现。

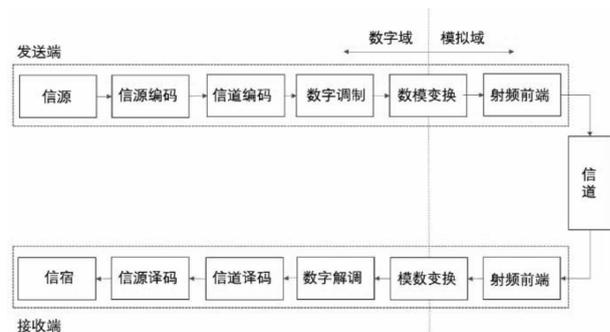


图1 软件无线电的基本架构

我院实验中心所采用的实验教学平台是武汉易思达公司的 XSRP 软件无线电平台,如图 2 所示。该平台提供了通用的无线电射频收发器,包括两根发射天线和两根接收天线。设备工作的通信频段在 70 MHz 到 6 GHz 之间。DAC 和 ADC 的采样率均为 30.72 MHz。软件处理采用了 LabVIEW 图形化编程语言和 Matlab 语言,而没有采用复杂的硬件编程语言,避免了对先导课程过高的要求。LabVIEW 将软件仿真的通信系统无缝地融合到硬件无线收发系统上,构建了“半实物半实验”的通信系统。LabVIEW 可以兼容 Matlab 程序,将 Matlab 脚本节点框放置在 LabVIEW 程序框图中,可以将编写好的 Matlab 脚本文件导入,实现 LabVIEW 与 Matlab 的数据交互。

LabVIEW 具有良好的硬件接口,而 Matlab 作为工科学生的常用工具,学生对其具有良好的使用基础。将两者结合使用,可以更好地满足实验课的教学目标,即通过软件编程掌握各个功能模块的实现原理,再通过硬件调试理解系统整体框架结构及功能。

2 实验课程教学设计

2.1 教学内容

一个典型的通信系统基本模型如图 3 所示。

综合实验的内容是选取三个不同的完整的无线通信系统进行设计,分别是:

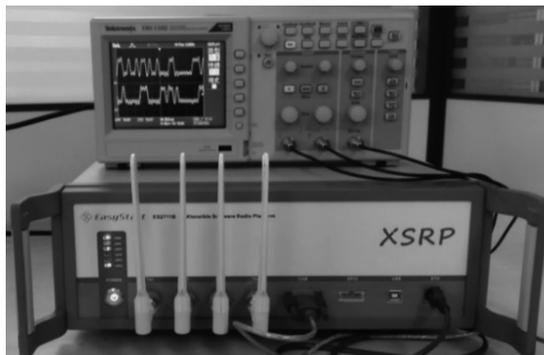


图2 武汉易思达公司的 XSRP 软件无线电平台



图3 通信系统基本模型

- 1) 语音频带传输系统的设计;
- 2) OFDM 通信系统的设计;
- 3) CDMA 通信系统的设计。

实验内容的设计紧跟技术前沿,参考了主流通信系统的标准。语音编码采用 A 律 13 折线编码方式,OFDM 系统的设计基于 3GPP LTE 系统的物理层协议^[10],CDMA 系统的设计基于 3GPP 定义的 WCDMA 系统的物理层协议^[11]。所传输的信号源包括语音、随机二进制数据、字符串数据三种。

实验中将每班学生分为三组,每组的约 12 人,负责一个完整的通信系统课题,学生需在有限的时间内,相互协作完成一个课题的设计和调试任务。

以 OFDM 系统设计为例,其系统框架及包含的功能模块如图 4 所示。

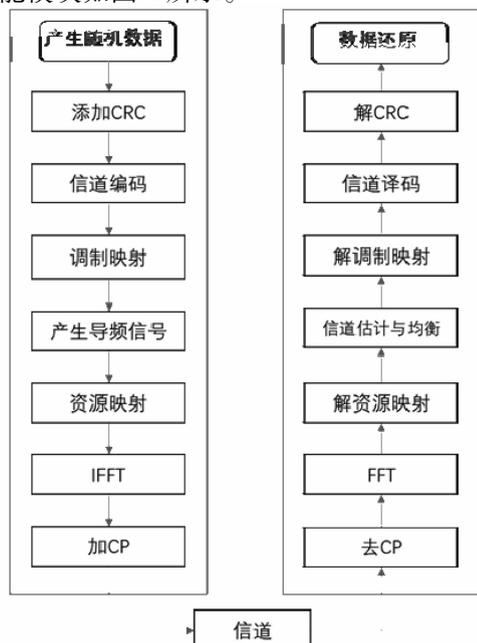


图4 OFDM 系统设计框图

OFDM 系统的具体设计流程是:①对输入的比特数据流添加循环冗余校验实现检错,信道编码(卷积码)实现纠错,然后进行调制映射(QPSK、16QAM、64QAM)、解资源映射、IFFT 变换、添加循环前缀(CP)、生成 IQ 两路信号。②生成的信号通过以太网传送到 XSRP 软件无线电平台,在平台中完成基带数字信号向模拟高频信号的转换并通过天线发射出去。③软件无线电平台通过射频接收天线对应的频点将无线信道上的数据接收、下变频、低通滤波、AD 变换还原为 IQ 两路基带信号,通过以太网送回到电脑。④在电脑上对接收的基带信号进行处理,包括去循环前缀、FFT 变换、解资源映射、信道估计与均衡、解调制映射、信道译码。最后对还原后的比特数据和发送端的比特数据进行比较,统计误码率。

软件无线电平台的应用,使得所搭建的通信系统的绝大多数功能在基带实现,而基带处理的各个功能模块均可通过独立的 Matlab 函数来实现。每个系统设计课题,可以分解出 14-16 个这样的功能模块,由组长分配给小组内的成员分别完成。每位同学在了解整体系统架构的基础上,重点完成自己所负责的功能函数的实现和调试,最终联调使得整个系统可以正常运行。

三个通信系统的设计所涵盖的通信原理理论的知识点,如表 1 所示。

表 1 需完成的函数功能与理论课知识点的对应关系

需实现的函数功能	理论知识点
PCM 编译码	信源编译码
CRC 校验、卷积码编译码	差错控制编码
QPSK、16QAM、MSK、IFFT、FFT	调制解调
导频信号设计	通信系统的同步
资源映射、解映射	帧结构的设计
OVSF 码、扰码的设计	正交编码与扩频
加循环前缀、去循环前缀	OFDM 系统符号间干扰与载波间干扰
脉冲成形	数字基带系统设计
信道估计与均衡	数字基带系统设计

2.2 教学过程

教学过程分为三个步骤:(1)基于软件的系统仿真;(2)真实环境下的调试与性能验证;(3)验收汇报。

(1) 基于软件的系统仿真

将学生分组后,把相应的仿真系统和设计指导书提供给学生,让学生首先对自己要完成的系统有

大致的了解。此时所有的 Matlab 脚本函数都是加密的,对学生来说是透明的,学生不知道函数具体是如何编写的。在明确了自己的任务和要求之后,学生查找文献或相关协议,理解并完成自己所负责的功能函数的编写,将自己编写的函数代替原加密文件后,进行调试,利用 Matlab 断点测试查找问题并进行验证。

实验过程中需要学生之间通力协作,除了验证自己所负责的函数的正确性以外,位于发送端和接收端的相对模块的学生,比如负责调制和解调的两位学生,还需要讨论并设定好映射关系,以保持两边的功能函数对信号处理的一致性,而负责前后关联的函数的两位学生,则要做好接口参数的衔接。待所有功能模块验证完成后,小组内成员需要联调,确保在仿真环境下,整个系统可以正常运行。

明确的设计任务,充分调动了学生相互鼓励、共同完成目标的积极性。很多学生跳出课本的束缚,去查找参考资料和相关文献,给出同一问题不同的解决方案。比如对于调制解调模块,在充分调研的前提下,有的学生选择自己编写代码实现,有的学生选择通过学习 Matlab 自带 qamMOD 函数来实现。负责完成维特比(Viterbi)译码的学生对于所用 vitdec 函数的参数,如网格图、回溯深度、软硬判决等概念有了深入地学习和讨论,较好地完成了对 Viterbi 译码原理的理解和应用。

(2) 真实环境下的调试与性能验证

仿真系统的调试成功后,需要完成硬件连接与地址设置,将运行方式调整为“真实系统”,学生可以改变界面上的任意参数设置,如发射接收频率、增益和衰减,调整物理天线的角度,观察真实环境下输出信号变化,以及参数变化对于信号星座图和误码率的性能的影响,如图 5 所示。

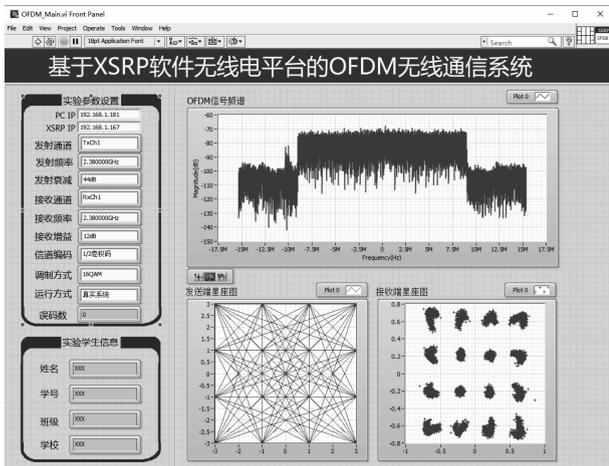


图 5 真实系统条件下 OFDM 系统调试界面

在这个步骤中,学生表现出了极大的兴趣。比如做语音信号传输的学生,会选择不同类型的音频,感受各种传输条件下信号接收质量的变化,并进行深度思考,推理因果关系的正向和反向。

(3) 考核方式

实验课程的考核评价方式,对于学生的课程参与积极性有着重要影响。基于软件无线电实验平台的系统设计,给学生提供了一个去尝试、失败、通过反馈信息再尝试的自我探索的机会。为了更好地了解不同学生的学习状态和学习质量,验收考核采用学生以小组为单位向教师汇报设计成果的方式。

学生汇报了他们在实验过程中,解决问题的步骤、推理方式、学习方法和学习心得。师生之间进行深入地交流和讨论。因为每个学生都参与了系统中的部分工作,针对各自的工作,教师提出问题,来了解学生对知识点认识的深度,对于不同层次(参与度和完成度不同)的学生,给出相应的评价。

3 结语

2020-2021 学年第一学期,实验中心完成了通信与信息工程学院将近 1000 名学生的通信原理实验课程的教学。压缩了通信原理理论课时,增加了通信原理实验课时。改革后的通信原理实验课受到了学生的一致好评,不仅使学生更清晰地认识到通信原理学科研究的对象,和对专业问题应具备的思考方式,而且提升了学生的以下能力:

①能够通过文献研究对工程问题的解决方案和实现途径进行可行性论证,并得出有效结论;

②针对通信领域的复杂工程问题,能够综合运用理论和技术手段完成方案设计;

③能够根据实验结果,合理分析与解释数据;

④能够理解团队目标及各成员的角色与责任,使成员具备团队协作意识;

⑤提升了对科研具体问题的语言描述和表达能力。

下一步我们将考虑对实验内容进行进一步扩展,增加学生对课题的可选择性。比如在信号源部

分增加对图像信号的处理,即图像信号的编码和译码。另外,紧跟技术的发展,将 5G 系统的关键技术也纳入学习的内容,拓宽学生的知识面。

对于工科教育来说,实验课程肩负着夯实学生基础,激发学生的好奇心、主动性及创造性的重要使命,依靠软件无线电平台设计出的使学生有强烈参与感和成就感、有层次的实验内容和实验方式,并能提高实验课程的教学质量,是我们需要继续思考和探索的问题。

参考文献

- [1] 王奇,范山岗,戴海鸿,等. 面向工程能力培养的电子信息类专业实践教学改革[J]. 实验科学与技术, 2020. 12.
- [2] 高翔.“新工科”背景下通信类课程实验实践教学体系研究[J]. 教育教学论, 2020. 11.
- [3] 傅志中,李晓峰,曹永盛,等. 通信原理实验教学改革与探索[J]. 实验室研究与探索, 2020. 5.
- [4] 杨宇红,袁焱,田砾,等. 基于软件无线电平台的通信实验教学. 实验室研究与探索[J], 2015. 4.
- [5] Alexander M. Wyglinski, Don P. Orofino, Matthew N. Ettus, and Thomas W. Rondeau. Revolutionizing Software Defined Radio: Case Studies in Hardware, Software and Education [J]. IEEE Communications Magazine 54 (1): 68—75, January 2016.
- [6] Victor P. Gil Jimenez, Alejandro Lancho Serrano, Borja Genoves Guzman, and Ana Garcia Armada. Learning Mobile communications standards through Flexible Software Defined Radio Base Stations[J]. IEEE Communications Magazine 55(5): 116—123, May 2017.
- [7] 李学华,王亚飞,杨尚文,等. 以工程教育认证为导向的“无线通信综合实践”课程方案设计[J]. 实验技术与管理, 2020. 4.
- [8] 王鹏,王磊,王晓亮,等. 通信原理课程模拟通信系统虚拟仿真平台的设计与开发[J]. 实验室科学, 2020. 10.
- [9] Raquel G. Machado, Alexander M. Wyglinski. Software-Defined Radio: Bridging the Analog-Digital Divide [J]. Proceedings of the IEEE 103(3): 409—423, March 2015.
- [10] 3 GPP TS 36. 212, v9. 2. 0(2010-06).
- [11] Rudolf Tanner, Jason Woodard. WCDMA 原理与开发设计[M]. 北京:机械工业出版社, 2007. 6.