



电子信息类人才培养课程体系建设方案

培养多样化、创新型卓越工程科技人才

目 录

1	背景与建设目标	1
2	课程体系建设方案综述	2
3	课程方案介绍	5
3.1	电路原理课程	5
3.2	模拟电子线路课程	6
3.3	数字电路与逻辑设计课程	7
3.4	信号与系统课程	9
3.5	自动控制原理课程	10
3.6	天线原理与微波技术课程	11
3.7	通信原理课程	12
3.8	数字通信课程	14
3.9	移动通信课程	15
3.10	光纤通信技术课程	16
3.11	通信创新实验课程	17
4	关于 NI	19
5	关于曾益科技	20
6	附录	21
6.1	NI ELVIS 平台	21
6.2	NI USRP 平台	23
6.3	NI USRP-RIO 平台	25
6.4	NI LabVIEW 平台	27

1 背景与建设目标

工程教育在我国高等教育中占有重要地位，高素质工程科技人才是支撑产业转型升级、实施国家重大发展战略的重要保障。当前，世界范围内新一轮科技革命和产业变革加速进行，以新技术、新业态、新产业、新模式为特点的新经济蓬勃发展，迫切需要培养造就一大批多样化、创新型卓越工程科技人才。要求高校要主动服务国家战略需求，主动服务行业企业需要，加快建设发展新工科，打造“卓越工程师教育培养计划”的升级版，探索形成中国特色、世界水平的工程教育体系，促进我国从工程教育大国走向工程教育强国。

2017年2月和4月，教育部在复旦大学和天津大学分别召开了综合性高校和工科优势高校的新工科建设研讨会，形成了新工科建设的“复旦共识”和“天大行动”，得到社会广泛关注。2017年6月，教育部办公厅向社会各界发布了《新工科研究与实践项目指南》（教高厅函[2017]33号）（以下简称“指南”）。

“指南”中充分强调企业在新工科建设过程中的中重要作用，要求有关单位要充分认识到当前工程教育改革创新迫切性，积极组织新工科研讨，统筹推进本单位新工科建设改革工作，鼓励高校、企业、专业类教学指导委员会和行业协（学）会以不同形式联合开展新工科研究与实践。要求重视企业力量，寻找积极性高的企业参与新工科建设，开展校企合作，打造共商、共建、共享的工程教育共同体，深入推进产学合作、产教融合、科教协同，通过校企联合制定培养目标和培养方案、共同建设课程与开发教程、共建实验室和实训实习基地、合作培养培训师资等，鼓励行业企业参与到教育教学各个环节中，促进人才培养与产业需求紧密结合。

在新工科建设的背景下，本建设方案由NI和院校合作伙伴曾益科技联合共同提出，旨在从行业应用出发，针对电子信息类人才培养，为高校提供电子信息类新工科建设思路 and 对应完整的课程体系建设方案。

2 课程体系建设方案综述

近 40 年来，NI 一直致力为全球工程师和科学家提供功能强大且灵活多样的系统平台，在提高生产效率的同时驱动创新，从而帮助他们克服、解决全球最严峻的工程界挑战。这些行业应用包括 5G、半导体、电子产品、能源、汽车、工业机械、国防和航空航天和重型机械等。由此，基于 NI 对几乎每个行业正在发生的技术进步的深入理解，我们从这些行业应用出发梳理出了相关工程科技人才所需的技术技能和基础知识。其中核心的技术技能包括高级控制技术、无线通信技术、测试测量技术和嵌入式系统设计；由此再进一步找到核心的基础知识包括工程导论、控制理论、电路、信号处理以及传感器与执行器等。

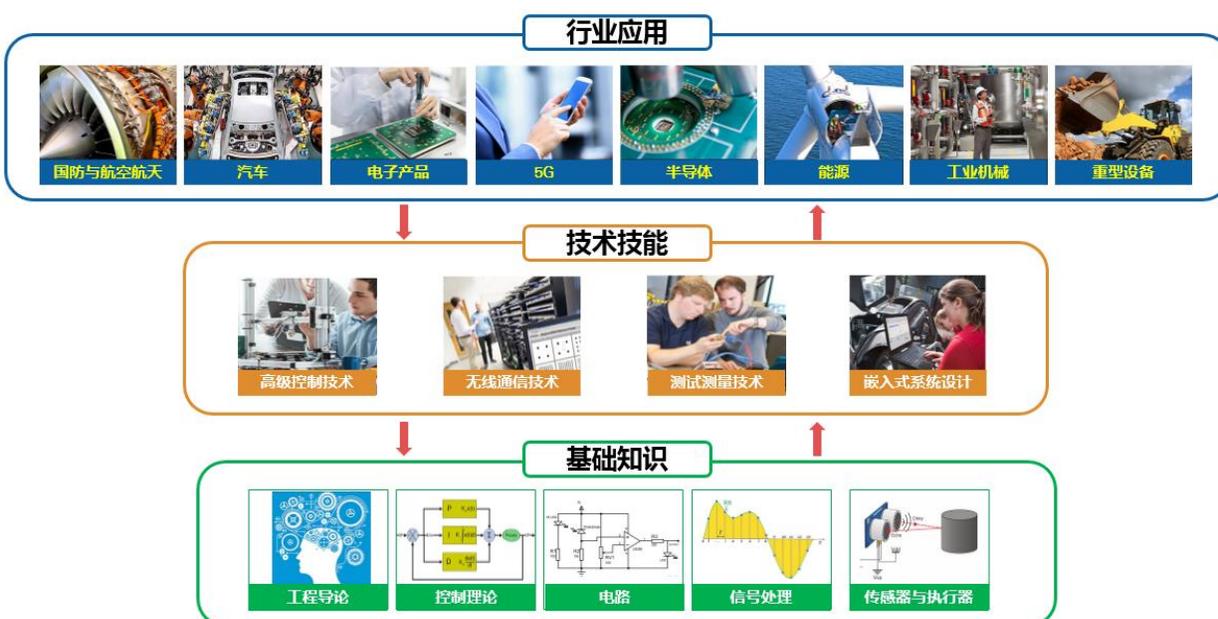


图 1 从行业应用出发梳理工程科技人才所需的技术技能及基础知识

进一步，面向电子信息类专业，针对这些从行业应用出发梳理出来的技术技能和基础知识，结合 NI 工程教育软硬件平台，NI 和曾益科技共同提出了针对电子信息类工程科技人才培养的整体课程体系建设方案。整个电子信息类课程体系分为基础理论类、专业理论及技术类、新兴技术工具类和创新类课程，涵盖电子信息类工程科技人才所需掌握的核心基础知识和技术技能。

表 1 针对电子信息类工程科技人才培养的整体课程体系建设方案

基础理论类课程	电路分析 模拟电子线路 数字电路与逻辑分析 信号与系统 数字信号处理 自动控制原理 天线技术
专业理论及技术类课程	通信原理 数字通信原理 移动通信 卫星通信 光纤通信原理与技术
新兴技术工具类课程	虚拟仪器与LabVIEW 软件无线电
创新类课程	通信创新实验

在整体课程体系建设方案中，NI 和曾益科技共同开发和完善了电子信息类工程科技人才培养整体课程体系建设方案中的课程，针对每一门课程均可提供软硬件支撑平台、实验配套外围硬件、中文实验指导书、配套实验程序和开课培训。



仪器设备

- ✓ NI工业应用仪器设备平台
- ✓ LabVIEW图形化系统开发平台
- ✓ 成熟可靠、应用广泛的虚拟仪器技术

实验套件

- ✓ 实际硬件实验对象
- ✓ 考虑教学需求的实验设计
- ✓ 基于问题导向的实验设计

配套课件

- ✓ 完整、可编辑的实验课件
- ✓ 工业结合的课程大纲
- ✓ 丰富、可支撑完整学期的内容

开课培训

- ✓ 标准的设备使用培训
- ✓ 专业的课程实验培训

图 2 NI 和曾益科技提供的完整课程解决方案

表2 课程解决方案情况汇总

课程类别			硬件平台	软件平台	实验配套外围硬件	中文实验指导书	配套实验程序	开课培训
学科大类基础	电路与电子学类	电路原理	NI ELVIS + Next-电路	Nextpad + LabVIEW	-	●	●	●
		模拟电子线路	NI ELVIS + Next-模电	Nextpad + LabVIEW	-	●	●	●
		数字电路与逻辑设计	NI ELVIS + Next-数电	Nextpad + LabVIEW	-	●	●	●
	信号与系统类	信号与系统	NI ELVIS + Emona SIGEx	LabVIEW	-	●	●	●
		数字信号处理	NI ELVIS	LabVIEW	●	●	●	●
		自动控制原理	NI ELVIS + Next-控制	Nextpad + LabVIEW	-	●	●	●
	工程电磁场类	天线原理与微波技术	NI USRP	LabVIEW	●	●	●	●
专业理论及技术	通信理论类	通信原理	NI USRP	LabVIEW	-	●	●	●
		数字通信原理	NI USRP	LabVIEW	-	●	●	●
	通信技术类	移动通信	NI USRP-RIO	LabVIEW + LTE AFW	-	●	●	●
		卫星通信	NI USRP	LabVIEW	-	●	●	●
	光电子技术类	光纤通信技术	NI ELVIS + Emona FOTEx	LabVIEW	-	●	●	●
新兴技术工具类	虚拟仪器与LabVIEW	-	LabVIEW	-	●	●	●	
	软件无线电	NI USRP	LabVIEW	-	●	●	●	
创新类	通信创新实验	NI USRP	LabVIEW	●	●	●	●	

3 课程方案介绍

在本部分中，针对整体课程体系中的课程，从课程方案、课程特色、实验列表及课程所需软硬件等方面进行逐一介绍。

3.1 电路原理课程

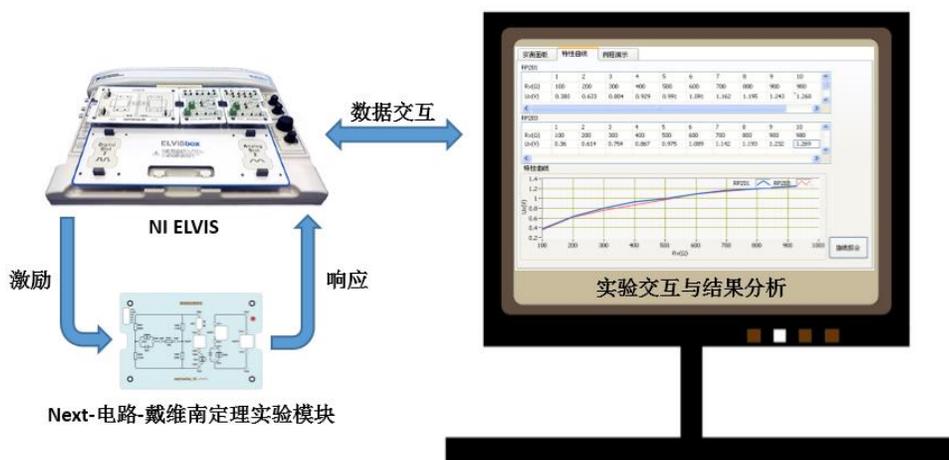


图3 电路原理课程实验平台

■ 课程方案简介

针对电路原理课程，基于 NI ELVIS 虚拟仪器平台和 Next 系列电路原理套件，提供与课程配套的电路原理实验解决方案。

■ 课程方案特色

- ✓ 包含 6 个电路原理典型实验；
- ✓ 模块化的实验构建方式，支持模块扩展；
- ✓ 基于 NI 虚拟仪器平台，支持 LabVIEW 二次开发实验；
- ✓ 提供 Next 电路模块完整实验指导书及配套实验程序。

■ 课程实验列表

实验列表
基尔霍夫定理实验
戴维南定理实验
元件阻抗特性实验

RC 一阶二阶电路实验
RLC 串联谐振实验
RC 选频网络实验

■ 课程方案所需软硬件

- ✓ NI ELVIS
- ✓ Next-电路模块
- ✓ 实验附件（线缆等）
- ✓ LabVIEW 软件

3.2 模拟电子线路课程

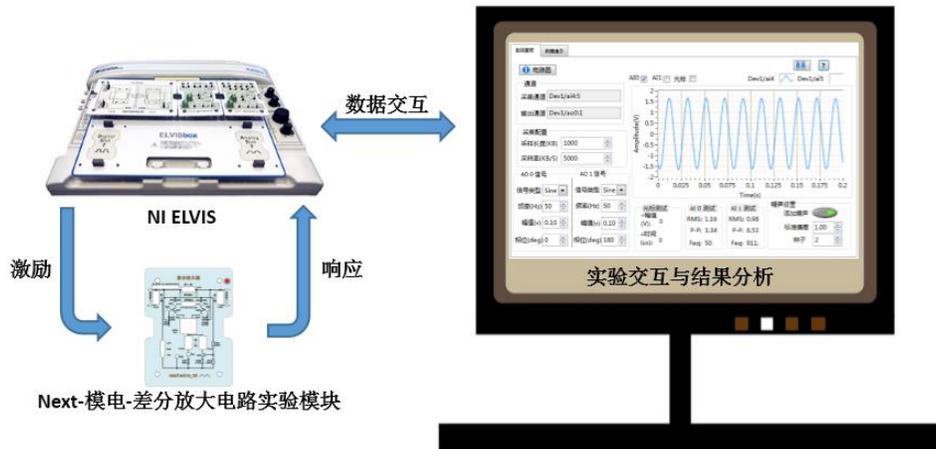


图 4 模拟电子线路课程实验平台

■ 课程方案简介

针对模拟电子线路课程，基于 NI ELVIS 虚拟仪器平台和 Next 系列模拟电子线路套件，提供与课程配套的模拟电子线路实验解决方案。

■ 课程方案特色

- ✓ 包含 6 个模拟电子线路典型实验；
- ✓ 模块化的实验构建方式，支持模块扩展；
- ✓ 基于 NI 虚拟仪器平台，支持 LabVIEW 二次开发实验；

✓ 提供 Next 模电模块完整实验指导书及配套实验程序。

■ 课程实验列表

实验列表
晶体管单管共射极放大电路实验
差分放大电路实验
基本运算电路实验
文式电桥振荡电路实验
方波发生器实验
方波转三角波实验

■ 课程方案所需软硬件

- ✓ NI ELVIS
- ✓ Next-模电模块
- ✓ 实验附件（线缆等）
- ✓ LabVIEW 软件

3.3 数字电路与逻辑设计课程

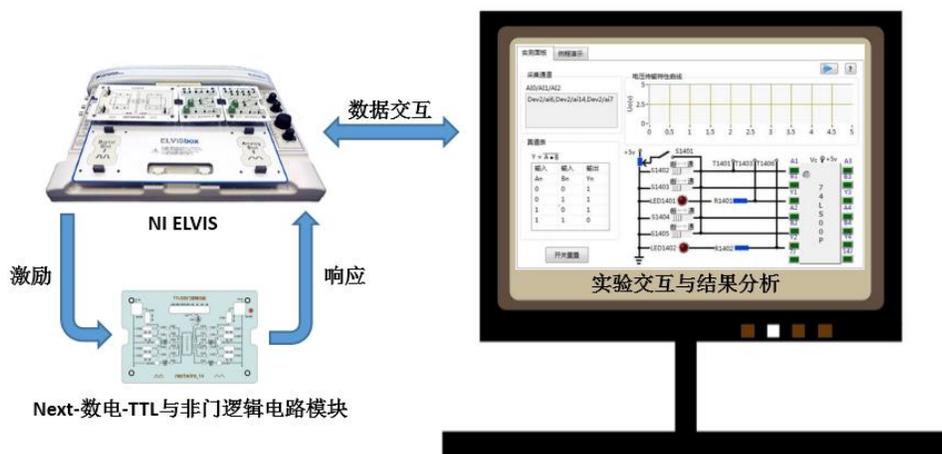


图 5 数字电路与逻辑设计课程实验平台

■ 课程方案简介

针对数字电路与逻辑设计课程，基于 NI ELVIS 虚拟仪器平台和 Next 系列数字电路与逻辑设计套件，提供与课程配套的数字电路与逻辑设计实验解决方案。

■ 课程方案特色

- ✓ 包含 7 个数字电路与逻辑设计典型实验；
- ✓ 模块化的实验构建方式，支持模块扩展；
- ✓ 基于 NI 虚拟仪器平台，支持 LabVIEW 二次开发实验；
- ✓ 提供 Next 数电模块完整实验指导书及配套实验程序。

■ 课程实验列表

实验列表
TTL 与非门逻辑电路实验
基本 RS 触发器实验
D 触发器实验
JK 触发器实验
组合逻辑电路实验
十进制计数译码器实验
交通灯实验

■ 课程方案所需软硬件

- ✓ NI ELVIS
- ✓ Next-数电模块
- ✓ 实验附件（线缆等）
- ✓ LabVIEW 软件

3.4 信号与系统课程



图 6 信号与系统课程实验平台

■ 课程方案简介

针对信号与系统课程，基于 NI ELVIS 虚拟仪器平台和信号与系统实验套件，提供与课程配套的信号与系统实验解决方案。

■ 课程方案特色

- ✓ 包含 16 个信号与系统典型实验；
- ✓ 基于 NI 虚拟仪器平台，支持 LabVIEW 二次开发；
- ✓ 提供 SIGEx 完整实验指导书及配套实验程序。

■ 课程实验列表

实验列表	
信号特性及其应用	RC 网络的时域分析
线性与非线性系统	拉普拉斯域零极点
解卷积	采样与混叠
卷积、相关性和匹配滤波器	模数转换
复数与指数	FIR 系统的离散时间滤波器
傅里叶技术分析	Z 平面零极点
时变信号的谱分析	离散时间滤波器的实际应用

- 课程方案所需软硬件
 - ✓ NI ELVIS
 - ✓ Emona SIGEx
 - ✓ LabVIEW 软件

3.5 自动控制原理课程

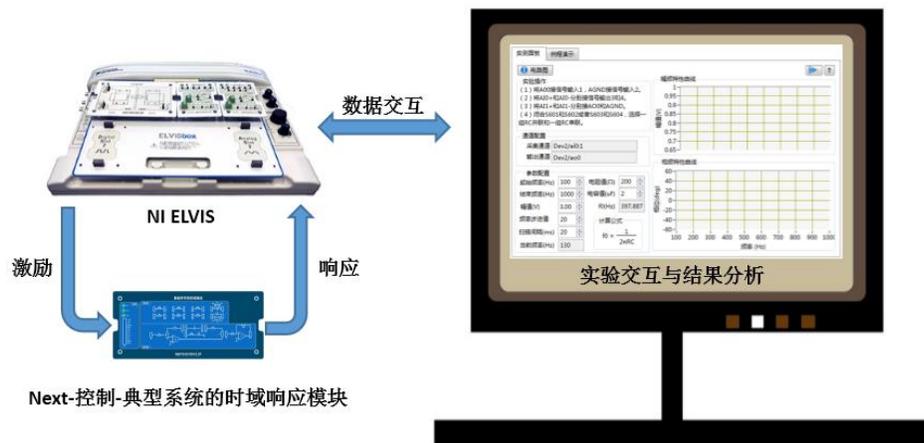


图 7 自动控制原理课程实验平台

■ 课程方案简介

针对自动控制原理课程，基于 NI ELVIS 虚拟仪器平台和 Next 系列控制套件，提供与课程配套的自动控制原理实验解决方案。

■ 课程方案特色

- ✓ 包含 8 个数字电路与逻辑设计典型实验；
- ✓ 模块化的实验构建方式，支持模块扩展；
- ✓ 基于 NI 虚拟仪器平台，支持 LabVIEW 二次开发；
- ✓ 提供 Next-控制完整实验指导书及配套实验程序。

■ 课程实验列表

实验列表
典型环节的时域响应实验
典型系统的时域响应和稳定性分析实验
线性系统的根轨迹分析实验
线性系统的频域响应分析实验
线性系统的校正实验
离散系统的稳定性分析实验
线性系统的状态空间分析实验
典型非线性环节静态特性测试实验

■ 课程方案所需软硬件

- ✓ NI ELVIS
- ✓ Next-控制模块
- ✓ 实验附件（线缆等）
- ✓ LabVIEW 软件

3.6 天线原理与微波技术课程

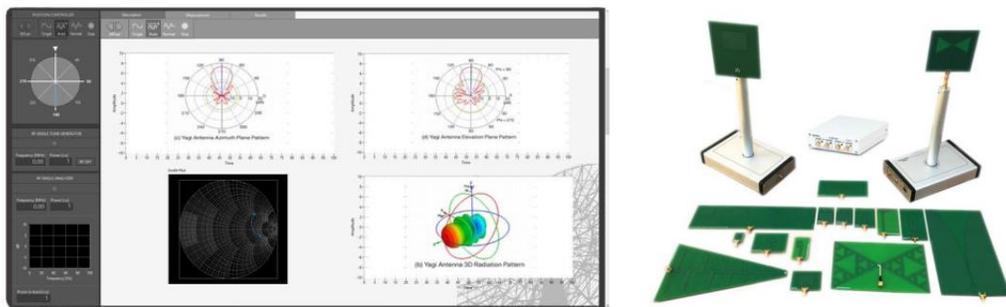


图 8 天线原理与微波技术课程实验平台

■ 课程方案简介

针对天线原理与微波技术课程，基于 NI USRP 软件无线电平台和天线原理与微波技术实验套件，提供与课程配套的天线原理与微波技术实验解决方案。

■ 课程方案特色

- ✓ 包含 15 个天线原理与微波典型实验；
- ✓ 基于 NI USRP 和 LabVIEW 构建真实的无线通信系统；
- ✓ 提供由曾益科技开发的完整实验指导书及配套实验程序。

■ 课程实验列表

实验列表	
套简单极天线	方向响应
梯形单极天线	增益
G,L,T 单极天线	电压驻波比
双频单极天线	反射系数
印制折合偶极天线	天线输入阻抗
对数周期天线	HPBW
碟形天线	FNBW
微带天线	-

■ 课程方案所需软硬件

- ✓ NI USRP
- ✓ 天线原理与微波技术实验套件
- ✓ LabVIEW 软件

3.7 通信原理课程



图 9 通信原理课程实验平台

■ 课程方案简介

针对通信原理课程，基于 NI USRP 软件无线电平台和 NI LabVIEW，提供与课程配套的通信原理实验解决方案。

■ 课程方案特色

- ✓ 包含 15 个通信原理典型实验；
- ✓ 基于 LabVIEW 把抽象的理论公式具象化；
- ✓ 基于 USRP 搭建真实的通信系统；
- ✓ 让学生对通信系统形成系统级的概念；
- ✓ 提供由曾益科技开发的完整实验指导书及配套实验程序。

■ 课程实验列表

实验列表	
白噪声	频偏校正
幅度调制	卷积编码
频率调制	分集
哈夫曼编码	信道均衡
相移键控	直序扩频
分组编码	正交频分复用
码元同步	多输入多输出
帧同步	教师定制实验

■ 课程方案所需软硬件

- ✓ NI USRP
- ✓ 实验附件（天线等）
- ✓ LabVIEW 软件

3.8 数字通信课程



图 10 数字通信课程实验平台

■ 课程方案简介

针对数字通信课程，基于 NI USRP 软件无线电平台和 NI LabVIEW 软件，提供与课程配套的数字通信实验解决方案。

■ 课程方案特色

- ✓ 包含 7 个循序渐进的数字通信实验；
- ✓ 基于 NI USRP 和 LabVIEW 构建真实的无线通信系统；
- ✓ 提供由 UT Austin 编写的完整实验指导书（中文版）及配套实验程序。

■ 课程实验列表

实验列表
基带 QAM 实验
同步实验
信道估计与均衡实验
帧检测和频率偏移修正实验
OFDM 调制和频域均衡实验
OFDM 系统中基于 schmidl 和 Cox 算法的同步实验
OFDM 系统中的信道编码实验

■ 课程方案所需软硬件

- ✓ NI USRP
- ✓ 实验附件（天线等）

✓ LabVIEW 软件

3.9 移动通信课程



图 11 移动通信课程实验平台

■ 课程方案简介

针对移动通信课程，基于 NI USRP-RIO 软件无线电平台和 NI LabVIEW Communications 软件，以 LTE 通信系统为背景，提供与课程配套的移动通信实验解决方案。

■ 课程方案特色

- ✓ 包含 11 个 LTE 相关的移动通信实验和 2 个前沿技术实验；
- ✓ 基于 NI USRP-RIO 和 LabVIEW 构建真实的无线通信系统；
- ✓ 提供由曾益科技开发的完整实验指导书及配套实验程序。

■ 课程实验列表

实验列表	
LTE 物理层架构	信道类型
	帧结构
	资源格
	参考信号
	共享信道
	控制信道
	同步
	信道估计与均衡

	信道编解码
	LTE 关键技术 – OFDM
	LTE 关键技术 - MIMO
	未来移动通信新技术 – Massive MIMO
	未来移动通信新技术 – 新波形

- 课程方案所需软硬件
 - ✓ NI USRP-RIO
 - ✓ 移动通信实验套件
 - ✓ LabVIEW Communications 软件
 - ✓ LTE 应用程序框架软件

3.10 光纤通信技术课程

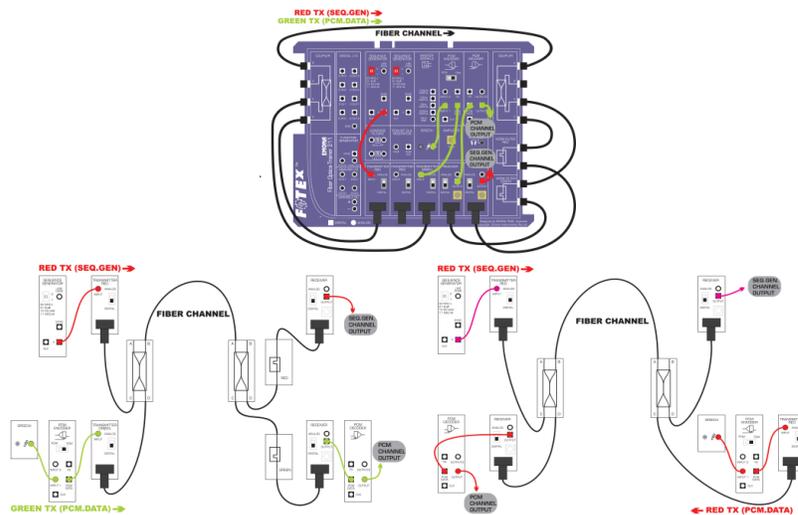


图 12 光纤通信课程实验平台

■ 课程方案简介

针对光纤通信技术课程，基于 NI ELVIS 虚拟仪器平台和光纤通信技术实验套件，提供与课程配套的光纤通信技术实验解决方案。

■ 课程方案特色

- ✓ 包含 11 个光纤通信技术典型实验；

- ✓ 基于 NI 虚拟仪器平台，支持 LabVIEW 二次开发；
- ✓ 提供 FOTEx 完整实验指导书及配套实验程序。

■ 课程实验列表

实验列表	
PCM 编码	PCM-TDM 的实现
PCM 译码	光学信号滤波、分离和结合
采样和奈奎斯特定理	光纤双向通信
时分复用	波分复用
线性编码和时钟生成	光学损耗
光纤传输	-

■ 课程方案所需软硬件

- ✓ NI ELVIS
- ✓ Emona SIGEx
- ✓ LabVIEW 软件

3.11 通信创新实验课程



图 13 通信创新实验课程实验平台及实例

■ 课程方案简介

针对通信创新实验课程，基于 NI USRP 软件无线电平台和 NI LabVIEW 软件，提供基于项目的通信创新实验解决方案。

■ 课程方案特色

- ✓ 包含 7 个循序渐进的通信创新项目实验；
- ✓ 基于 NI USRP 和 LabVIEW 构建真实的无线通信系统；
- ✓ 提供由曾益科技开发的完整实验指导书及配套实验程序。

■ 课程实验列表

实验列表
FM 收音机实验
文本传输实验
图片传输实验
车钥匙信号解调实验
车钥匙模拟器实验
实时对讲机实验
海盗电台实验

■ 课程方案所需软硬件

- ✓ NI USRP
- ✓ 通信创新实验套件
- ✓ LabVIEW 软件

4 关于 NI

美国国家仪器公司（National Instruments）为高校教学及工程实践实验室建设提供富有创新性的解决方案，基于虚拟仪器创新实践平台可覆盖电子电路、信号处理、通信、无线通信、测试测量、自动控制、物理、生物医学等多门专业课程的创新实验需求。NI 实验平台支持教师根据教学实验具体需求开发相应的实验内容，同时也适合学生进行各种设计型实验或开展基于项目的学生科技创新活动，提高学生的综合设计和创新能力。NI 平台专业的技术支持团队可为高校教师提供完善的技术支持服务，同时 NI 高校市场部已和国内知名高校合作针对许多课程开发了完善的教学和实验内容资源，从而使教师使用 NI 平台开展教学工作更加便利。

美国国家仪器有限公司（National Instruments，简称 NI）是世界著名的设计和生产数据采集和虚拟仪器系统的专业厂家，致力于为测试测量、自动化、通信、嵌入式应用等领域的工程师和科学家们带来革命性的理念，从“虚拟仪器技术”提升到“图形化系统设计”，帮助他们实现更高效和优化的设计、原型到发布。NI 为遍布全球各地的 30000 家不同的客户提供现成即用的软件（如 NI LabVIEW 图形化开发平台），和高性价比的模块化硬件。NI 总部设在美国德克萨斯州的奥斯汀，在近 40 个国家和地区设有分支机构。在过去连续 15 年里，NI 被《财富》杂志评选为“全美最适合工作的 100 家公司之一”。

概览

NI总部: Austin, Texas, US

成立年份: 1976

全球运营: 办事处遍及40余个国家和地区

用户分布广泛: 全球有超过25,000家不同的公司使用NI软硬件产品

研发投入: 年收益的16%重新投入研发

每年开发的新产品: 208款, 几乎每个工作日一款

5 关于曾益科技

北京曾益科技有限公司成立于2015年，是一家专业从事测试测量仪器研发服务，为用户提供定制和半定制测试仪器系统的高新技术企业。公司采用国际先进的测试测量产品和技术，结合自身在数字信号处理和射频领域的专业优势，向客户提供高质量的设计、研发服务。曾益科技是美国国家仪器(National Instruments)公司的系统合作伙伴。曾益科技的工程师团队具有多年自动化测试测量系统的开发经验，多位NI认证的LabVIEW开发工程师、TestStand开发工程师。

面向新工科的课程体系改革，教学创新及应用型人才培养的综合解决方案



电子信息类





测试测量类





培训和服务



6 附录

6.1 NI ELVIS 平台

该平台主要基于 NI ELVIS 数据采集硬件平台，推荐作为实验室的基础教学平台进行多套配置，满足 30-40 名学生同时进行实验的需要。NI ELVIS 集成 8 路差分输入（或 16 路单端输入）模拟数据采集通道（最高采样率 1.25MS/s）、24 路数字 I/O 通道，以及 12 款最为常用的仪器（包括 100MS/s 示波器、数字万用表、函数发生器等）。NI ELVIS 可通过 USB 连接 PC，连接简单，便于调试；具有很好的健壮性，降低实验室资产损耗。

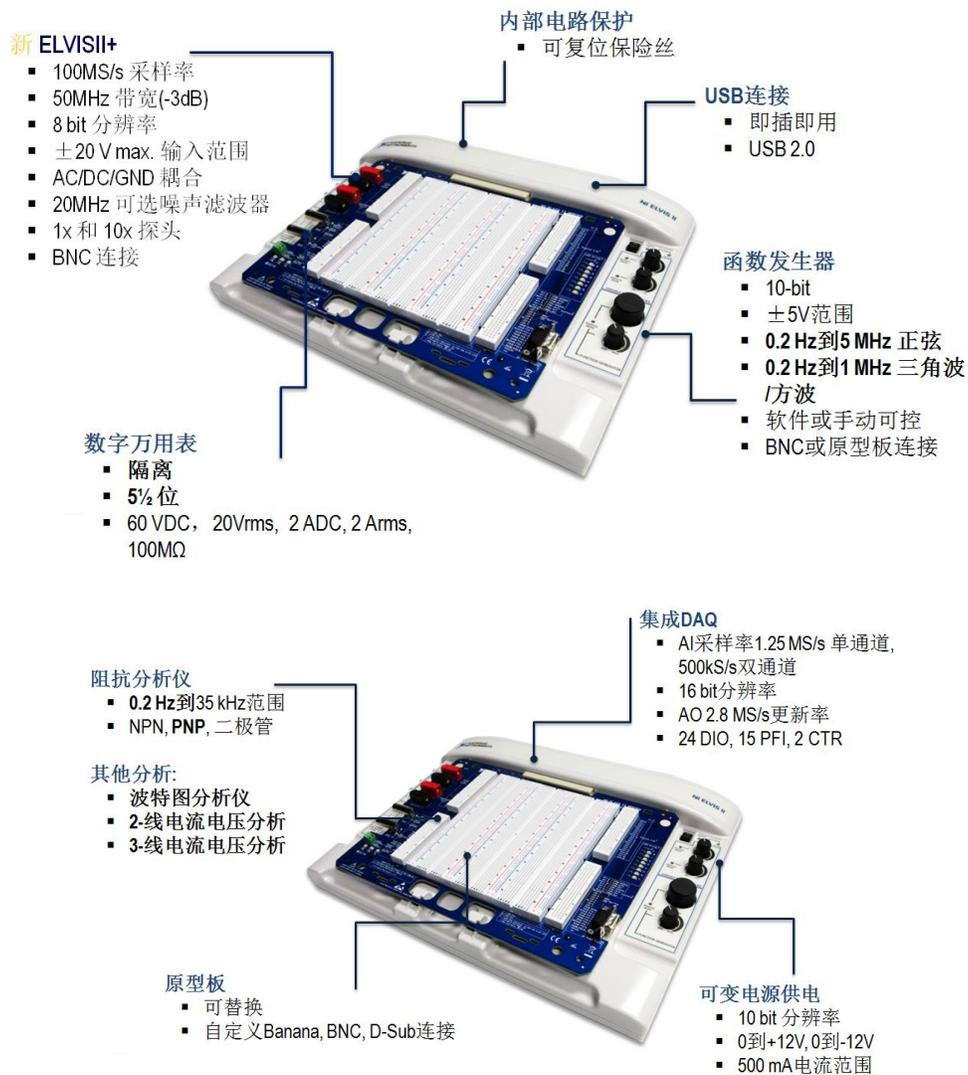


图 15 NI ELVIS II+ 所提供的仪器功能

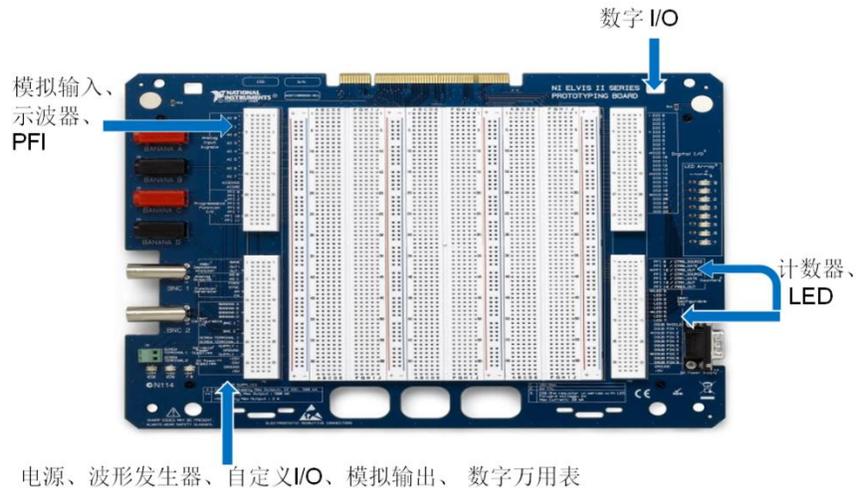


图 16 NI ELVIS 上自带的原型面包板所提供的各种 I/O 接口

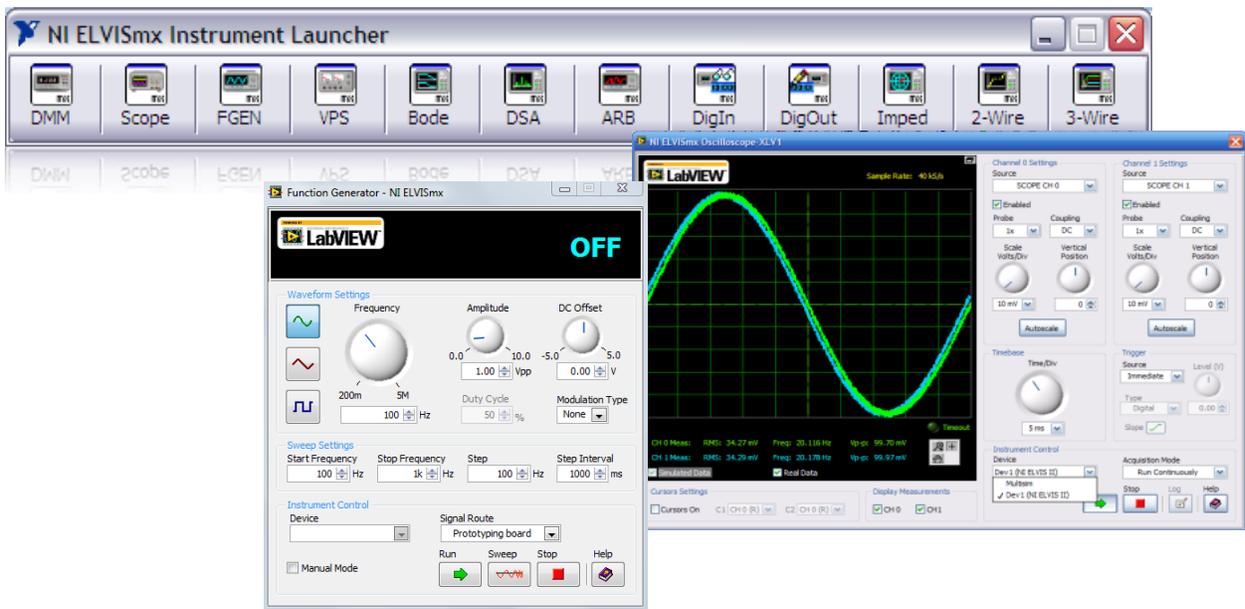


图 17 NI ELVIS 自带的 12 种仪器均提供直观易用的软面板, 无需编程即可使用

- ✓ 学生可基于标准配置中的面包板搭建各种数字与模拟电路，并用平台中已经集成的仪器及软面板进行测试验证
- ✓ 结合 NI Multisim 软件可以进行电路仿真，并通过软件快速比对仿真结果和实际搭建电路的测试结果
- ✓ 支持连接多种传感器及执行机构
- ✓ 也可选择第三方提供的现成电路板实现各种针对不同专业课程的实验，例如电工学、模电、数电、信号与系统、光纤通信原理、传感器的信号调理、生物医学工程、电机控制、嵌入式设计等
- ✓ 教师也可自行开发实验电路板
- ✓ 提供现成软面板软件实现不同的仪器功能，教师或学生也可以通过 LabVIEW 编程实现自定义的数据处理、显示、存储等功能，或开发针对专业课程实验的软件程序。
- ✓ 通过 LabVIEW 网络应用可开发远程教学实验，进一步提高实验室使用效率
- ✓ NI ELVIS 是一个多学科实验平台，结合 NI LabVIEW 以及不同的插板可完成电子电路、控制、通信、信号处理、嵌入式设计等学科实验，可以使实验室投入发挥最大效益；同时基于 NI ELVIS 的硬件资源和 LabVIEW 软件的强大功能，在课程设计等教学环节中结合不同学科背景，可以使学生融会贯通，也符合当今宽口径人才培养的教学改革思路。



6.2 NI USRP 平台

NI USRP 是一个通用的软件无线电教学平台，通过普通 USB 或以太网线连接 PC，结合 LabVIEW 软件即可实现自定义的编码解码、调制解调、上下变频、脉冲成型等功能，适用于通信原理、数字通信等一系列信息专业的课程实验，同时也可以基于 USRP 开展一定

的学生创新项目和研究工作，包括建立无线通信系统原型、进行算法验证实验等。NI USRP 以相对较低的成本为通信专业的师生提供了一个灵活的软件无线电学习与验证平台，通过从仿真向真实射频信号的过渡，既可提高学生的学习兴趣，也使学生对专业知识概念领会地更加深刻。

目前 NI USRP 分为两个系列：

USRP-290x 系列



图 18 NI USRP-290x 系列

- ✓ 有两种型号可选，区别在于收发通道的数量。USRP-2900 是一个一发一收的系统，USRP-2901 是一个两发两收的系统；
- ✓ 支持 USB-3.0 总线进行供电和数据传输
- ✓ 频率范围：70MHz - 6GHz
- ✓ 最大实时带宽：56MHz

USRP-292x/3x 系列



图 19 NI USRP-292x/3x 系列

- ✓ 多种频段、带宽及时钟精度可选：

Model	Frequency	GPS-Disciplined	Freq. Accuracy (No GPS Antenna)	Freq. Accuracy (With GPS Antenna)
NI USRP-2920	50 MHz to 2.2 GHz	No	2.5 ppm	NA
NI USRP-2921	2.4 to 2.5 GHz and 4.9 to 5.9 GHz	No	2.5 ppm	NA
NI USRP-2922	400 MHz – 4.4 GHz	No	2.5 ppm	N/A
NI USRP-2930	50 MHz – 2.2 GHz	Yes	25 ppb	0.5 ppb
NI USRP-2932	400 MHz – 4.4 GHz	Yes	25 ppb	0.5 ppb

- ✓ USRP-293x 系列中配有 GPS 驯服时钟，可提高时钟精度并实现全球设备同步和定位；
- ✓ 通过以太网接口与上位机交互数据；
- ✓ 有专门为多设备级联开发的时钟同步总线。

6.3 NI USRP-RIO 平台

USRP-RIO 是一个高性能的通用软件无线电平台，搭载 NI LabVIEW RIO 架构，结合了开放式 LabVIEW 可程序化的 FPGA 架构，以及高性能的 2 x 2 多输入/多输出 (MIMO) RF 收发器，可接收或传输 10MHz - 6GHz 的信号。它通过 PCI Express x4 总线连接到系统控制器，为台式电脑或者 PXI Express 主机提供高达 800MB/s 的数据传输速度（或是通过

ExpressCard 为笔记本电脑提供 200MB/s 的速度)。这些特性使得 USRP-RIO 平台非常有利于快速制作高性能、多通道的实时无线通信系统原型。

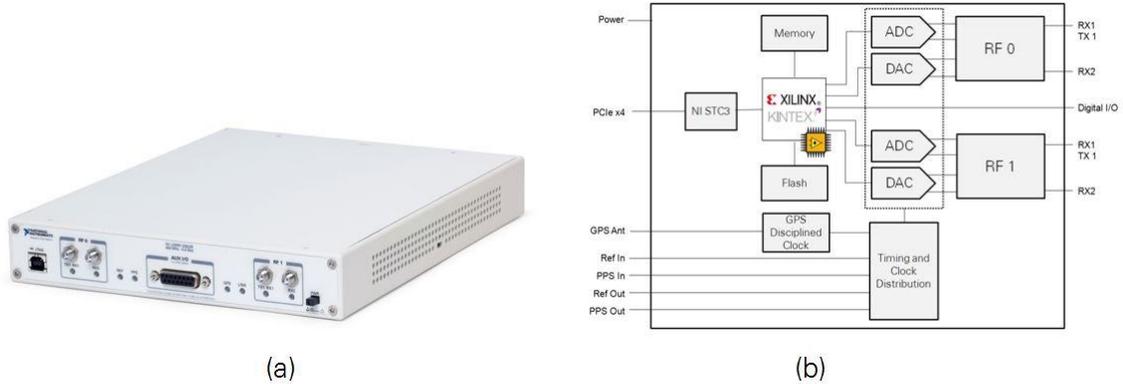


图 20 USRP RIO 硬件(A)以及系统框图(B)

✓ 多种频段、带宽及时钟精度可选：

Model	Frequency	Real-Time Bandwidth	Integrated GPS Receiver	Frequency Accuracy
USRP-2940R	50 MHz to 2.2 GHz	40 MHz or 120 MHz per Channel	—	2.5 ppm
USRP-2942R	400 MHz to 4.4 GHz	40 MHz or 120 MHz per Channel	—	2.5 ppm
USRP-2943R	1.2 GHz to 6 GHz	40 MHz or 120 MHz per Channel	—	2.5 ppm
USRP-2944R	10 MHz to 6 GHz	160 MHz per Channel	—	2.5 ppm
USRP-2950R	50 MHz to 2.2 GHz	40 MHz or 120 MHz per Channel	Included	25 ppb (unlocked)
USRP-2952R	400 MHz to 4.4 GHz	40 MHz or 120 MHz per Channel	Included	25 ppb (unlocked)
USRP-2953R	1.2 GHz to 6 GHz	40 MHz or 120 MHz per Channel	Included	25 ppb (unlocked)
USRP-2954R	10 MHz to 6 GHz	160 MHz per Channel	Included	25 ppb (unlocked)

- ✓ USRP-295xR 系列中配有 GPS 驯服时钟，可提高时钟精度并实现全球设备同步和定位；
- ✓ 通过 PCI Express 总线（800MB/s）或 ExpressCard（200MB/s）与上位机交互数据
- ✓ 支持 LabVIEW 自定义 FPGA
- ✓ 支持 LTE、802.11、Massive MIMO 应用程序框架

6.4 NI LabVIEW 平台

NI LabVIEW 所特有的图形化编程方式可以大大加速工程应用的开发效率。20 多年来，全球的工程师和科学家一直依靠 LabVIEW 满足他们特定的应用需求。由于应用各不相同，NI LabVIEW 图形化开发环境附带不同的可选模块，这让用户能够更轻松地实现专业应用。在实验室建设中，教师既可以利用 LabVIEW 为学生开发专业的实验程序和界面，学



生只需应用这些程序验证实验结果；或者亦可以让学生基于 LabVIEW 完成设计型实验（LabVIEW 本身就是很多高校工科专业学生学习的重要内容），使学生进一步加深对专业知识的理解，同时掌握 LabVIEW 这种在工业界所广泛采用的开发工具软件。为了能满足不断发展的通讯标准，LabVIEW 图形化设计软件具备多种工具，可针对标准与自定义的数字与模拟的调制格式，完成信号的生成、分析、显示与处理等。量身订做的软件与灵活的硬件，可满足多种测试任务的需求，包含 WLAN、GPS、WiMAX、MIMO、ZigBee、RFID。

- ✓ 简单易用的图形化开发环境
- ✓ 与各种硬件紧密集成（无缝支持对 USRP、PXI 科研平台等硬件的开发）
- ✓ 快速用户界面开发
- ✓ 内置超过 1000 种信号处理、分析和数学函数