

商洛学院课程思政案例库

课程名称： 数字信号处理

负 责 人： 张 娜

编著时间： 2023-2024 年

教务处印制

前言

一、课程概述

（一）课程简况

随着计算机和信息学科快速发展,《数字信号处理》得到了飞跃式的发展,现已形成一门重要的独立学科体系。该课程对信号进行变换、分析、综合、滤波等处理。其应用涉及语音、雷达、图像处理、系统控制、生物医学工程、遥感遥测、航空航天和自动化仪表等众多领域。

（二）学情分析

《数字信号处理》主要由数字信号在时域、频域的分析及滤波器的设计三大部分组成,通过学习要求学生掌握数字信号和系统的基本概念及基本分析方法,掌握数字滤波器的一般设计方法和步骤,能够解决所在专业相关的复杂工程问题。为进一步学习研究后续课程打下坚实的基础,在教学环节中起着承上启下的作用。

《数字信号处理》授课对象为电子信息科学与技术专业三年级的学生,已具有一定的专业基础、自学能力和独立思考能力等优势;但主体价值观渐弱、专业角度逻辑思维能力不强、团队协作能力较弱等劣势。

（三）教学目标

将**教学目标基于学情、起于课程、立足行业**,在教授基础知识的同时,融入科学认知意识、唯物辩证观及科学精神的培养,在教授学生运用数字信号处理方法解决实际问题时,融入学科竞赛、创新创业教育、建模意识等专业素养的培养,同时在教学中厚植家国情怀,培养学生正确的三观和科技报国的使命感。这样,将**知识、能力与价值目标相融合**,从**家国情怀、专业素养、品格素养**三个方面制定课程思政育人目标。

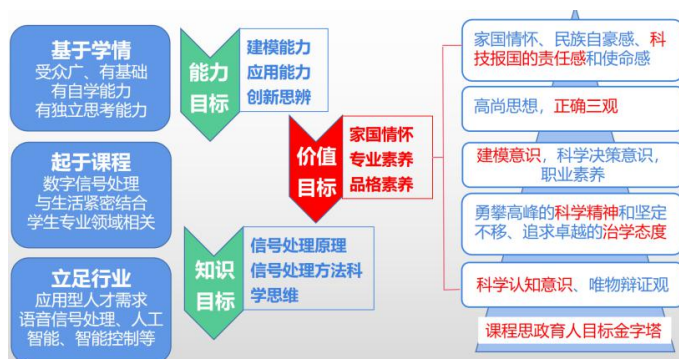


图1 《数字信号处理》课程思政教学目标

（四）课程团队



张娜 讲师



王园园 副教授



李亚文 副教授



何建强 副教授

张娜：负责课程建设，课件获校级二等奖，主持完成校级教改项目 4 项，获校级优秀毕业论文指导老师 4 人次等荣誉，指导学生学科竞赛获奖多项。

王园园：负责课程思政资源建设，获校级课程思政教学能手称号、校级优秀教师、校级优秀毕业论文指导老师 4 人次等荣誉，指导学生学科竞赛获奖多项。

李亚文：负责课程思政指导，获省级一流本科课程，课程思政示范课和教学团队，省级思政课教学能手称号，校级教育教学成果一等奖等荣誉，指导学生学科竞赛获奖多项。

何建强：负责创新创业教育建设，获青年教师电赛一等奖，电工学课程教学竞赛二等奖，商洛市技术能手称号，指导学生学科竞赛获奖多项。

二、痛点问题

以课程思政建设为引领、创新创业教育为抓手、学科竞赛促能力提升的数字信号处理课程改革，有效解决了地方本科院校在应用型人才培养方面存在的四个突出问题：

（一）学生对知识点的掌握不到位

我校被定位为地方应用型本科院校，该课程对数学功底要求较高，而大部分学生在此方面基础较薄弱、专业角度逻辑思维能力不强；学生对知识点的理解及应用掌握不到位，分析和解决问题的能力欠缺。

（二）教学方式传统

大多采用“老师讲解，学生被动接受”的传统教学模式，而传统教学只注重知识的传授，与实习实践等课程之间缺少关联，无法调动学生的积极性和主动性缺乏创造性，难以实现全程和全方位育人。

（三）考核评价方式单一

传统教学采用“一卷定结果”的单一终结性考核，未根据知识、能力和思政素

养“三位一体”制定考核评价目标，忽略形成性评价如线上课堂的考核，学生参与度较低。

（四）思政育人目的不足

传统教学中专业课程未能实现知识传授与思想政治教育的同向而行，未充分发挥专业课对学生人生观的引领作用。

三、创新理念及思路

根据课程思政育人目标，提出三入设计主线：科学认知意识、科学精神此为育人入脑，建模意识、专业素养此为育人入行，家国情怀责任担当此为育人入心。再围绕着学思建悟、知行合一两大主题设计五融合的教学闭环设计，使得课程思政有机融入教学全过程。



图 2 五融合的教学闭环设计

四、主要框架

1、总体设计

根据教学目标提出三入设计主线：科学认知意识、科学精神此为育人入脑，建模意识、专业素养此为育人入行，家国情怀责任担当此为育人入心。围绕着学思建悟、知行合一两大主题设计五融合的教学闭环设计，使得课程思政有机融入教学全过程。

结合所在学科专业的育人要求和课程特点，深入挖掘蕴含的思想政治教育资源，优化课程思政内容的供给。坚持以学生为主体，在本课程专业知识与技能的传授过程中，科学地融入思想政治教育的相关内容，在潜移默化中让学生接受主流价值观的熏陶，达到思想政治教育的目的，通过价值引领，达到专业课程育人

的目标。依据这个总目标，我们设计了数字信号处理课程思政方案。具体来说包括三个层次的教学设计：（1）在课程导入环节中，总概专业发展和课程地位，引导学生树立合适的专业目标，提升电子信息类专业素养，增强科技自信；（2）在理论教学环节中，营造轻松的氛围，将思政元素渗透进专业知识的讲解，完成专业课程传授知识培养能力及思想政治教育的双重功能；（3）在实验教学环节中，锻炼学生实验动手能力的同时，坚持实事求是和严谨认真的态度，引导学生乐于观察，善于思考，在不断分析问题解决问题中培养严谨专注和大国工匠精神。

2、导入环节

数字信号处理课程的导入环节包括两大部分，即绪论和实验准备课。其中绪论的内容主要包括：数字信号的概念、和模拟信号与离散信号的对比；数字信号处理系统的基本构成及各模块功能；数字信号处理的优越性及其应用领域；采样与量化、奈奎斯特采样定理、采样恢复与内插函数。在绪论课中引入思想政治教育的相关内容，介绍所属学科专业的发展和课程地位，引导学生培养和提升他们的专业素养，同时，让学生了解我国电子信息领域的现状，以及近年来的华为事件和芯片风波，鼓励学生树立正确的专业学习目标，激发学生的家国情怀和科技自信。实验准备课主要包括实验所需仪器设备与软件的使用、实验室规范与安全知识、实验目标与内容，以及注意事项，强化学生的诚信务实、团队合作、实验安全等意识。

3、理论教学环节

在理论教学课堂中，深挖专业知识点的思想政治教育价值与内在联系，通过将一些思政教育资源（如矛盾论、实践观、科学思维等）与专业知识点进行有机融合，树立正确的三观（世界观、人生观、价值观）和社会主义核心价值观。专业课数字信号处理的理论环节主要包括五大内容，即离散时间信号与系统；离散时间傅里叶变换（DTFT）和频谱分析；离散傅里叶变换和快速算法；无限脉冲响应（IIR）数字滤波器的设计与实现；有限脉冲响应（FIR）数字滤波器的设计与实现。例如，对于知识点“DTFT 的定义与特点”，融入多角度全面看待问题的哲学原理，掌握信号时域和频域的分析方法，引导学生领悟只有全面甚至是动态地分析问题或看待事物，才能看清问题或事物的本质。再如，对于知识点“数字滤波器的概念、原理与分类”，引入真诚地待人接物和去伪存真的哲理，通过滤

波原理的推导与分析，充分理解“你怎么对待这个世界，这个世界就怎么对待你”的处事哲理。

4、实验教学环节

对于工科专业课程来说，实验教学专业实验是专业课程教学的一个重要组成部分，同时又是大学阶段接受系统实验方法和科学实验技能训练的重要基础。在实验教学过程中，始终坚持实事求是，尊重客观规律，在培养学生动手实践能力的同时，着重引导学生独立分析问题和解决问题，培养追求卓越的大国工匠精神。

五、具体实施方案

1、课程思政教学案例库创建

挖掘思政元素，融合教学内容，将知识原理与唯物辩证法相融合，通过学科发展史以及科学家的励志故事和先进事迹的讲解，培养学生的科学精神、科学意识和治学态度，在工程应用案例中融入学科竞赛、创新创业教育、建模意识，通过专题研讨-“模块化+项目化”的形式培养学生的职业素养及大国工匠精神，通过对民族企业的事迹分析，培养学生的家国情怀以及民族自豪感，将前沿知识与国家科技战略相融合培养学生的科技报国意识以及责任担当。



图 3 教学内容与思政元素有机融合

凝练出思政专题设计案例，确定章节内容实现了课程思政与教学内容的有机融合，如表 1 所示。

表 1 教学内容与课程思政元素的映射

教学内容	思政元素	价值目标
绪论	讲述我国数学加华罗庚的故事	增强学生的科学精神
模拟信号数字化处理方法	讲述载人飞船的发展史	增强学生的家国情怀、民族自豪感
常用典型序列	讲述科学家欧拉的生平事迹	增强学生的科学意识、治学态度
离散信号的傅里叶变换定义	讲述法国数学家傅里叶、美国电气工程师奈奎斯特的故事	增强学生的科学素养，树立正确的三观
离散信号的傅里叶变换性质	引入“东方红、太阳升”电子乐音	培养学生科技报国意识、责任担当
周期序列的傅里叶变换	移动通信从2G→3G→4G→5G的发展史	增强学生的家国情怀、民族自豪感
Z变换定义	讲述北斗卫星中的信号处理算法	培养学生科技报国意识、责任担当
Z变换的收敛域	讲述“孟母三迁”的故事	增强学生的人文精神
逆Z变换	讲述“天眼之父”—南仁东的故事	增强学生的科技报国意识、责任担当
DFT、FT及ZT的关系	事物具有多面性，需全方位、多角度看问题	将知识原理与唯物辩证法相融合
利用Z变换分析系统的频响特性	引入宋代诗人苏轼的“题西林壁”	增强学生的人文精神
系统的因果性和稳定性	讲述拿破仑·希尔的故事	培养学生的科学素养
快速傅里叶变换	讲述民族企业华为为首的高科技企业的故事	增强学生的家国情怀、民族自豪感
基2FFT算法	引入对称美、艺术美相关图片	增强学生的人文精神
模拟滤波器的设计	引入人工耳蜗中的前沿技术	增强学生科技报国意识、责任担当
数字滤波器的实现与应用	讲述科大讯飞的成长史	增强学生的家国情怀、民族自豪感
窗函数法设计FIR滤波器	专题研讨—“模块化+项目化”的形式开展	培养学生的职业素养、工匠精神

2、课程思政教学方式

教学方式以学生学为中心、教师为辅。在课前精心设计思政专题案例，融入课前导学、课中互学，以问题为驱动促使学生主动学与思，在学中播下思政育人的种子，在思中让种子生根发芽；将思政专题作业、讨论融入课后延学、课外实践中，以任务为驱动引导学生践与悟，在实践中让思政育人的树苗茁壮成长，在悟中开花结果。通过知行合一的课程思政教学，我们的学生将成长为具有良好科学素养，掌握建模工具，致力于科技兴国的时代新青年，如图 4 所示。

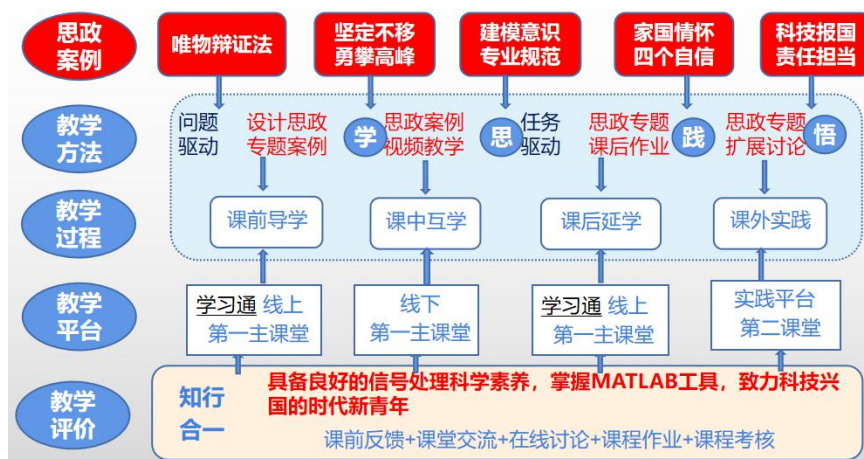


图 4 课程思政融入教学全过程

为调动学生的主观能动性，采用“互联网+课程思政”的线上线下混合式教学方式，分别从课前、课中、课后三个阶段进行设计，如图 5 所示。

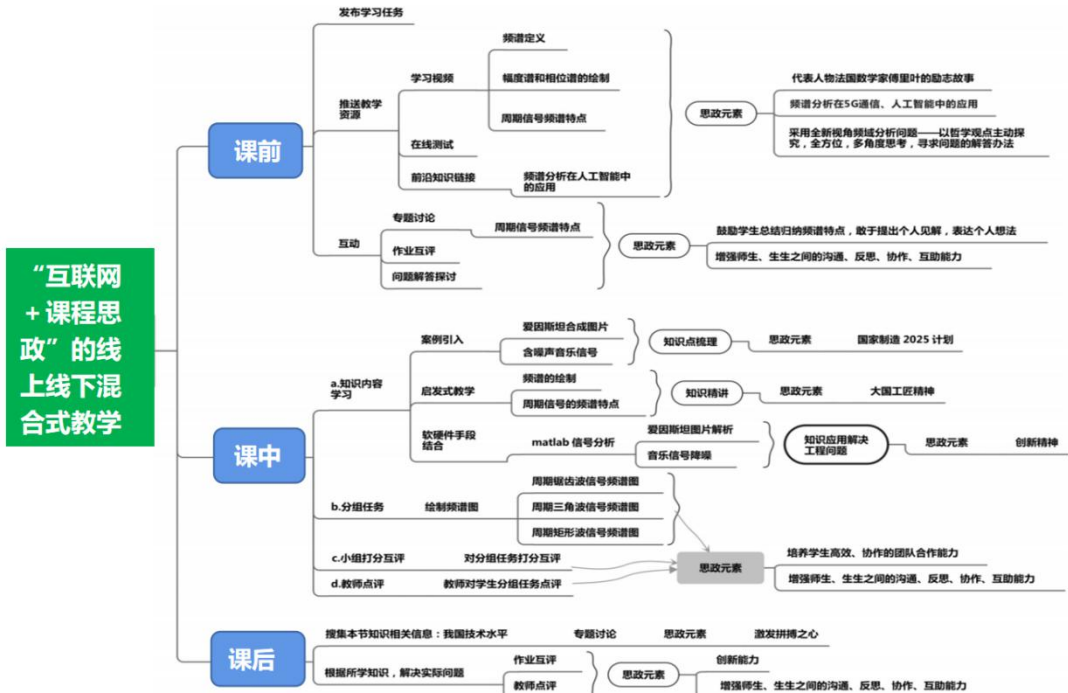


图 5 “互联网+课程思政”线上线下混合式教学实施案例设计思维导图

(1) 课前分享线上学习资源，学生提前进入角色

课前，教师在平台发布本次线上教学目标，布置学习任务，资源包含教师精心设计，融入思政元素的教学视频、预习习题及其他学习资源，学生利用手机+电脑随时随地学习，完成学习任务。线上学习资源主要体现基本概念、基本性质的介绍和应用，并恰当融入知识应用领域先进人物的励志故事和模范事迹，推送国家最新科技发展成就和面临的技术瓶颈挑战的相关信息。



图 6 课前分享线上学习资源

(2) 课中全面课堂互动，促进学生参与式学习

课中，教师结合国内外行业信息和专业培养要求，将无形的思政元素融入有形的课堂中，课堂可采取案例教学、专题研讨、项目式驱动以及软硬件手段相结合等方式对学生进行引导。教学方法和教学手段都紧紧围绕着蕴含思政元素的教学目标和教学内容设计。课堂可组织开展成果展示、学生互评、教师点评、师生总结等活动，使学生在课堂上动起来，忙起来。



图7 课中学生参与互动

（3）课后反思质疑，促进创新

课后，教师对课前和课中两个阶段的教学活动进行反思总结，搜集与本知识点相关的思政育人信息，补充线上学习资源，精心设计课后练习，重在知识的应用，促进创新。学生查漏补缺再学习，通过平台讨论、同伴学习、作业互评等方式达到巩固提高、举一反三的育人效果。

为全面落实习近平总书记对“使各类课程与思想政治理论课同向同行”总要求，以课程思政建设为引领、以创新创业教育为抓手、以学科竞赛促能力提升，再持续对该课程进行反思及改进，充分发挥专业课对学生人生观的引领作用，充分调动学生的主观能动性实现全程和全方位育人，培养能够担起民族复兴大任的时代新人。最终落实以立德树人为根本任务的地方应用型本科院校产出导向的专业课程体系。

目 录

绪论	1
第 1 章 时域离散信号和时域离散系统	6
模拟信号数字化处理方法.....	6
数字信号处理的实现方法及特点.....	13
数字信号处理的应用.....	17
模拟到数字信号的转换.....	20
常用的典型序列.....	23
复指数序列.....	27
序列的运算.....	30
离散序列卷积运算.....	33
LTI 系统的因果性.....	36
LTI 系统的稳定性.....	38
第 2 章 时域离散信号和系统的频域分析.....	41
傅里叶变换的定义.....	41
傅里叶变换的性质.....	45
傅氏变换和拉氏变换的区别.....	49
S 域的网络模型—运算电路.....	51
傅里叶级数.....	54
Z 变换的定义.....	57
Z 变换收敛域.....	61
逆 Z 变换—留数法.....	65
逆 Z 变换—部分分式展开法.....	68
基于 Matlab 的 Z 变换与逆 Z 变换.....	72
ZT 和 FT 的关系.....	74
时域离散信号和系统的 Z 域分析.....	78
根轨迹法.....	81
利用系统的零极点分布分析系统的频率响应特性.....	84
利用系统函数的极点分布分析系统的因果性和稳定性.....	87
第 3 章 离散傅里叶变换 (DFT)	91
离散信号傅里叶变化(DFT)定义.....	91
离散时间信号的运算及编程实现.....	95

循环卷积.....	98
DFT 变换在图像中的应用.....	101
DFT 分析信号频谱.....	104
DFT 应用.....	107
FT、FS、DFT、DFS 对比.....	110
第 4 章 快速傅里叶变换 (FFT)	114
快速傅里叶变换 FFT 定义.....	114
基 2-FFT 算法.....	117
FFT 应用-OFDM.....	122
第 5 章 时域离散系统的网络结构.....	124
系统的反馈.....	124
IIR 系统的直接型网络结构.....	128
IIR 系统的并联型网络结构.....	132
第 6 章 无限脉冲响应数字滤波器的设计.....	135
数字滤波器发展史.....	135
典型模拟滤波器.....	138
切比雪夫滤波器的设计.....	141
IIR 数字滤波器的设计 (脉冲响应不变法)	144
IIR 数字滤波器的设计 (双线性变换法)	148
多带滤波器的设计.....	153
含噪语音信号的 IIR 数字滤波器设计—专题研讨.....	155
IIR 数字滤波器的设计实验.....	158
第 7 章 有限脉冲响应数字滤波器的设计.....	161
FIR 滤波器简介.....	161
FIR 滤波器设计 (等波纹最佳一致逼近法)	164
IIR 与 FIR 数字滤波器的比较.....	169
简单 ECG 信号分析与处理系统设计.....	172
含噪语音信号的 FIR 数字滤波器设计—专题研讨.....	174
FIR 数字滤波器的设计实验.....	177
重获新“声”界—数字滤波器的设计应用.....	179
现代滤波器.....	186
数字滤波器设计中的窗函数选择.....	189

案例编号	20042115-001
案例标题	绪论
案例来源	原创案例
内容简介	掌握数字信号处理的基本概念、信号与系统的分类、数字信号处理系统的基本组成、数字信号处理技术的优势。
关键词	发展史、华罗庚、思维能力、爱国主义热情
编写时间	2022-3-3
编著者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字，图片
育人主题	提出本专业学生要具有三种思维能力：数学思维、物理思维和工程思维。
素材长度	1052 个字符
案例正文	课程内容： 第 0 章 绪论 历史沿革 由于超大规模集成电路的出现，数字信号处理在理论和应用方面有了惊人的发展，在越来越多的应用领域中迅速 替代传统的模拟信号处理方法，并且还开辟出许多新的应用领域。 今天，数字信号处理随处可见，各种数字信号处理系统， 从 CD 唱盘机、PC 机中的声卡到数字化影像、数码照相机 甚至手持电话等等。 数字信号处理是用数字或符号的序列来表示信号，通过数字计算机去处理这些序列，提取其中的有用信息。例如，对信号的滤波、增强信号的有用分量，削弱无用分量；或是估计信号的某些特征参数等。 总之，凡是用数字方式对信号进行滤波、变换、增强、压缩、估计和识别等都是数字信号处理的研究对象。 1. 信号的概念及其分类 (1) 连续信号：时间上连续，幅度可连续也可不连续。在某个时间区间，除有限间断点外所有瞬时均有确定值。

- (2) 模拟信号：时间和幅度均连续。
- (3) 离散信号：时间上不连续，幅度可连续也可不连续。
- (4) 数字信号：时间和幅度均不连续，幅度量化。

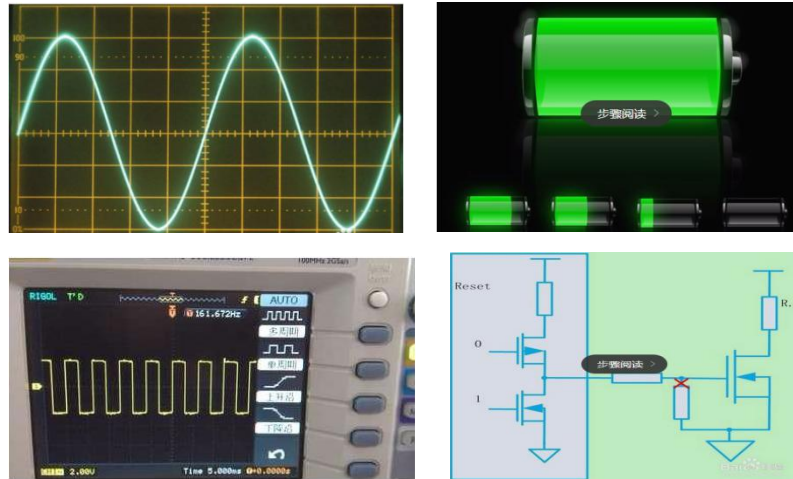


图 1 模拟信号与数字信号

将模拟信号转换成数字信号，经过采样、量化、编码等三个过程。

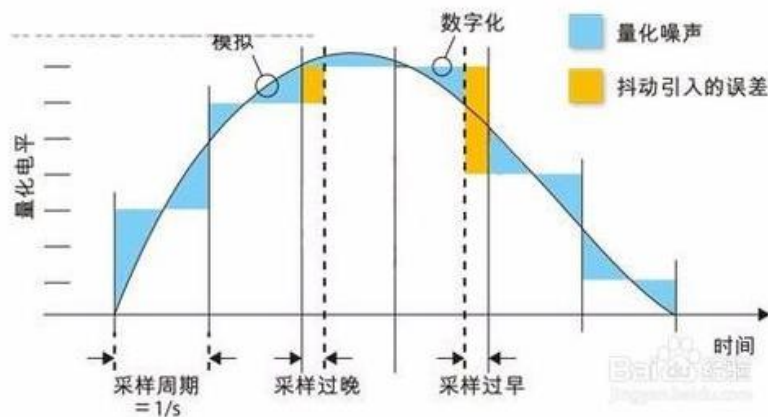


图 2 模拟信号与数字信号的区别

2.为什么要采用数字信号处理

采用数字系统完成信号处理的任任务，具有数字系统的一些共同优点：抗干扰、可靠性强，便于大规模集成等。另外，与传统的模拟信号处理方法相比较，还具有一些明显的优点及缺点。

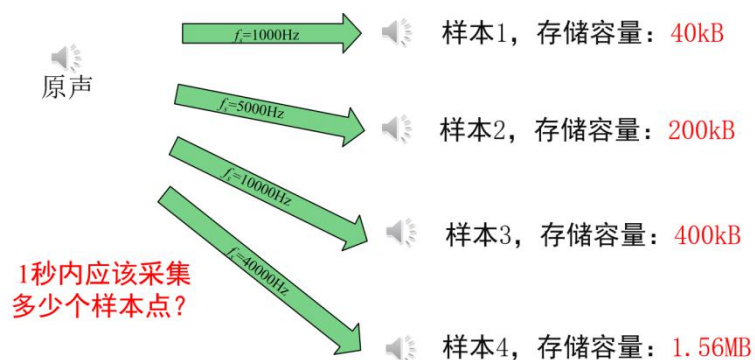
3.数字信号处理的发展和应用

数字视频光盘机应用 DSP 不断开辟新的应用领域应用，在机械制造中，基于 FFT 算法的频谱分析仪用于振动分析和机械故障诊断；医学中使用数字信号处理技术对心电(ECG)和脑电(EEG)等生物电信号作分析和

处理；数字音频广播(DAB)广泛地使用了数字信号处理技术。

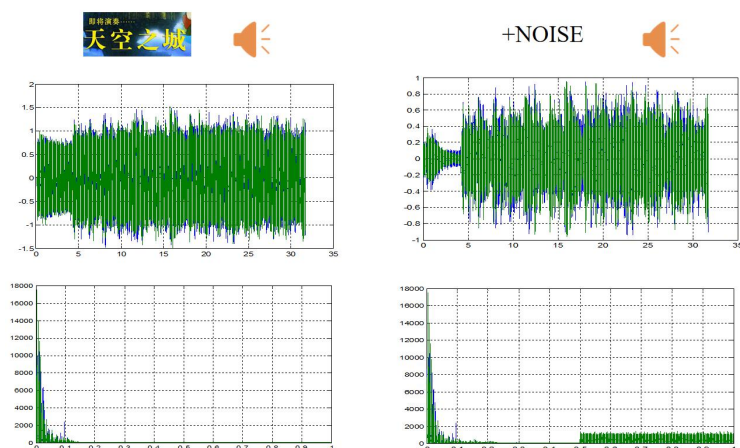
(1) 声音信号

对于同一段语音信号，采用不同的采样频率，其结果不同。那么采样频率应设置为多大合适呢？



答案：采样定理

采集一段语音，夹杂了噪声后应该如何处理？



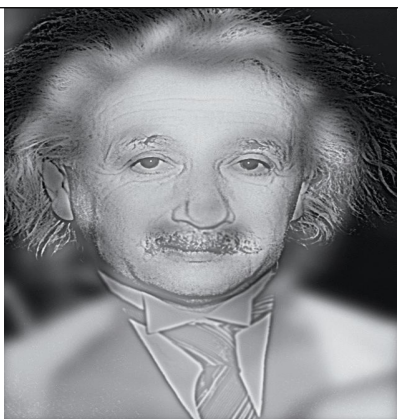
(2) 图像信号

采集一张照片，采用模拟信号处理的方式与数字信号处理的方式，最终结果一样么？

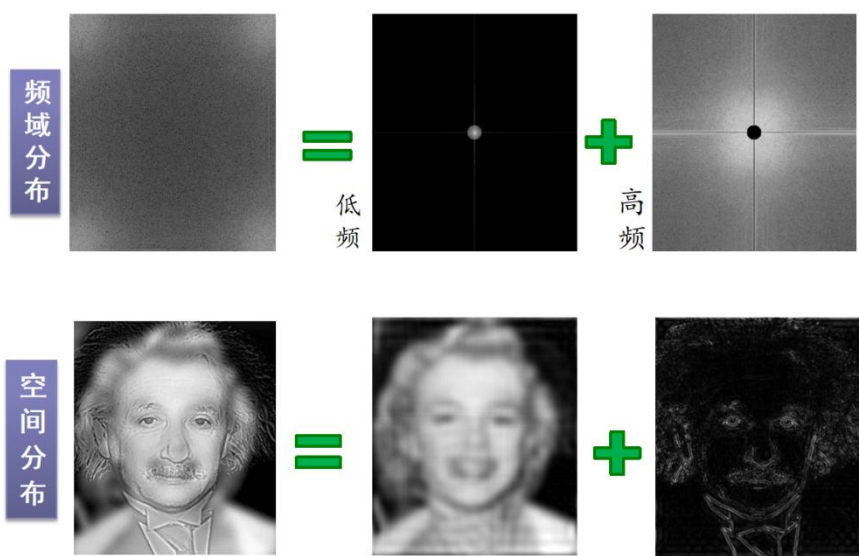


模拟信号处理

数字信号处理



上述照片，为什么放大看是爱因斯坦，缩小后是玛丽莲梦露呢？
这是什么原因造成的？



课程思政引入：

（1）绪论中介绍数字信号处理技术起源于数学学科，介绍我国**著名数学家华罗庚**，在“七·七”事变后，从生活待遇优厚的英国回到抗日烽火到处燃烧的祖国，不为金钱和学位，回国后积极参加抗日救国运动。1948年，他已经成为国际知名的第一流数学家，被美国伊利诺大学聘为终身教授，并承诺给他非常优越的待遇，希望他能留在美国工作。1949年在看到新中国成立的消息以后，他毅然带领全家回到刚解放的祖国。华罗庚的爱国事迹掀起了一股海外华人回国的热潮，他影响了许许多多的人，他是伟大的奇迹。激起学生的爱国主义热情，加强爱国主义教育。

（2）通过了解我国通信事业发展的历史过程，了解我国通信领域的现状，尤其是作为祖国骄傲的**华为第五代通信（5G）技术**，通过一个个

	激动人心的数据，增强学生的民族自豪感、荣誉感及民族自信。让学生更主动地投入“数字信号处理”课程的学习中去。 (3) 通过“分数”与“能力”的关系、“知识”与“方法”的关系讨论，倡导怀疑和批判精神。提出本专业学生要具有三种思维能力：数学思维、物理思维和工程思维。数学思维能力即会运用数学方式思考和解决问题，建立数学模型和求解；物理思维是能理解数学公式背后的物理含义；工程思维是要具有工程观念和工程意识，能将物理概念转换为解决工程实际问题的能力。 从1G到5G的变迁看中国通信的发展 1G：第一代移动通讯技术，是模拟通信系统时代。俗称的“大哥大”使用的就是第一代通信技术，即模拟通信技术。 1986年，摩托罗拉8000X在美国芝加哥诞生，第一代移动通信技术登上舞台。 中国直到1987年，为了迎接全运会，才在广东省建立了中国首个移动通信网络，标志着中国的移动通信正式开始。 2018年，华为面向全球发布了首款3GPP标准的5G商用芯片巴龙5G01，以及基于该芯片的首款3GPP标准5G商用终端：华为5G CPE(用户终端)。巴龙5G01是全球首款投入商用的、基于3GPP标准的5G芯片，支持全球主流5G频段，包括Sub6GHz(低频)、mmWave(高频)，理论上可实现最高2.3Gbps的数据下载速率(骁龙X24 2Gbps)。 
分析评价	通过课程思政，培养学生的科学精神、治学态度。让学生更主动地投入“数字信号处理”课程的学习中去。
评 价 者	刘宝盈、教授、商洛学院

案例编号	20042115-002
案例标题	模拟信号数字化处理方法
案例来源	原创案例
内容简介	以音频信号的数字化过程为项目基础，通过问题提出，理论推导，实例分析，课堂互动等方式，充分调动学生的主观能动性，在互动中让学生理解并掌握模拟信号的数字化过程，并能够理论联系付诸实际应用。着重训练学生设疑、析疑的逻辑思维和能力。
关键词	模拟信号，数字信号，机遇，挑战
编写时间	2022-3-10
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	训练学生设疑、析疑的逻辑思维和能力
素材长度	1715 个字符
案例正文	课程内容： 一、教学设计 此次授课选择该门课程中重要知识点之一：模拟信号数字化处理。根据学生认知和知识点实际工程应用的过程，将该知识点分解为以下三个问题： 问题一：“为什么模拟信号要进行数字化处理？” 问题二：“模拟信号数字化处理是什么？” 问题三：“如何应用模拟信号数字化处理？” 围绕这三个问题对知识点进行展开。 二、教学开展 课程导入：2023 年 5 月 17 日，我国新一代载人飞船神舟十六号顺利升空，圆满完成了载人飞行任务。这标志着中国航天事业又向更高层次迈出了坚实的步伐，也为人类探索深空奠定了良好基础。 通过视频看到，在没有手机信号的太空，神舟号的多位航天员和地面顺利开展了天地通话，而且画面清晰、信号稳定，这是如何实现的？

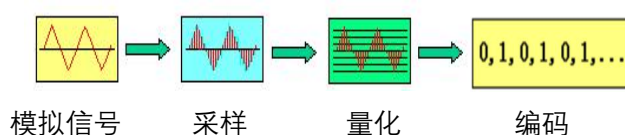
很多人会好奇，空间站有电话吗？宇航员进入空间站可以携带手机吗？不幸的是，普通民众无法通过地面上的固话或者三大运营商的电话直接和空间站通话。因为，空间站没有传统意义上的电话号码，宇航员也不允许带智能手机“上天”。

在万米高空，我国天基测控网中的卫星和地球自转同步运行，三颗天链卫星在类似的轨道上飞行，每个节点都有自己的地理覆盖区域，为空间站提供覆盖全球的地理视野，为地面工作人员和空间宇航员提供不间断的连接，而传输的这些信号都是数字信号，那么语音或图像即就是模拟信号是如何转换成数字信号进行传输的？那让我们今天来解决这个问题，学习模拟信号数字处理的方法。



授课内容：

一、时域信号数字化处理步骤



模数转换：（1）时域采样；（2）幅度量化；（3）编码

对模拟信号进行采样、量化、编码，便得到了数字信号。当然，这个采样可以是稀疏的，也可以是稠密的。

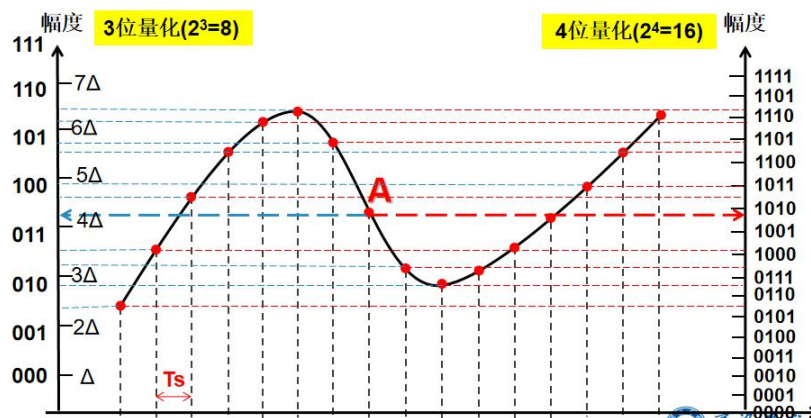
通过采样、量化、编码三个步骤，将模拟形式的信息信号（声音、图像信号等）用若干代码表示，再用脉冲信号表示这些代码进行传输/存储。

思考：我们应该如何对模拟信号进行有效采样呢？即采样频率到底取多少？

采样

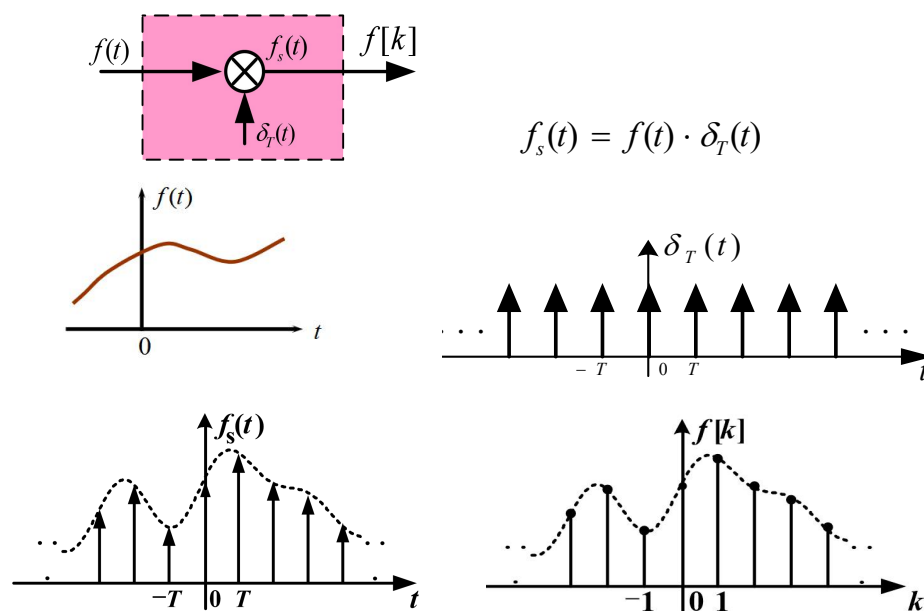
量化

编码



二、采样定理

理想采样模型为：

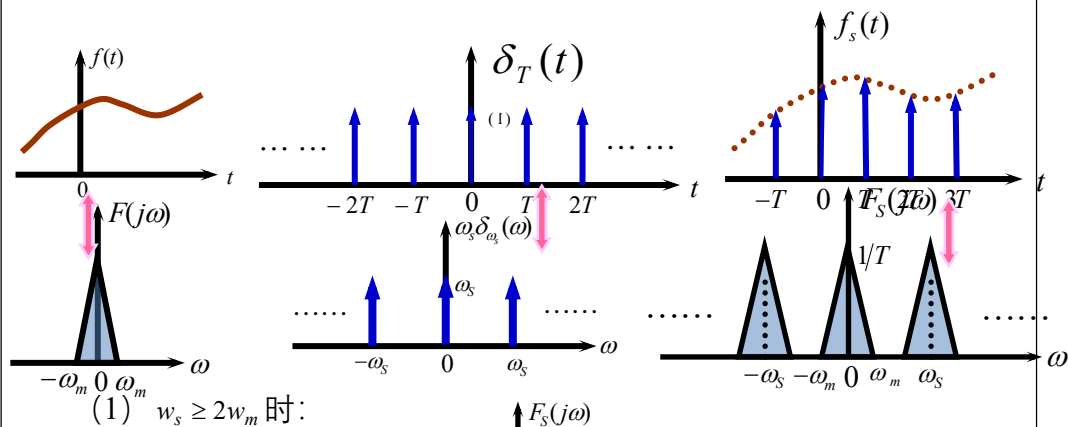


$$f_s(t) = f(t) \cdot \delta_T(t)$$

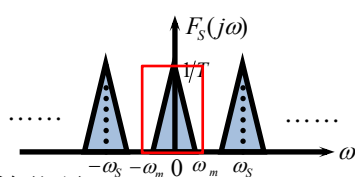
$$\delta_T(t) \xrightarrow{F} \omega_s \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(\omega - n\omega_s)$$

$$\begin{aligned} F_s(j\omega) &= \frac{1}{2\pi} F(j\omega) * \omega_s \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(\omega - n\omega_s) \\ &= \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} F[j(\omega - n\omega_s)] \end{aligned}$$

用图形来表示：

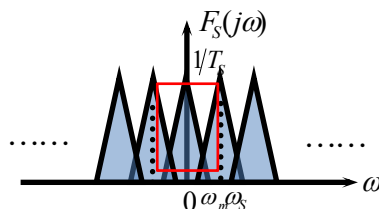


(1) $\omega_s \geq 2\omega_m$ 时:



无失真的恢复出原始信号

(2) $\omega_s < 2\omega_m$ 时:



有失真

时域采样定理内容: 若带限信号 $f(t)$ 的最高角频率为 ω_m , 若采样频率 $\omega_s \geq 2\omega_m$ 时, 则可以从采样信号中无失真的恢复出原始信号, 否则采样信号会发生频谱混叠。

其中 $\omega_s = 2\omega_m$ 为最小采样频率, 称为奈奎斯特采样频率(Nyquist rate)。

奈奎斯特 (1889-1976), 美国物理学家。

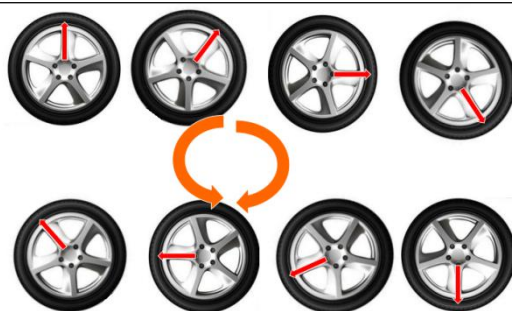
1917 年获耶鲁大学博士学位。曾在美国 AT&T 公司与贝尔实验室任职。他于 1928 年首次提出时域采样定理, 为近代信息论做出突出贡献。



三、采样定理的工程应用

1、马路上飞驰的小汽车, 车子在往前行驶, 车轮应该也是往前转, 但我们却观察到车轮在往后转? 这种现象是由什么引起的呢?

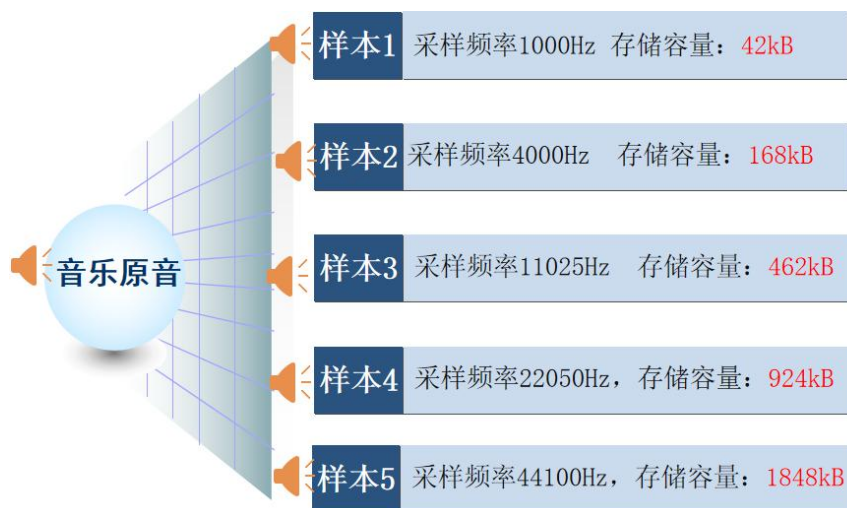
对上述思考题进行解答:



当采样频率较高时，根据人眼的“视觉暂留”，感觉车轮是在顺时针转动，即车在向前走；如果采样频率较低，只采到了 2 张图片，根据人眼的“视觉暂留”，感觉车轮是在逆时针转动，即车在向后走。

2、音频中的应用

下载一段音乐，以.wav 格式存储，在 MATLAB 中设置 4-5 种不同的采样频率并保存下来，比较其音乐质量及存储容量，得出其合适的采样频率。



思考：采样频率设置为多大比较合适呢？

实际工程应用中，信号采样频率选择应该考虑以下两个因素：

- 1) 频谱精度；
- 2) 数据的传输速率和存储器容量。

这两个指标是一对矛盾，高的频谱精度必然要求高的采样率，然而会造成数据传输量和存储量增加。

模拟信号数字化处理给定的采样频率仅仅是理论上的下限，为了尽可能准确地获取模拟信号中的信息，一般情况做法：在数据传输速率和存储器容量满足条件的情况下，尽可能的提高采样频率。工程应用中，实际采样频率至少为信号最高频率 3~5 倍。

三、课堂总结

①模拟信号数字化处理的过程；

②**时域采样定理内容：**若带限信号 $f(t)$ 的最高角频率为 w_m ，若采样频率 $w_s \geq 2w_m$ 时，则可以从采样信号中无失真的恢复出原始信号，否则采样信号会发生频谱混叠。

四、课后思考题

实际应用中，信号的带宽越来越大，采样频率太高，导致数据量剧增自然界中大部分信号具有稀疏性，对于稀疏信号可否用较低的采样频率恢复原始信号呢？

引导学生通过自学的方式了解前沿知识。

五、课后寄语

让同学们拿出手机，拍摄一张现场照片，总结照片由图像到照片经历了哪些过程？引导同学们思考背后的原理，号召同学们在下一次拿出手机，不止想到游戏、视频、社交网络，而是自己的未来是可以来设计手机的。鼓励学生将更多的精力投入到学习当中。

课程思政引入：

《朱子语类》卷九《论知行》篇中说：“不可去名上理会。须求其所以然。”因此，在课程的内容编排上，面对一些新的方法，引领学生建立“3W+1H”的科学思维模式，将复杂问题分解为“What”、“Why”、“Where”和“How”四个角度。比如，在课程绪论中的模拟信号数字化处理知识点讲解过程中，将原先的数字信号处理系统的特点、数字信号处理系统的组成以及数字信号处理系统的应用等几个方面的内容经过重新组织和整合，融汇成“3W+1H”，包括“模拟信号数字化处理是什么？”、“为什么要对模拟信号进行数字化处理？”、“模拟信号数字化处理可以干什么？”以及“怎么样实现模拟信号的数字化处理？”四个问题。按照“3W+1H”的思维模式，课程教学过程中分别针对模拟信号数字化处理的定义、数字系统和模拟系统相比的优点、数字系统的典型应用及模拟信号数字化处理的流程分别进行分析和讲解。通过此类教学思路，着重开发学生分析和处理复杂问题的科学思维方式。分析比较是人类由此及彼，由表及里，全面深刻认识事物，辨别失误的优劣、高低、美丑的重要科学思维方法。在“Why”

	环节，我们可以引导学生通过比较分析的科学方法，对模拟系统和数字系统分别从系统精度、可靠性、灵活性、性能指标的达成等多个方面进行比较，深入理解数字系统的优点。在此过程中着重训练学生设疑、析疑的逻辑思维和能力。最后经过课后寄语鼓励学生远离游戏，奋发图强学有所成。
分析评价	本案例通通过讲述信号处理从模拟到数字的转变，让学生明白任何事物的发展必须遵循客观规律，人生道路上机遇和挑战并存，实现传授知识、培养专业技能、引导专业方向、引领正确的“三观”的目的。
评 价 者	郭琳、教授、商洛学院

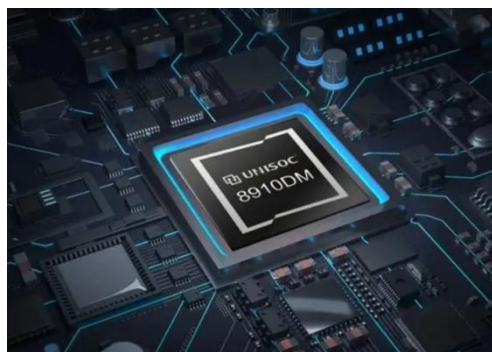
案例编号	20042115-003
案例标题	数字信号处理的实现方法及特点
案例来源	原创案例
内容简介	讲述信号处理技术的未来发展方向、实现方法及特点，使学生了解最新的行业发展动态，在授课过程中介绍近十年来中国在电子、通信行业的贡献(比如:量子通信、天眼等)，阐明学科的战略地位，提升学生的学习动力，激发他们的责任心和民族自豪感，鼓励学生为未来数字信号处理的发展发光发热。
关键词	信号处理，实现方法，特点，发展方向，行业前景
编写时间	2022-4-6
编著者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	科技强国
素材长度	1240 个字符
案例正文	课程内容： 信号处理技术关乎到一个国家科学技术的发展状况，目前主要通过实现数字化处理，能够将图片、声音、视频等模拟信号转换为相应的数字信号，这样就可以通过相应的控制系统来进行处理，提高了控制效果。 总体来看，现阶段数字信号处理主要指的是通过数字芯片来对信号进行分析以及处理。例如在系统运行过程中，采样电路将所采集到的模拟信号转换为相对应的数字量，然后将该数字量传入到数字芯片中，就能够反馈出真实的状况。然后根据已经设定好的控制逻辑，就能够由芯片发出相应的控制指令，完成数字信号处理过程。数字信号处理具有处理速度快、抗干扰能力强的特征，已经广泛的应用到了现代控制领域中。 由于技术的不断发展，数字信号处理技术已经日趋成熟。应用所产生的成本也越来越低，具有较高的可靠性。如今数字信号处理技术还能够实现和大数据技术、智能控制技术等之间的高效结合，其他的提高了

控制的效果，使得系统稳定性更加可观，功能越来越完善。

数字信号处理技术的发展方向

1.运算速度更快

考虑到现阶段数字信号处理技术的发展状况以及未来的发展趋势，可以看出，数字信号处理技术将会越来越成熟，在同样条件下能够达到更快的运算速度。特别是一些先进的数字信号处理芯片，正处于升级换代的重要时期，每一次升级过程都能够有效的降低芯片的体积，但是运算速度却得到了显著提升。未来的数字信号处理技术要实现多线程计算，这样能够实现对多种信号的同时处理。



2. 成本低

总体来看，尽管现阶段数字信号处理相关芯片的成本不断降低，也进一步促进了其广阔的应用空间。但是这些芯片的成本相对来说还有进一步降低的趋势，主要是由于技术的不断成熟，市场竞争力越来越大，很好的打破了原有的垄断模式。在成本降低的过程中，整体性能也得到了有效提升。使得数字信号处理的芯片具有极低的功耗，芯片尺寸十分微小。随着国产数字信号处理技术的不断进步，也将进一步蚕食国外数字信号处理厂商的市场份额，引发更为强烈的市场竞争机制，这是有利于促进该产业转型升级的。

3.定制化

当前市面上的数字信号处理芯片越来越丰富，种类越来越多。在未来的发展进程中，也需要更多的考虑到客户的实际需求，提供定制化的数字信号处理解决方案。我国是世界上最大的工业生产制造国家，在数

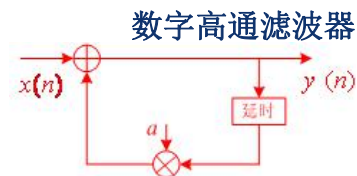
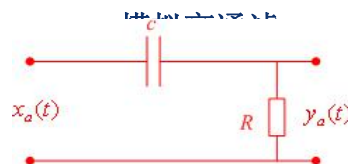
字信号处理方面拥有世界上最大的市场。随着计算机信息化技术的不断应用，在未来的发展进程中，数字信号处理技术也能够实现和计算机网络技术的有机结合，更好地满足市场需求。

数字信号处理的实现方法：

1、信号处理的方式：

模拟信号处理：通过一些模拟器件，如晶体管、电阻、电容、电感等，完成对信号的处理。

数字信号处理：采用数值计算的方法，完成对信号的处理。对信号进行采集、变换、综合、估值与识别等加工处理，以达到提取信息和便于应用的目的。

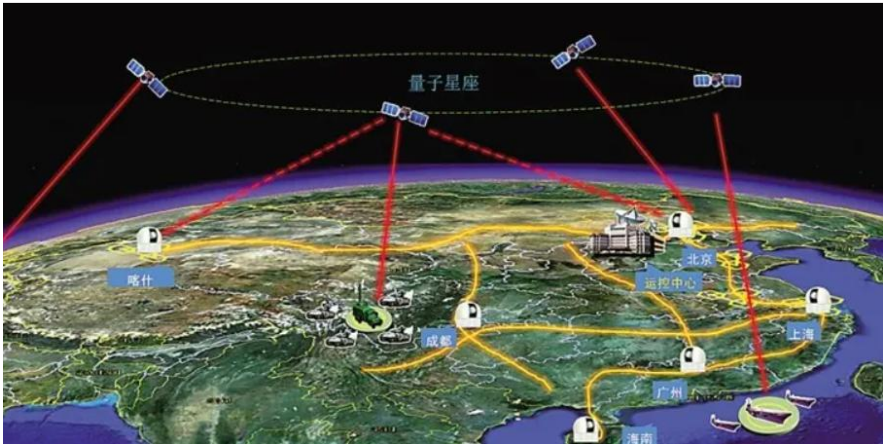


数字信号处理的特点：

1. 灵活性——改变参数来改变系统的性能，分时复用
2. 高精度和高稳定性
3. 便于集成——大规模集成和大规模生产
4. 可存储、运算，高性能指标——对数字信号可以存储、运算，系统可以获得高性能指标。

课程思政引入：

数字信号处理技术很好的促进了多个领域的持续繁荣，带来了众多优势。在未来的发展进程中，数字信号处理技术将会更好地降低生产制造成本，实现微型化，并且控制效果将会大大的增加，显得更加可靠。市场良性竞争机制也会进一步促进数字信号处理技术的更新，为人类发展做出更大的贡献。在授课过程中介绍近十年来中国在电子、通信行业的贡献(比如:量子通信、天眼等)，阐明学科的战略地位，提升学生的学习动力，激发他们的责任心和民族自豪感，鼓励学生为未来数字信号处理的发展发光发热。

	
分析评价	本案例通过讲解信号处理技术的未来发展方向，使学生了解最新的行业发展动态，有效提高了学生的学习兴趣，激发学生的责任心。
评 价 者	袁训锋、教授、商洛学院

案例编号	20042115-004
案例标题	数字信号处理的应用
案例来源	原创案例
内容简介	通过讲解数字信号处理在各行各业的应用,使学生认识到数字信号处理的施展空间。“小到血管内,大到宇宙间”亦是大国科技实力的主战场,激发学生的好奇心和求知欲,引导学生树立民族自信和创新精神,建立对大国科技实力的使命担当和时代责任感。
关键词	滤波器设计, 问题驱动的研究性教学, 团队协作
编写时间	2022-9-19
编著者	王园园, 副教授, 电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	培养学生使命担当和时代责任感
素材长度	1097 个字符
案例正文	数字信号处理技术的实质就是将人们在现实世界中所得到的的一些模拟信号以及相关信息转换为一种统一的数字形式,并借助计算机平台以及其他的辅助设备将这些数据信息提取呈现出来,帮助人们以更加直观的形式抓取或认知这些信号,并实现对数据信息的识别。目前,国内外业界领域中的相关研究学者认为,数字信号处理技术在不同领域的应用具有极大的优越性,这项技术在应用过程中具有使用灵活性较强、能耗相对较低、数据抓取精确性极高、数据抓取效率较高、辅助设备体积较小等应用优势。因此,该项技术也在国内外的不同业界领域中以及独特的优越性得到了广泛的应用。 （一）针对语音信号的应用处理 语音信号是数字信号处理技术中最为关键的构成部分,语音信号的处理主要包括针对语音信息的识别、语音表达内容的深度理解、语音的合成、音质的增强、语音内容的压缩等多项功能。而通

通过对语音信号进行智能化的抓取以及深度处理,能够使我国的声音解码器所抓捕到的语音信息更加精确,这也是未来智能计算机以及智能机器人根据人类指令行动并操作的基础条件。

（二）数据调制解调器的应用

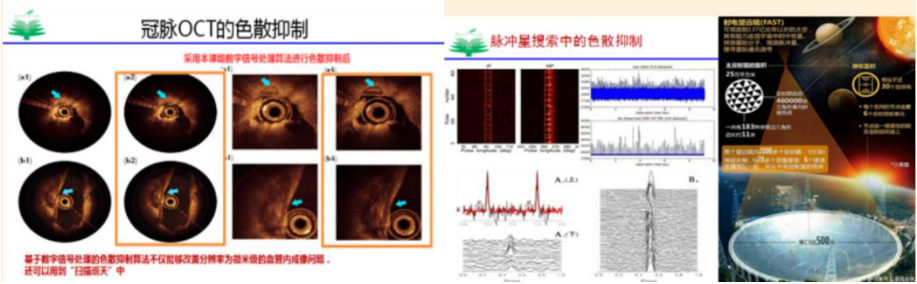
目前,在国际社会中数据调制解调器可谓是数字信号处理技术最为广泛也是最初应用的领域。数据调制解调器事实上是多媒体后台信息处理与信息传递媒介之间相互连接的桥梁,可以利用固定端的计算机平台实现与网络传递渠道的拨号连接功能,这也是目前世界上信息传递最为便捷和快速的衔接方式。而随着网络智能时代的到来,互联网的用户规模在不断增加,一些性能相对较弱的数字信号处理设备已经无法满足互联网用户的多元化需求。在这样的发展背景下,如何能够研发出信息数据传递速度更快、传递信息量更加广阔的高智能数字信号处理设备,也成为了行业未来发展的趋势。

（三）在图形图像处理中的应用

图形图像的处理技术主要是应用在 DVD 领域中,能够实现对内部动态化图像的压缩控制。该项技术不仅能够应用在人们的日常精神娱乐生活中,同时,在研究外太空星球地貌信息、云层分布状况、宇宙星体结构等方面也发挥着不可取代的重要价值。与此同时,数据信号处理技术还可以根据抓捕图像的特征以及图像使用者的实际需求,针对抓捕到的图像信息进行压缩、空间分割、图像识别、图像重构以及图像解压等多个方面的功能。

（四）在生物学中的应用

生物学领域中的数据信号处理技术主要是用来帮助临床医学监控患者的体征,尤其是在细胞学以及神经医学科等方面具有不可取代的重要应用价值。例如,数字信号处理技术可以通过自动化地分析患者的脑电波以及心电层汇成图像,这也为生物医学的研究以及疾病的治疗提供了更加直观的数据信息,并降低了患者的死亡率。除此之外数字信号技术还可以应用到对于人体内部振动信号的抓取等方面,虽然在医学领域中的应用方法不同,但其中的核心技

	术却基本类似。 （五）在移动智能机器人领域中的应用 目前，国际平台中已经研究出了基于 USB 总线的开放式移动智能机器人控制系统，这种机器人主要是以固定计算机的上位计算控制器为主，只需要采用一小块数据信号控制技术的运动控制卡，就可以针对智能机器人内部的操作电机进行控制。而通过这种 USB 总线衔接的通讯渠道，能够更好地实现后台控制端，对于机器人动作状态的实时监测，并且还能够通过数据信号技术对于周边的超声环境进行探测，帮助机器人建立起移动的地图图像，实现了对智能机器人的准确定位、目标导航以及避障控制等功能。 课程思政：  利用数字信号处理可应用于语音信号的处理上，也可用于国之重器“中国天眼”探测脉冲星，其已成为自其运行以来世界上发现脉冲星效率最高的设备。通过对教材知识点采用案例进行泛化扩展，体现高阶性和挑战性，使学生认识到数字信号处理的施展空间“小到血管内，大到宇宙间”亦是大国科技实力的主战场，激发学生的好奇心和求知欲，引导学生树立民族自信和创新精神，建立对大国科技实力的使命担当和时代责任感。
分析评价	该案例通过讲解数字信号处理在各行各业的应用，使学生认识到数字信号处理的施展空间。“引导学生树立民族自信和创新精神，建立对大国科技实力的使命担当和时代责任感。”
评 价 者	郭琳、教授、商洛学院

案例编号	20042115-005
案例标题	模拟信号到数字信号的转换
案例来源	原创案例
内容简介	讲述信号从模拟信号到数字信号的发展过程，引出离散时间信号和系统的重要性。通过讲述信号处理从模拟到数字的转变，加入诺基亚等公司的发展历程，让学生明白任何事物的发展必须遵循客观规律，人生道路上机遇和挑战并存，只有坚守科学原理，坚持正确的世界观和方法论，才能获取分析和解决问题的正确方法，赢取最后的胜利。
关键词	模拟信号，数字信号，机遇，挑战
编写时间	2022-10-10
编者	王园园，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	任何事物的发展必须遵循客观规律，人生道路上机遇和挑战并存。
素材长度	1306 个字符
案例正文	课程内容： （1）模拟信号与数字信号不同的数据必须转换为相应的信号才能进行传输：模拟数据一般采用模拟信号(Analog Signal)，例如用一系列连续变化的电磁波(如无线电与电视广播中的电磁波)，或电压信号(如电话传输中的音频电压信号)来表示；数字数据则采用数字信号(Digital Signal)，例如用一系列断续变化的电压脉冲(如我们可用恒定的正电压表示二进制数 1，用恒定的负电压表示二进制数 0)，或光脉冲来表示。当模拟信号采用连续变化的电磁波来表示时，电磁波本身既是信号载体，同时作为传输介质；而当模拟信号采用连续变化的信号电压来表示时，它一般通过传统的模拟信号传输线路(例如电话网、有线电视网)来传输。当数字信号采用断续变化的电压或光脉冲来表示时，一般则需要用双绞线、电缆或光纤介质将通信双方连接起来，才能将信号从一个节点传到另一个节点。



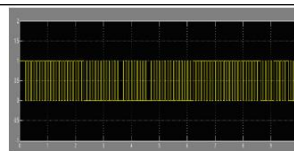
220V交流电的电压的波形显示

模拟信号



船只之间的灯光联络信号

数字信号



手机信号的脉冲编码波形

数字信号

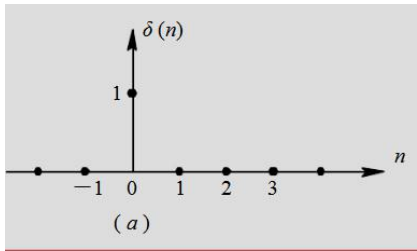
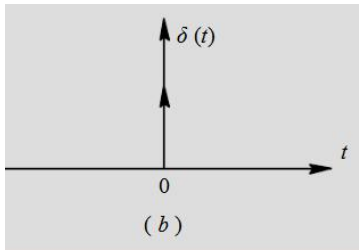
(2)模拟信号与数字信号之间的相互转换模拟信号和数字信号之间可以相互转换：模拟信号一般通过 PCM 脉码调制(Pulse Code Modulation)方法量化为数字信号，即让模拟信号的不同幅度分别对应不同的二进制值，例如采用 8 位编码可将模拟信号量化为 $2^8=256$ 个量级，实用中常采取 24 位或 30 位编码；数字信号一般通过对载波进行移相(Phase Shift)的方法转换为模拟信号。计算机、计算机局域网与城域网中均使用二进制数字信号，目前在计算机广域网中实际传送的则既有二进制数字信号，也有由数字信号转换而得的模拟信号。但是更具应用发展前景的是数字信号。

课程思政引入：

几乎在所有的工程技术领域中都会涉及到信号处理问题，其信号表现形式有电、磁、机械以及热、光、声等。信号处理一般包括数据采集以及对信号进行分析、变换、综合、估值与识别等。这里的信号类别有 4 种：第 1 种是连续信号(即模拟信号)，它的幅度和时间都取连续变量；第 2 种是时域离散信号，其幅度取连续变量，而时间取离散值；第 3 种是幅度离散信号，其时间变量取连续值，幅度取离散值，如振幅键控信号；第 4 种是数字信号，它的幅度和时间都取离散值。

一般来说，数字信号处理的对象是数字信号，模拟信号处理的对象是模拟信号。但是，如果系统中增加数/模转换器和模/数转换器，那么，数字信号处理系统也可以处理模拟信号。这里关键的问题是两种信号处理系统对信号处理的方式不同，数字信号处理是采用数值计算的方法完成对信号的处理，而模拟信号处理则是通过一些模拟器件(例如晶体管、运算放大器、电阻、电容、电感等)组成的网络来完成对信号的处理。

	信号处理技术关乎到一个国家科学技术的发展状况，目前主要通过实现数字化处理，能够将图片、声音、视频等模拟信号转换为相应的数字信号，这样就可以通过相应的控制系统来进行处理，提高了控制效果。 课程思政升华： 讲述信号处理的发展史，让学生学会用科学发展观指导学习和生活。科学发展观是马克思主义关于发展的世界观和方法论的集中体现，是新时代指导一切工作的准绳。 信号处理从模拟到数字的转变，诺基亚的兴衰，柯达的消亡，TI 公司的转型. ...打败一个企业的往往不是它的竞争对手而是时代的车轮，通过讲述这些公司的发展历程，让学生明白任何事物的发展必须遵循客观规律，人生道路 上机遇和挑战并存，只有坚守科学原理，坚持正确的世界观和方法论，才能获取分析和解决问题的正确方法,赢取最后的胜利。
分析评价	本案例通通过讲述信号处理从模拟到数字的转变，让学生明白任何事物的发展必须遵循客观规律，人生道路上机遇和挑战并存，实现传授知识、培养专业技能、引导专业方向、引领正确的“三观”的目的。
评 价 者	贾惠琴、教授、西安石油大学

案例编号	20042115-006
案例标题	常用的典型序列
案例来源	原创案例
内容简介	讲解时域离散系统中的常用的典型序列：单位脉冲序列、阶跃序列、矩形序列、实指数序列及周期序列，讲解常用典型序列的 matlab 程序、通过讲解程序含义和上手编程操作，从而让学生重温理解实践和理论的辩证统一关系，培养学生的规矩意识。
关键词	典型序列、周期序列、matlab、程序；
编写时间	2022-5-10
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	实践和理论的关系、培养规矩意识等；
素材长度	817 字符
案例正文	课程内容： 一、常用的典型序列 1. 单位采样序列$\delta(n)$（单位脉冲序列） $\delta(n) = \begin{cases} 1 & n = 0 \\ 0 & n \neq 0 \end{cases}$   图 1 单位采样序列和单位冲激信号 2. 单位阶跃序列 $u(n)$ $U(n) = \begin{cases} 1 & n \geq 0 \\ 0 & n < 0 \end{cases}$

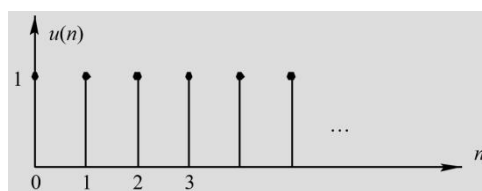


图 2 单位阶跃信号

3. 矩形序列 $R_N(n)$

$$R_N(n) = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & \text{其它 } n \end{cases}$$

上式中 N 称为矩形序列的长度。当 $N=4$ 时， $R_4(n)$ 的波形如图所示。
矩形序列可用单位阶跃序列表示为：

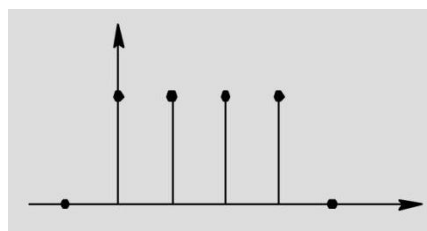


图 3 矩形序列信号

$$R_N(n) = u(n) - u(n-N)$$

4. 实指数序列

$$x(n) = a^n u(n), \quad a \text{ 为实数}$$

如果 $|a| < 1$ ， $x(n)$ 的幅度随 n 的增大而减小，称 $x(n)$ 为收敛序列；如果 $|a| > 1$ ，则称为发散序列。其波形如图所示。

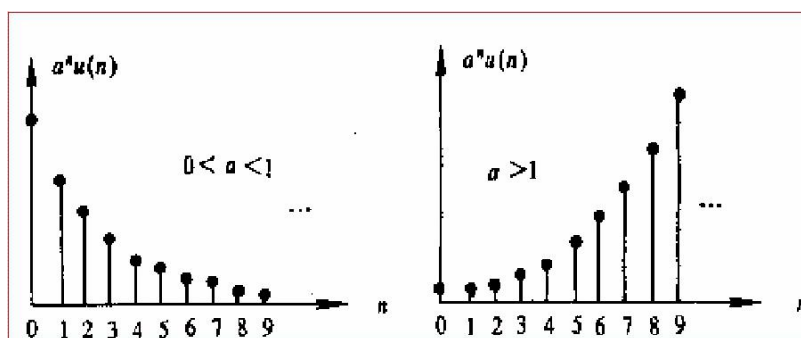


图 4 实指数序列信号

5. 周期序列

对所有 n 存在一个最小的正整数 N ，使下面等式成立：

$$x(n) = x(n+N)$$

则称序列 $x(n)$ 为周期性序列，周期为 N ， N 要取正数。

如: $x(n) = \sin(\frac{\pi}{4}n) = \sin[\frac{\pi}{4}(n+8)]$

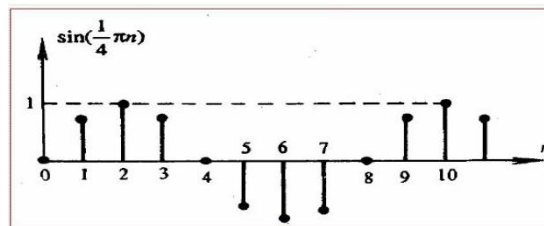


图4 周期的正弦序列

下面讨论一般正弦序列的周期性的判别方法:

$$x(n) = A \sin(\omega_0 n + \varphi)$$

那么当: $\frac{2\pi}{\omega_0}$ 为有理数时, $x(n)$ 为周期序列;

$\frac{2\pi}{\omega_0}$ 为无理数时, $x(n)$ 为非周期序列。

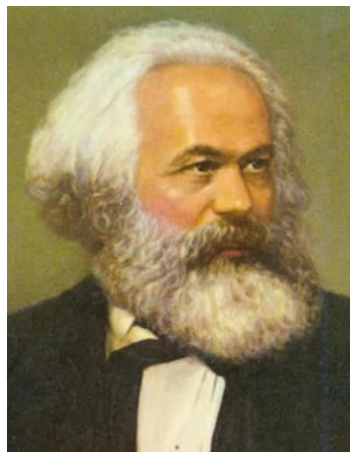
***问题: 对模拟周期信号采样得到的序列, 一定是周期序列吗?**

二、常用典型序列的 matlab 实现

讲解上述常用典型序列的语言及 matlab 实现

课程思政元素: 实践和理论的辩证关系+规矩意识

马克思主义认为, 全部社会生活在本质上是实践的, 而实践的主体是具有一定思想认识的人。一方面, 人的正确思想从实践中来, 实践决定认识, 是认识的源泉和动力、目的和归宿, 同时也是检验认识正确与否的唯一标准。另一方面, 认识对实践具有反作用, 正确的认识推动正确的实践, 错误的认识导致错误的实践。这就是实践与认识的辩证关系, 也是马克思主义哲学的一个基本原理。



	理论方面，学生已经学习了各种信号的表达式、函数图像、信号之间的运算（如尺度变换、平移等），但是距离真正掌握，还差一个实践环节。在利用 matlab 编程实践中，学生可以直观的看到信号的生成、信号之间的运算、信号函数图像的变化等等。 另外，编程语言有其自身语法的规范性，在利用 matlab 编程过程中，要遵循该语言的语法，如果不满足语法，就无法实现想要的功能，由此可以引出规矩意识和遵法守纪，另外字母大小写和漏掉字母是经常犯的错误，也可以培养学生细心的习惯。通过实验定性定量分析验证理论，是重要的科学素养，可培养学生唯物主义观和严谨的作风。
分析评价	该部分主要讲解序列基本运算，系统在输入不同的信号，进行不同的运算，产生不同的输出响应。鼓励学生把握好大学时光，多进行好的知识输入，进行积极的运算，大学四年才能获得好的响应。
评 价 者	李芳、教授、西安理工大学

案例编号	20042115-007
案例标题	复指数信号
案例来源	原创案例
内容简介	在复指数信号的讲解部分，会用到欧拉公式，通过讲解科学家欧拉的生平故事，从而在精神上滋养学生，使之坚定理想信念，学好本领建设国家，实现个人的人生价值。
关键词	信号与系统、欧拉、科学家精神；
编写时间	2022-4-28
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	领悟科学家精神：不畏艰难、追求真理、求知若渴等
素材长度	1020 字符
案例正文	知识点内容：复指数信号 复指数信号的表达式为：$f(t) = Ae^{st}$。 其中，$s = \sigma + jw$ 为复数，σ 为实部系数，w 为虚部系数。 借用欧拉公式，复指数信号可以分解为实部和虚部，即： $Ae^{st} = Ae^{(\sigma + jw)t} = Ae^{\sigma t} e^{jw t} = Ae^{\sigma t} \cos w t + jAe^{\sigma t} \sin w t$ 实部为振幅随时间变化的余弦函数，虚部为振幅随时间变化的正弦函数。σ 表示了正、余弦信号振幅随时间变化的情况，w 是正、余弦信号的角频率。 ● 科学家欧拉的故事 莱昂哈德·欧拉（Leonhard Euler，1707-1783），瑞士数学家、自然科学家。欧拉是 18 世纪数学界最杰出的人物之一，在科学界享有泰山北斗的崇高地位。 欧拉毕生成就卓著，让我们一起来观赏大神的个人履历： 13 岁，考入名校巴塞尔大学，同时修六个专业（哲学、法学、数学、神学、希伯来语、希腊语），戏路宽广，无人能敌！



15 岁，本科毕业。16 岁，硕士毕业。

19 岁，博士毕业。（传说中的本硕博连读，我们上大学的年纪，欧神已经博士毕业，独孤求败了！）

20 岁，参加巴黎科学院奖金的角逐，没成想才得第二名，欧拉大受刺激，在接下来 12 年连拿 12 个冠军，终于看破红尘，不参加比赛了。

22 岁，在写给哥德巴赫的一封信中，给出了伽马函数的定义。

25 岁，得到了欧拉-麦克劳林求和法。

26 岁，彼得堡科学院数学教授。

27 岁，推广了以下符号： $f(x)$ 、 $\sin$ 、 $\cos$ ， $\tan$ ，它们伴随我们度过了小学、初中、高中、大学。给出了欧拉常数，该数是否为超越数，至今无人知晓。

28 岁，欧拉解决了计算彗星轨道天文学难题，这个问题几个著名数学家几个月的努力才得到解决，而欧拉却用自己发明的方法，三天便完成了。

28 岁，右眼失明。

29 岁，《力学或解析地叙述运动的理论》出版，提出诸如质点的概念、在运动学中引入矢量。

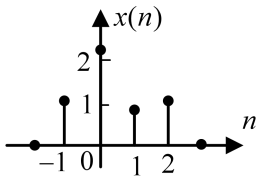
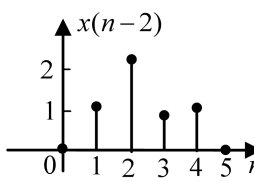
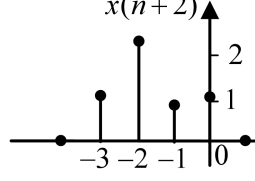
32 岁，出版音乐著作《建立在确切的谐振原理基础上的音乐理论的新颖研究》

33 岁，攻克了巴塞尔问题。

34 岁，解决了七桥问题。发表了图论领域最早的文献。

37 岁，给出了著名的欧拉恒等式。

	41 岁，出版了划时代代表作《无穷分析引论》，该书在数学史上地位显赫，是对数学发展影响最大的七部名著之一。 43 岁，给出了多面体公式，这是组合拓扑的雏形。 48 岁，出版了《微分学》。 59 岁，左眼失明。 完全失明后，因为熟知所有数学公式、能够心算高等数学，写出 400 多篇论文。出版了三卷本《积分学》，还出版了影响甚广的《代数导引》。 64 岁，因家中失火，大部分研究被焚毁，神奇的欧拉用了一年的时间口述了所有这些论文并作了修订（后人整理他的著作，花了 100+年，一个世纪啊，在欧拉那里，不过一年！）。 76 岁，欧拉为了庆祝他计算气球上升定律的成功，请朋友们吃饭，那时天王星刚发现不久，欧拉写出了计算天王星轨道的要领，还和他的孙子逗笑。他喝完茶后，突然疾病发作，烟斗从手中落下，口里喃喃地说：“我要死了”。这是欧拉对生命的最后一次计算。随后，他便告别了人世。 思政元素切入：科学家精神。 欧拉在科研路上锲而不舍、追求真理的执着精神值得后人学习，激励我们奋勇前行。即使他完全失明后，依然奋斗在科研一线，写出 400 多篇论文，纵然是家中失火导致研究材料被毁，仍然坚持口述重新修订出论文。
分析评价	该案例在讲解复指数信号时，引出欧拉定理，进而通过科学家欧拉的故事，培养学生艰苦奋斗、追求真理等品质。课程思政点切入自然，润物无声，实现了知识传授、能力培养与价值塑造相统一，达到了课程育人的目的。
评价者	贾惠琴、教授、西安石油大学

案例编号	20042115-008
案例标题	序列的运算
案例来源	原创案例
内容简介	系统在输入不同的信号，进行不同的运算，产生不同的输出响应。 在现在这个信息化时代的大背景下，引导学生不仅要学习过硬的专业课知识，还应该广泛地学习多方面的知识，在网络上学习时，要学习有“正能量”的知识，避免在内心产生不良“响应”的“输入信号”。
关键词	运算，序列，提升自我，筛选
编写时间	2022-5-14
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字，图片
育人主题	提升自我，获取“正能量”
素材长度	1052 个字符
案例正文	课程内容： 离散时间信号（即序列）的基本运算包括移位、反折、求积、乘积、差分运算和尺度变换。 1. 序列的移位 设某一序列为 $x(n]$，若 $m > 0$，则 $x(n-m)$ 表示序列 $x(n)$ 整体右移了 m 个样点形成的新序列，也称 $x(n-m)$ 是 $x(n)$ 的 m 个样点的延迟。此时 $x(n+m)$ 表示序列 $x(n)$ 左移了 m 个样点形成的新序列，也称 $x(n+m)$ 是 $x(n)$ 的 m 个样点的超前。 例 1： $x(n)$ 如图 1（a）所示，画出 $x(n-2)$ 和 $x(n+2)$ 的图形。  (a) $x(n)$  (b) $x(n-2)$  (c) $x(n+2)$ 图 1 序列的移位 2. 序列的反折

设某一序列为 $x(n)$ ，则 $x(-n)$ 是以 $n=0$ 为对称轴将序列 $x(n)$ 水平翻转， $x(-n)$ 称为序列 $x(n)$ 的反折。若 $x(n)$ 如图 2 (a) 所示，则 $x(-n)$ 如图 2 (b) 所示。

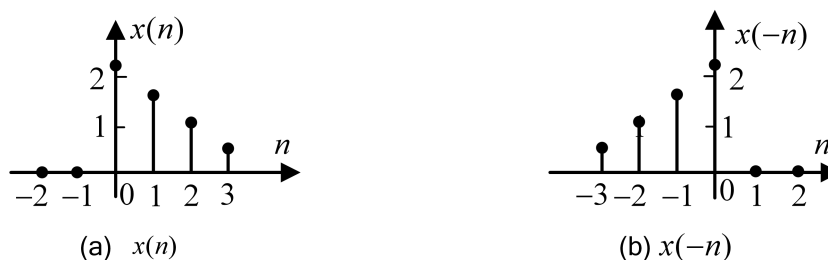


图 2 序列的反折

3. 序列的求和

$x(n)$ 与 $y(n)$ 两个序列之和是指两个序列同序号（即 n 相同）的序列值逐项对应相加构成一个新的序列 $z(n)$ ，表示为

$$z(n) = x(n) + y(n)$$

4. 序列的乘积

$x(n)$ 与 $y(n)$ 两个序列的乘积是指两个序列同序号（即 n 相同）的序列值逐项对应相乘构成一个新的序列 $z(n)$ ，表示为

$$z(n) = x(n) \cdot y(n)$$

课程思政引入：

对于一个系统输入不同的信号，进行不同的运算，产生不同的输出响应。我们都知道人体是精密、庞大又复杂的系统，我们输入的信号都会产生相应的响应，不同的输入信息会有不同的输出行为。在现在这个信息化时代的大背景下，作为学生不仅要学习过硬的专业课知识，还应该广泛地学习多方面的知识，努力提升自己的各方面能力。



	有些学生自从考上大学以后，每天只知道在宿舍里打游戏，哪怕听课也一直在玩手机，认为拿到毕业证就可以找到好工作了，事实真的如此吗？根据调查显示，我国本科生毕业人数日益增长，这也说明了我国人民素质的提高，不得不承认的是，本科生的含金量不再有以前那么吃香，基本上每家每户都有大学生。每年迎来毕业季，学生就会在网站上投递自己的简历，也有很多大学生毕业即失业，并没有学得一技之长，最终靠着父母维持生计，过着啃老的生活。大学生同样都是 20 岁，但是有些人却活出了自己想要的样子，让无数人羡慕，而有些人却已经违背了自己的初衷，过着“行尸走肉”的生活。这就是不同的输入信号，不同的运算过程，得到的不同的结果。
	该部分主要讲解序列基本运算，系统在输入不同的信号，进行不同的运算，产生不同的输出响应。鼓励学生把握好大学时光，多进行好的知识输入，进行积极的运算，大学四年才能获得好的响应。
评 价 者	刘宝盈、教授、商洛学院

案例编号	043203-009
案例标题	离散序列卷积运算
案例来源	原创案例
内容简介	课程组加强实践环节，将离散序列卷积设计为混合式教学，在讲授理论知识后，将学生分为两组，一组利用计算机进行卷积计算，另一组利用卷积的定理进行手算。通过比赛的形式鼓励学生引导学生认真学习相关专业知识，努力拼搏，为建设科技强国贡献自己的力量。
关键词	离散时间信号、卷积、科技强国
编写时间	2022-6-15
编者	王园园，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	团结协作
素材长度	752 个字符
案例正文	课程内容： 一、教学目的 (1)熟悉卷积的定义和表示； (2)掌握利用计算机进行卷积运算的原理和方法； (3)熟悉连续时间信号、离散信号的相关计算方法； (4)熟悉连续时间信号卷积运算、离散信号卷积运算函数 <code>conv</code>、反卷积 <code>deconv</code> 函数等的应用。 二、教学原理 1.卷积的定义：卷积是一种特殊函数与函数之间的计算。 离散信号卷积积分 2.卷积计算的几何解法 卷积积分计算从几何上可以分为四个步骤： 翻转 → 平移 → 相乘 → 叠加（积分） 3.卷积积分的应用 卷积积分是信号与系统时域分析的基本手段，主要应用于求系统零

状态响应。它将输入信号分解为众多的冲激函数之和，利用冲激响应可以很方便求解 LTI 系统对任意激励的零状态响应。

设一个线性零状态响应系统，已知系统的单位冲激响应为 $h_1(t)$ ，当系统的激励信号为 $x(t)$ 时，系统的零状态响应为 $y_{zs}(t) =$

可以简记为： $y_{zs}(t) = x(t) * h(t)$

三、教学内容

将学生分为两组，一组利用计算机进行卷积计算，另一组利用卷积的定理进行手算。采用函数 `conv` 编程，实现离散时间序列的卷积和运算，完成两序列的卷积和，其中： $f_1(k) = \{1, 2, 1\}$ ，对应的 $k_1 = \{-1, 0, -1\}$ ； $f_2(k) = \{1, 1, 1, 1, 1\}$ ，对应的 $k_2 = \{-2, -1, 0, 1, 2\}$ 。进行速度比较。

四、思考题

函数 `conv` 既不给出也接受任何时间信号，怎样才能得到卷积以后的时间信息（即卷积的起点和终点）？请利用卷积函数编写一个可以得到时间信息的改进程序。

课程思政：课程组加强实践环节，将离散序列卷积设计为混合式教学，在讲授理论知识后，将学生分为两组，一组利用计算机进行卷积计算，另一组利用卷积的定理进行手算。



进行计时演算，可以预测在数据较少环节两者速度相当，数据较多后计算机辅助计算速度明显较快，随着数据的增加，差距越开越大，使学生真实感受到计算机带给现代生活科研的便利，引申到现代科学带给

	生活的便利，鼓励学生引导学生认真学习相关专业知识，努力拼搏，为建设科技强国贡献自己的力量。
分析评价	本案例精心设计了教学内容，紧密结合工程实际，引入课程思政内容，力求把重点讲实、难点讲透、疑点讲清。在教学中进行实践鼓励学生引导学生认真学习相关专业知识。
评 价 者	郭琳、教授、商洛学院

案例编号	20042115-010
案例标题	LTI 系统的因果性
案例来源	原创案例
内容简介	讲解系统的分类：因果系统和稳定系统，结合电信学院教师李亚文老师的个人经历，引申到“一个人要想在某个方向上有输出响应，就需要在该方向上持续下功夫”。
关键词	因果系统、非因果系统、稳定系统、不稳定系统；
编写时间	2022-06-16
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	提高学生学习积极性、勉励学生认真求学等；
素材长度	950 字符
案例正文	知识点内容：系统的因果性 一、因果系统 1.因果系统定义 如果 n 时刻的输出还取决于 n 时刻以后的输入序列，在时间上违背了因果性，系统无法实现，则系统被称为非因果系统。 如果系统 n 时刻的输出，只取决于 n 时刻以及 n 时刻以前的输入序列，而和 n 时刻以后的输入序列无关，则称该系统具有因果性质，或称该系统为因果系统。 因果性的充分必要条件是系统的单位脉冲响应满足： $h(n)=0, \quad n<0$ 因果系统启发我们：如果要想在某一个方向上取得成绩，就得在这个方向上持续下功夫，精进自己的技能。机会是留给有准备的人，世界上从来没有不劳而获的果实，只有努力奋斗后自然的开花结果。 思政故事切入：身边人的故事：商洛学院电信学院李亚文老师的精进教学之路。 李亚文老师，2010年毕业于长安大学信号与信息处理专业，

	任教于商洛学院电子信息与电气工程学院。入校以来，李亚文老师一直潜心钻研自己的教学基本功，陆续取得以下的成绩： ● 2016 年，荣获校级教学竞赛一等奖； ● 2017 年，获批教改项目和教改论文； ● 2018 年，荣获省级教学竞赛一等奖； ● 2019 年，荣获校级教学成果一等奖，同年建设在线开放课程； ● 2020 年，荣获校级教学名师，同年获批教改论文。 ● 2021 年，《信号与系统》课程被评为省级一流课程，同年获批省级教改项目。 通过身边人的案例：李亚文老师的教学经历，我们可以看出：她一直奋斗在教学一线，教学上，她真心对待学生，认真讲好每一节课，始终牢记自己曾经选择教育行业的初心。为了内心那份对教育事业的热爱与执着和对商洛学院独特的个人情怀，她精进自己的教学，从讲课比赛一等奖到教学成果一等奖，从教学名师到省级一流课程，每一步都走的很扎实。这不是靠运气凭空获得的，而是靠汗水和心血努力奋斗之后的自然结果。 课程思政升华：一分耕耘，一分收获，任何经历都不会白费！ 向学生指出：李亚文老师在教学方面取得的成绩启发我们：一分耕耘，一分收获，任何经历都不会白费！要想取得一定的成绩，就需要肯花时间，肯牺牲，肯研究，肯付出，这样才能有所收获！
分析评价	该案例在讲解完因果系统和非因果系统概念的过程中，以身边人的故事案例，勉励学生认真学习，避免不劳而获的思想蔓延，达到了课程育人的目的。
评价者	刘宝盈、教授、商洛学院

案例编号	20042115-011
案例标题	LTI 系统的稳定性
案例来源	原创案例
内容简介	讲解 LTI 连续系统的稳定性及其分类，从系统稳定性引申到国家稳定性，通过引用邓小平的语录，让学生深刻明白“国家稳定团结的重要性”，提升爱国主义。
关键词	系统、稳定、系统函数、极点；
编写时间	2022-5-6
编者	王园园，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	理解国家稳定团结的重要性、提升爱国主义；
素材长度	870 字符
案例正文	知识点内容：LTI 连续系统的稳定性 ● 稳定性的定义 稳定性是系统本身的性质之一，与激励信号无关。 由输入-输出关系定义稳定系统为：有界输入产生有界输出（简称 BIBO）的系统。如果对有界激励，系统的响应无界，系统就是不稳定的。LTI 系统 BIBO 稳定的充分必要条件是单位冲激响应绝对可积： $\int_{-\infty}^{\infty} h(t) dt \leq M$ 式中，M 为一有界的实数。满足上式的 h(t)，一定是随时间衰减的函数，即 $\lim_{t \rightarrow \infty} h(t) = 0$。 ● 稳定性分类：稳定、不稳定、临界稳定。 LTI 系统的系统函数与单位冲激响应集中表征了系统特性，稳定性也必在其中。因此既可以由 $\lim_{t \rightarrow \infty} h(t)$ 的不同情况，也可以由 H(s) 的极点分布，对系统稳定性分类。 稳定：当 H(s) 的全部极点在 S 的左半平面(不含 jw 轴)，则单位冲

激响应满足 $\lim_{t \rightarrow \infty} h(t) = 0$ ，系统稳定。

不稳定：若 $H(s)$ 有极点落在 S 的右半平面，或者 $j\omega$ 轴、原点处有二阶以上的重极点，则单位冲激响应为 $\lim_{t \rightarrow \infty} h(t) \rightarrow \infty$ ，系统不稳定。

临界稳定：若 $H(s)$ 在原点或 $j\omega$ 轴上有一阶极点，虽然单位冲激响应 $\lim_{t \rightarrow \infty} h(t) \neq 0$ ，但 $|h(t)| < M, 0 < t < \infty$ 。

例 1. 设线性时不变系统的单位脉冲响应 $h(n) = a^n u(n)$ ，式中 a 是实常数。试分析该系统的因果稳定性。

解： $h(n)$ 中含有 $u(n)$ ，当 $n < 0$ 时， $h(n) = 0$ ，是因果系统。

要判断系统是否稳定，需判断 $h(n)$ 是否绝对可和。

$$\begin{aligned} \sum_{n=-\infty}^{\infty} |h(n)| &= \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{n=0}^{N-1} |a|^n \\ &= \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1 - |a|^N}{1 - |a|} \end{aligned}$$

只有当 $|a| < 1$ 时， $\sum_{n=-\infty}^{\infty} |h(n)| = \frac{1}{1 - |a|}$

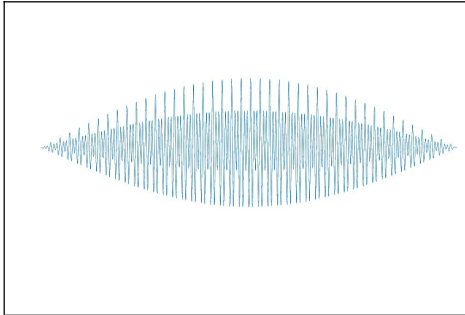
课程思政升华：系统稳定是发展的前提，国家稳定是国家健康发展的前提。

邓小平语录：中国的问题，稳定需要团结，压倒一切的是需要稳定。没有稳定的环境，什么都搞不成。稳定需要团结，才能稳定。要使社会长期稳定。国家长治久安，离不开党与人民群众钢铁般的团结。
——邓小平



向学生指出：作为当代青年大学生，要以爱国主义为核心，反对

	任何诋毁企图分裂祖国的言论和行为。要通过自己的努力学习来建设祖国，让祖国变得更强大，从而实现自己的人生价值。
分析评价	该案例通过讲解系统稳定性的定义和分类，从系统稳定性引申到国家稳定性，从而增强学生的爱国主义精神，达到课程育人的目的。
评价者	袁训锋、教授、商洛学院

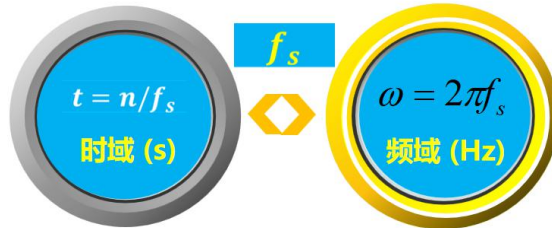
案例编号	20042115-012
案例标题	序列傅立叶变换的定义
案例来源	原创案例
内容简介	在信号与系统概述部分，通过讲解科学家傅里叶的生平故事，从而在精神上滋养学生，使之坚定理想信念，学好本领建设国家，实现个人的人生价值。
关键词	傅立叶变换、傅里叶、科学家精神；
编写时间	2022-12-28
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	领悟科学家精神：不畏艰难、追求真理、求知若渴等
素材长度	1205 字符
案例正文	课程导入：声音中的频谱  跳跃的不同音符——不同声音的时域信号 耳朵听到的声音——时域信号所对应的频率特点 其实，上面的一段音乐可以由电脑通过 MATLAB 合成。以一段 MATLAB 的乐曲（动态图）展示，引起兴趣，引出本节内容：傅立叶变换。 授课内容： 一、傅立叶变换定义 $X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)e^{-j\omega n} = FT[x(n)]$ 时间：n—离散 频率：ω —连续

二、傅立叶变换存在的条件

存在的充分条件满足：
$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} |x(n)| < \infty$$

三、傅立叶反变换定义

$$x(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} X(e^{j\omega}) e^{j\omega n} d\omega = IFT[X(e^{j\omega})]$$



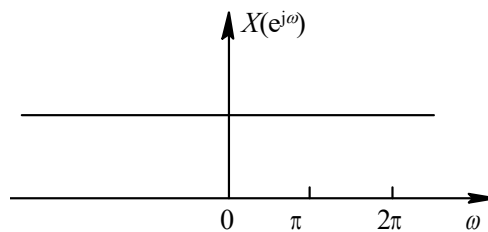
傅里叶变换与傅里叶反变换是一一对应的。

例 1：已知 $x(n)=\delta(n)$ ，利用傅立叶变换求它的频谱函数。

解：

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(n) e^{-j\omega n}$$

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(n) e^{-j\omega n} \Big|_{n=0} = 1$$



四、频谱函数

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) e^{-j\omega n} = X_R(e^{j\omega}) + jX_I(e^{j\omega})$$

复数表示：
$$X(e^{j\omega}) = |X(e^{j\omega})| e^{j\arg[X(e^{j\omega})]}$$

幅频特性：
$$|X(e^{j\omega})| = \sqrt{X_R^2(e^{j\omega}) + X_I^2(e^{j\omega})}$$

相频特性：
$$\phi(\omega) = \arg[H(e^{j\omega})] = \arctan[X_I(e^{j\omega}) / X_R(e^{j\omega})]$$

● 科学家傅里叶的介绍

傅里叶，全名为让·巴普蒂斯·约瑟夫·傅里叶(Jean Baptiste Joseph Fourier, 1768-1830)，法国著名数学家、物理学家，在研究热的传导问题时提出傅里叶分析的原始理论。

● 科学家傅里叶的科研故事

傅里叶关于热的解析理论的创立和完善经历了3个标志性的时间节点：

(1)1807年，提交论文《热的传播》，提出了结论“任何连续周期信号可以由一组适当的正弦曲线组合而成。”由于此结论中“任何”两字引起一些争议，故论文被拒绝了。

(2)1811年，傅里叶修改了他原先的论文再次提交，题目为《热在固体中的运动理论》，仍在文章的严格性和普遍性上被给予了批评，以致这篇论文虽然获得了科学院的奖项但被拒绝发表。

(3)1822年，经过将近十年的努力，傅里叶出版了专著《热的解析理论》，将在一些特殊情形下应用的三角级数方法发展成内容丰富的一般理论，三角级数后来就以傅里叶的名字命名为“傅里叶级数”，在处理无穷区域的热传导问题导出了“傅里叶积分”，傅立叶级数、傅立叶分析等理论均由此创始。

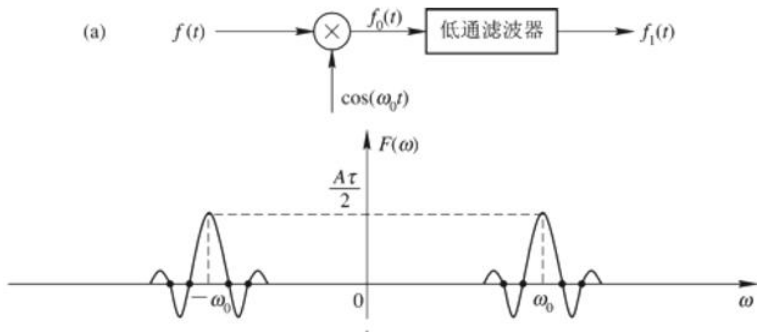
详实的理论、严谨的推导、创新的概念使之成为一部在数学史乃至科学史上公认的划时代经典著作。毫无疑问，傅里叶是一个值得铭记的人，他的名字被镌刻在法国埃菲尔铁塔上以供世人纪念，建立了约瑟夫傅里叶大学，还有一颗小行星以他命名。

在辉煌成就的背后，傅里叶却有着坎坷磨难的一生。他9岁时成了孤儿，在法国大革命时期生活动荡不安，但这些艰难并未阻止他对科学的热爱。傅里叶自小对数学产生了浓厚的兴趣，他认为数学是解决实际问题的最卓越的工具，对自然界的深刻研究，是数学发现的最富饶的源泉。他恪守这一信念，穷其一生追求真理，最终获得全世界认可。

思政元素切入：科学家精神。

傅里叶的追求科学坚持真理的执着精神同样值得后人传扬，打破传

	统敢于创新的思维模式同样值得后人学习。他凭着实事求是的科学态度对待自己的研究成果，坚持正确的结论坚定不动摇；对于他人的质疑采取理性的态度，在已有成果上精益求精，做出完善的补充和修改；对于屡次的否定却始终不放弃，十几年如一日，孜孜不倦地学习和研究，相信真理一定会得到世界的肯定，在这种百折不挠的信念支持下，最终诞生了经久流传的科学著作。 互动提问：拉格朗日当时拒绝傅里叶，是拉格朗日错了吗？ 参考：傅里叶的研究成果按当时的理论水平确实存在争议，是后来狄里赫利证明了傅里叶变换的正确性，当时拉格朗日拒绝傅里叶发表其研究成果才是科学严谨性的体现。
分析评价	该案例从通过科学家傅里叶的故事，培养学生敢于说真话、讲真理、精益求精、追求卓越、严谨好学等品质。同时，树立学生终生学习的理念，适时加强学习，不断提高自我修养，才能实现人生价值并不负于国家和时代的重任，达到了课程育人的目的。
评价者	刘宝盈、教授、商洛学院

案例编号	20042115-013
案例标题	傅里叶变换性质
案例来源	原创案例
内容简介	讲解傅里叶变换的频域特性，结合实际应用，引申到调制特性在通信技术中的应用，分析当先 5G 技术的发展，以及 5G 技术的制定者我国民族企业华为通信技术有限公司，在抵制美国的一系列制裁，始终坚持初衷，实现 5G 科技领先，增加学生的民族自豪感和自信心。
关键词	傅里叶性质，频移特性，5G 通信技术，民族自豪感，职业理想
编写时间	2022-12-28
编者	李亚文，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	增加学生的民族自豪感和自信，激发学生的专业责任与使命
素材长度	1249 个字符
案例正文	知识点内容：傅里叶变换性质中的频移特性（也称为调制特性） 若 $f(t) \leftrightarrow F(\omega)$，则 $f(t)e^{j\omega_0 t} \leftrightarrow F(\omega - \omega_0)$ 该性质主要使用在通信系统中，为了将低频信号分布在不同的频率段，在信号发送之前都要进行信号调制： $f(t) \cos(\omega_0 t) \leftrightarrow \frac{1}{2} [F(\omega - \omega_0) + F(\omega + \omega_0)]$ $f(t) \sin(\omega_0 t) \leftrightarrow \frac{1}{j2} [F(\omega - \omega_0) - F(\omega + \omega_0)]$  图 1 调制原理框图

案例正文	调制在通信系统中有十分重要的作用。通过调制，不仅可以进行频谱搬移，把调制信号的频谱搬移到所希望的位置上，从而将调制信号转换成适合于传播的已调信号，而且它对系统的传输有效性和传输的可靠性有着很大的影响，调制方式往往决定了一个通信系统的性能基带信号往往不能作为传输信号，因此必须把基带信号转变为一个相对基带频率而言频率非常高的信号以适合于信道传输。这个信号叫做已调信号，而基带信号叫做调制信号。 调制是通过改变高频载波即消息的载体信号的幅度、相位或者频率，使其随着基带信号幅度的变化而变化来实现的。而解调则是将基带信号从载波中提取出来以便预定的接收者（也称为信宿）处理和理解的过程。 事件引入：华为 5G 通信技术 目前，通信技术已经与我们的生活息息相关，广泛于各行各业中，从最早的 2G 到 4G，再到现在的 5G 技术，是通信技术日益革新的见证。值得骄傲的是，5G 的标准是我国的民族企业华为通信技术有限公司制定的，目前有华为通信多项核心技术处于世界领先地位，而其中 5G 通信相关技术是让美国最为忌惮的一项技术。在特朗普执政美国时期就曾经对于美国的 5G 战略有着明确的表态：“5G 竞赛是一场美国必须要赢的比赛”，华为在 5G 相关技术方面的领先，是美国难以容忍的，因此华为遭到美国的打压、封杀，除了通过贸易黑名单的方式制裁华为，美国用上了老套的政治手段：通过捏造“莫须有”的罪名逮捕竞争公司相关高管，并处以巨额的罚款，以此来让该公司屈服。美国还选择扣押孟晚舟来限制华为发展 5G 技术，华为没有步阿尔斯通后尘，面对强权的压迫，反而让全公司上下一心，以更加饱满的热情投入工作，在 5G 技术上取得一个又一个的重大突破。正因为华为顶住了压力，让美国无功而返，所以继续扣押孟晚舟也失去了意义，最终释放了孟晚舟女士。华为能够顶住压力，很大程度上是有我们的国家作为坚强的后盾。
------	---



表 2 全球 5G 标准竞争能力前十大公司的国家分布

标准竞争能力	指标	中国	美国	欧洲	韩国	日本
标准必要专利	数量（项）	2134	1228	1105	1835	468
	前十席位	3	2	2	2	1
标准贡献度	指数	24.725	7.995	17.229	6.992	—
	前十席位	4	2	2	2	—
参加标准会议	数量（人）	3302	1735	2770	2195	528
	前十席位	3	2	2	2	1

数据来源：IPInfoc “Who is Leading the 5G Patent Race?” <https://www.freemovepublic.com/focus/6-chat/3716120/>

课程思政升华：增加民族自豪感和自信心，树立远大职业理想

西方国家的打压和封锁也未能阻挡我国的 5G 芯片、手机、基站的发展步伐，华为公司已发布业界首款 5G 芯片，中国通信技术将全球领先。这极大鼓舞了学生学习华为 IT 人精诚合作，勇于创新的企业文化精神，作为电子专业的学生，我们应该树立长远的职业理想，培养学生的家国情怀和使命担当，以引导学生牢固树立为国效力的志向和以助推中国科技发展为己任的爱国意识。

向学生指出：作为当代青年大学生，应该树立民族自豪感和自信心，踏踏实实学好科学文化知识，努力把自己培养锻炼成国家建设的有用人才。要用努力学习的实际行动回击西方敌对势力的险恶图谋。让学生认识到，只要在科技创新的道路上艰苦奋斗，我们国家一样可以做得更好，甚至引领世界，我国人民的生活也会更加美好。培养学生在科技强国道路上的责任感和使命感，让学生认识到，只有认真学习、脚踏实地和不断拼搏奋斗，才能使祖国越来越强大。

案例正文

分析评价	该案例从讲解傅里叶变换的频域特性开始，结合实际应用，引申到调制特性在通信技术中的应用，分析当先 5G 技术的发展，以及 5G 技术的制定者我国民族企业华为通信技术有限公司，在抵制美国的一系列制裁，始终坚持初衷，实现 5G 科技领先，增加学生的民族自豪感、自信心，和电子类专业认同感，倡导学生树立长远的职业理想，以后从事 IT 类相关工作，为科技强国贡献自己的立项。 课程思政点切入自然，润物无声，实现了知识传授、能力培养与价值塑造相统一，达到了课程育人的目的。
评 价 者	贾惠琴、教授、西安石油大学

案例编号	20042115-014
案例标题	傅氏变换和拉氏变换的区别
案例来源	原创案例
内容简介	讲解拉氏变换和傅氏变换的区别联系,通过对比,引申到“科学的发展是曲折中前进的”、“科学家的探索求知精神”等,从而让学生领悟科学家精神,认识到事物的发展总是曲折前进的。
关键词	信号、傅氏变换、拉氏变换;
编写时间	2022-8-06
编者	张娜, 讲师, 电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	科学家精神、科学的发展是曲折前进的;
素材长度	809 字符
案例正文	知识点内容：拉氏变换和傅氏变换的区别 ● 两者都是将信号分解为基本信号元。傅氏变换的基本信号元是 $e^{j\omega t}$, 而拉氏变换的基本信号元是 e^{st}。 ● 傅氏变换的优点: 以傅氏变换为基础的频域分析法, 将时域的微、积分运算转变为频域的代数运算, 简化了运算。 ● 傅氏变换的优点: 傅氏变换在分析信号谐波分量、系统的频率响应、系统带宽、波形失真等实际问题时, 物理概念清楚, 有其独到之处。 ● 傅氏变换的缺点: 对一些不满足绝对可积条件的常用信号如 $u(t)$ 等, 虽然其傅氏变换存在, 但带有冲激项处理时不方便, 尤其用傅氏变换分析系统响应时, 系统初始状态在变换式中无法体现, 只能求系统的零状态响应。另外, 其反变换的复变函数积分计算也不容易。 ● 拉氏变换的优点: 对信号要求不高, 一般常见指数阶信号其变换存在。 ● 拉氏变换的优点: 不但能将时域的微、积分运算转变为代数

	运算，而且既能求系统的零状态响应，也能求系统的零输入响应(初始条件自动引入)。 ● 拉氏变换的优点：有相对简单的反变换方法。 ● 拉氏变换的优点：利用系统函数的零、极点分布，可定性分析系统的时域特性、频率响应、稳定性等。 课程思政升华：科学的发展是曲折中前进的、科学家的探索求知精神。 1807年，傅里叶提交论文《热的传播》，提出了结论“任何连续周期信号可以由一组适当的正弦曲线组合而成”。1811年，傅里叶修改了他原先的论文再次提交，题目为《热在固体中的运动理论》。1812年，拉普拉斯在《概率的分析理论》中总结了当时整个概率论的研究，论述了概率在选举、审判调查、气象等方面的应用，并导入“拉普拉斯变换”。1822年，经过将近十年的努力，傅里叶出版了专著《热的解析理论》，将在一些特殊情形下应用的三角级数方法发展成内容丰富的一般理论。1829年，狄利克雷只有在满足一定条件时，周期信号才能展开成傅里叶级数，这个条件被称为狄利克雷条件。 从科学家提出自己观点、论证观点、发表论文的过程，一方面可以看出科学家的探索求知精神，另一方面可以感悟到科学的发展是在曲折中前进的。一个理论的诞生，要想证明是正确的，需要严谨的推导。
分析评价	该案例通过对比傅氏变换和拉氏变换，从而让学生体会科学家的探索精神、感悟科学的发展的曲折前进性，达到课程育人的目的。
评价者	袁训锋，教授，商洛学院

案例编号	20042115-015
案例标题	S 域的网络模型--运算电路法
案例来源	王清华,郭燕飞.“电路”课程教学内容中变换思想探讨[J].电气电子教学学报,2021,43(03):70-73.
内容简介	在求解电路模型时,分别利用传统解法和拉普拉斯法进行求解,在讲解知识点时就可以引申,当某个问题从一个角度很难分析解决或没有办法分析时,我们可以换个角度去看,从这一思想出发就可以教会学生问题转换的思路,学会创新的思维方式。
关键词	拉普拉斯, 电路, 转换思路
编写时间	2021-1.25
编者	王园园, 讲师, 电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	教会学生问题转换的思路, 学会创新的思维方式。
素材长度	1180 个字符
案例正文	课程内容: 在讲授这个内容时,我们首先采用的是经典法,即根据电路定律和元件的电压、电流关系建立描述电路的方程,而建立的方程是以时间为自变量的线性常微分方程,则求解常微分方程即可得到电路变量在时域的解。对于一阶电路和二阶电路,对应的电路方程是一阶微分方程和二阶微分方程,学生在高等数学课中已经学习了微分方程的求解方法。但遇到具有多个动态元件的复杂电路时,对应的电路方程为高阶常微分方程,此时用直接求解微分方程的方法比较困难。而且高阶常微分方程并没有固定的解法。例如要求解一个 n 阶的常系数线性齐次微分方程,可以运用特征根的方法求解,而非齐次的可降阶的微分方程,可以采用降阶法等等。在高等数学中,拉普拉斯变换是分析和求解常系数微分方程的简捷方法。拉普拉斯变换方法最初由 19 世纪末的英国工程师亥维赛(O. Heaviside, 1850- 1925) 应用到解决电力工程计算中。后来人们根据法国数学家拉普拉斯(P. S. Laplace, 1749-1825) 的著作,对其方法

进行了严格的数学论证。

拉普拉斯变换也是一种积分变换，定义为：

$$F(s) = L[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt$$

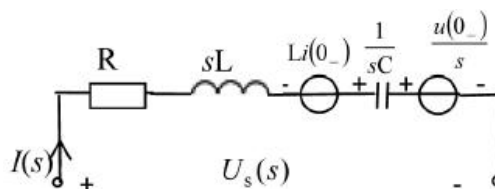
$$f(t) = L^{-1}[F(s)] = \frac{1}{2\pi j} \int_{\sigma-j\infty}^{\sigma+j\infty} F(s)e^{st} ds$$

其中， $F(s)$ 为像函数， $f(t)$ 为原函数。

我们还是以 RLC 串联电路为例，设加在电路两端的电源为 $u_s(t)$ ，图 1 为时域电路，则由基尔霍夫定律可得电路方程为式(1)。非零状态条件下，对微分方程式(1)的两端取拉普拉斯变换可得电路方程为：

$$RI(s) + sLI(s) - Li(0_-) + \frac{1}{sC}I(s) + \frac{u(0_-)}{s} = U_s(s)$$

由上式可以看到，我们将时域的微分方程“变”为复频域的代数方程，运算电路如图 所示，由此解出像函数，再求像函数的反变换得到时域响应，这种方法简化了解题的过程，起到了“变则通”的作用，充分展现了拉普拉斯变换将给定的函数通过广义积分变为一个新的函数的意义所在。拉普拉斯变换方法也称为运算法。



拉普拉斯变换方法是对连续时间系统进行分析的重要方法之一。与相量法相比较，它可以应用于更广泛的输入信号。傅里叶变换是拉普拉斯变换的特例。与拉普拉斯变换相比，傅里叶变换能更深入地了解信号的频率特性。傅里叶变换特别适用于稳态分析。拉普拉斯变换更适合于包含初始条件的瞬态问题的分析。因为它允许包含初始条件，所以我们能够一次得到电路的瞬态响应和稳态响应。拉普拉斯变换的另外一大优势是引入了 S 域系统函数后，其零极点联系了系统的时域和频域特性，可直观的分析控制系统的运动过程，判断系统的稳定性，这在控制系统中尤为重要。

	思政引入：课程中的变换思维是指根据电路理论的相关知识，结合数学方法提出灵活的设想和分析在教学过程中，教师要首先要求学生“博学”，充分的了解电路与数学的知识；然后引导学生“审问、慎思”，对于同一个问题通过变换不同的角度，另辟蹊径，培养学生的变通思维，训练学生用变换的角度去思考问题；最后启发学生“明辨、笃行”，使学生学会问题转化，将复杂工程问题转化成简单问题，将抽象问题具体化。
分析评价	案例在讲解知识点时引申说明，当某个问题从一个角度很难分析解决或没有办法分析时，我们可以换个角度去看，这时就会发现问题可能很容易解决，从这一思想出发就可以教会学生问题转换的思路，学会创新的思维方式。
评 价 者	贾惠琴、教授、西安石油大学

案例编号	20042115-016
案例标题	傅里叶级数
案例来源	原创案例
内容简介	采用“生活案例+小视频”方式，引起学生对傅里叶级数学习的兴趣、讲授周期信号三角函数形式傅里叶级数的定义，分析傅里叶级数展开的内涵和意义，引领学生认识到在信号分析中进行时域到频域转换的作用和价值，指导学生对待问题，遵循事物内在逻辑，深入思考分析，转变固有思维，选择适当的方法和实现手段，寻找解决问题的新角度，科学地分析问题和解决问题。
关键词	转变固有思维，傅里叶级数
编写时间	2022-9-16
编者	王园园，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字，图片
育人主题	转变固有思维，选择适当的方法和实现手段，寻找解决问题的新角度，科学地分析问题和解决问题。
素材长度	1052 个字符
案例正文	课程内容： 一、 Fourier 级数的定义 背景： (1) 波的分析：频谱分析 . 基频 $\frac{1}{T}$ ($T = \frac{2\pi}{\omega}$). 倍频. (2) 函数展开条件的减弱：积分展开 . (3) R^n 中用 <i>Descartes</i> 坐标系建立坐标表示向量思想的推广： 调和分析简介：十九世纪八十年代法国工程师 Fourier 建立了 Fourier 分析理论的基础. (一) 定义 设 $f(x)$ 是 $(-\infty, +\infty)$ 上以 2π 为周期的函数，且 $f(x)$ 在 $[-\pi, \pi]$ 上绝对可积，称形如

$$\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$$

的函数项级数为 $f(x)$ 的 Fourier 级数或三角级数 ($f(x)$ 的 Fourier 展开式), 其中

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx, \quad a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx dx, n = 1, 2, \dots,$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nx dx, n = 1, 2, \dots$$

称为 $f(x)$ 的 Fourier 系数, 记为 $f(x) \sim \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$

定理 1 若级数 $\frac{|a_0|}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (|a_n| + |b_n|)$ 收敛, 则级数

$\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$ 在 $\mathbf{R}$ 内绝对且一致收敛。

证明: 用 $\mathbf{M}$ 判别法。

(二) 说明

1) 在未讨论收敛性, 证明 $\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$ 一致收敛到 $f(x)$ 之前, 不能将“ $\sim$ ”改为“ $=$ ”; 此处“ $\sim$ ”也不包含“等价”之意, 而仅仅表示 $\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$ 是 $f(x)$ 的 Fourier 级数, 或者说 $f(x)$ 的 Fourier 级数是 $\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$. 2) 要求 $[-\pi, \pi]$ 上 $f(x)$ 的 Fourier 级数, 只须求出 Fourier 系数。

3) 计算 $f(x)$ 的 Fourier 系数的积分也可以沿别的长度为 2π 的去件来积. 如

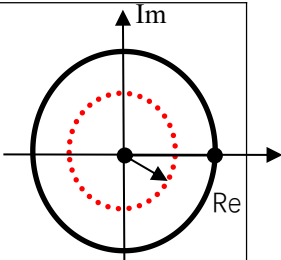
$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) dx, \quad a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos nx dx, n = 1, 2, \dots,$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin nx dx, n = 1, 2, \dots$$

4) 如果 $f(x)$ 仅定义在长为 2π 的区间上, 例如定义在 $[0, 2\pi)$ 上, 此时

	$f(x)$ 不是周期函数, 从而不能按上述方法展开为 Fourier 级数. 但可对 $f(x)$ 在 $[0, 2\pi)$ 外补充定义, 使其以 2π 为周期, 如定义 $\tilde{f}(x) = f(x - 2n\pi), \quad x \in (2n\pi, 2(n+1)\pi)$ 它有下列性质: a) $x \in [0, 2\pi)$ 时, $\tilde{f}(x) = f(x)$; b) $\tilde{f}(x)$ 以 2π 为周期. 思政引入: 本讲课的内容是“周期性信号的傅里叶级数分析”, 通过教学帮助学生了解傅里叶分析方法的历史, 掌握连续时间周期信号的傅里叶级数, 周期信号的频谱特性, 理解信号频谱的概念。引导学生发现身边的科学问题, 培养学生分析问题、解决问题和初步进行科学研究的能力。提高学生对专业基础课学习的认同感和关注度, 激发他们学习的热情和动力。在实现传授知识、培养能力与提高素质的同时, 融入培育科学思维、培养科学精神、增强民族使命感的思政教学目标。 本课程思政案例和本讲课的内容是完全契合的, 课程思政案例同时也是课程专业知识的典型案例, 课程思政案例的教学内容三角函数的傅里叶级数, 是本讲课的第一个知识点, 也是本讲课的基础内容和重要组成部分。 案例中, 从视频演示多次正弦波合成为方波的过程到积土成山、聚沙成塔、锲而不舍、永不懈怠的精神; 从视频演示方波分解为正弦波的过程, 分析时域到频域转换的作用和价值到多角度分析问题、解决问题的科学思维。
分析评价	采用“生活案例+小视频”方式, 引起学生对傅里叶级数学习的兴趣、指导学生对待问题, 遵循事物内在逻辑, 深入思考分析, 转变固有思维, 选择适当的方法和实现手段。
评 价 者	李芳、教授、西安理工大学

案例编号	043203-017
案例标题	Z 变换的定义
案例来源	原创案例
内容简介	讲解 Z 变换的定义，结合实际应用，引申到 Z 变换在军事雷达中的应用，激发学生的爱国精神，从雷达技术的不断发展引出人们对科学的追求是无止境的，激发学生不断追求进步的精神。增加学生的民族自豪感和自信心倡导学生树立长远的职业理想，以后从事 IT 类相关工作，为科技强国贡献自己的立项。
关键词	Z 变换的定义，Z 变换在军事雷达中的应用，民族自豪感，职业理想
编写时间	2022-12-20
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	领悟科学家精神，增加学生的民族自豪感.
素材长度	2028 个字符
案例正文	知识点内容：Z 变换的定义 序列 $x(n)$ 的 Z 变换定义为： $X(Z) \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)z^{-n} \quad (1)$ 式中，z 是一个复平面，它所在的复平面称为 Z 平面。 (1) 式中 Z 变换存在的条件是符号右边级数收敛，要求级数绝对可和，即： $\sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)z^{-n} < \infty \quad (2)$ 使 (2) 式成立时，变量 Z 取值的域称为收敛域。一般收敛域为环状域，即： $R_{x^{-}} < Z < R_{x^{+}}$

	(3) 令 $Z = e^{j\omega}$，代入 (3) 式得到 $R_{x^-} < r < R_{x^+}$， 收敛域是分别以 R_{x^-} 和 R_{x^+} 为收敛半径的两个圆形成的环状域。R_{x^-} 可以小到 0，R_{x^+} 可以大到 ∞。 
	例 1：有以下两个序列：分别求 ZT，并指明收敛域。 $x_1(n) = \begin{cases} a^n & n \geq 0 \\ 0 & n < 0 \end{cases} \quad x_2(n) = \begin{cases} 0 & n \geq 0 \\ -a^n & n < 0 \end{cases}$ 解： $X_1(z) = \frac{z}{z-a} \quad z > a$ $X_2(z) = \frac{z}{z-a} \quad z < a $ 结论：不同序列 ZT 形式可能相同，但收敛域一定不同，因此指明序列 ZT 时，一定要同时指明收敛域。也就是说序列的 ZT 由其表达式和收敛域唯一的确定。 事件引入：Z 变换在雷达中的应用 雷达（radar: radio detection and ranging），即无线电探测与测距，也称为无线电定位。其基本任务为：测量目标的参数和发现目标的存在。雷达发现目标的物理基础是电磁波在传播过程中遇到目标产生二次散射。雷达测定距离的物理基础是电磁波在均匀介质中匀速直线传播。雷达测定目标角位置的物理基础雷达定向发射和接受电磁波。雷达测定目标速度的物理基础是目标回波的多普勒效应。雷达最初发明于第一次世界大战期间，在当时，德军飞机给英国带来了沉重的打击，其中很重要的原因就是无法进行有效的定位和预警，因此基于电磁学雷达诞生了。在第二次世界大战期间雷达得到了进一步的发展，对雷达发展具有重要影响的高功率磁控管问世，并且首次出现了雷达电子战。战后在冷战阴影下，雷达技术同样发展迅猛，五十年代，大功率苏跳关开始应用于雷达，其发射功率要高于磁控管两个数量级。在七十年代得益于信号处理技术的进步，相控阵雷达如“美军“爱国者系列被大量投入使用。九十年代后，随着微电子机械与信号处理等技术的飞速发展，为有源电扫相控阵

列多功能雷达大战提供了技术动力，这种雷达是新一代高分辨率雷达的代表。兵者，国之大事，不可不察，现如今，信息化与电子对抗对战局的影响显著，雷达的发展同样对国防安全有着至关重要的影响。

雷达技术在军民两界都有着十分广泛的应用。在民用领域，由气象雷达，航行管制（空中交通雷达），宇宙航行中用雷达，遥感，还有飞机导航，航道探测，公路测速等给广大人民群众的生活带来了极大的便利而在军事领域雷达的存在更是至关重要，战场状况瞬息万变，信息的不对称可以给一方带来极大的优势，而雷达正是军队的眼睛，在军事上的主要应用由引导指挥雷达，制导雷达，战场监视雷达等。

雷达信号处理算法中大多数采用 FFT 方法测量频率，如果提高测频精度需增加 FFT 点数，增加 FFT 点数的实质是在整个单位圆（即整个距离谱）上均匀增加频域采样点数，从而造成运算量的成倍增加。Chirp-z 变换可以实现对回波频谱中的某段进行局部细化，从而在采样点数、运算量增加不多的情况下，大大提高雷达的测量精度。



课程思政升华：增加民族自豪感和自信心，树立远大职业理想

我国数千年的国防历史告诫我们：军事发展是国防强大的基础，政治昌明是国防巩固的根本，科技进步是国防强大的动力，国家统一和民族团结是国防强大的关键。只有掌握关键核心技术才拥有创新发展的话语权和主动权，并且事关国家经济安全和国防安全。作为电子专业的学生，我们应该树立长远的职业理想，培养学生的家国情怀和使命担当，以引导学生牢固树立为国效力的志向和以助推中国科技发展为己任的爱国意识。

向学生指出：作为当代青年大学生，应该树立民族自豪感和自信心，踏踏实实学好科学文化知识，努力把自己培养锻炼成国家建设的有用人才。

	才。要用努力学习的实际行动回击西方敌对势力的险恶图谋。让学生认识到，只要在科技创新的道路上艰苦奋斗，我们国家一样可以做得更好，甚至引领世界，我国人民的生活也会更加美好。培养学生在科技强国道路上的责任感和使命感，让学生认识到，只有认真学习、脚踏实地和不断拼搏奋斗，才能使祖国越来越强大。
	激发学生的爱国精神，激发学生不断追求进步的精神
分析评价	该案例从讲解 Z 变换的定义开始，结合实际应用，引申到 Z 变换在军事雷达中的应用，激发学生的爱国精神，从雷达技术的不断发展引出人们对科学的追求是无止境的，激发学生不断追求进步的精神。增加学生的民族自豪感、自信心，和电子类专业认同感，倡导学生树立长远的职业理想，以后从事 IT 类相关工作，为科技强国贡献自己的立项。 课程思政点切入自然，润物无声，实现了知识传授、能力培养与价值塑造相统一，达到了课程育人的目的。
评 价 者	李芳、教授、西安理工大学

案例编号	20042115-018														
案例标题	Z 变换收敛域														
案例来源	原创案例														
内容简介	讲解 Z 变换收敛区对序列特性的影响，结合孟母三迁的事例——圈子决定了的命运。激发学生的学习兴趣，激励当代青年应加强学习，不断提高自我修养，才能实现人生价值并不负于国家和时代的重任。														
关键词	Z 变换收敛区，人工智能，学习兴趣														
编写时间	2022-7-06														
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院														
素材形式	文字、图片														
育人主题	激发学生学习兴趣，树立终生学习的理念														
素材长度	2274 个字符														
案例正文	知识点内容： 序列 $x(n)$ 的 Z 变换定义为： $X(Z) \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)z^{-n} \tag{1}$ 对任意序列使式（1）收敛的所有 Z 值，称为 $X(Z)$ 的收敛区。 1.有限长序列 如果序列 $x(n)$ 满足下式： $x(n)=\begin{cases} x(n) & N_1 \leq n \leq N_2 \\ 0 & \text{其它}n \end{cases} \tag{2}$ 其 Z 变换为 $X(Z)=\sum_{N_1}^{N_2} x(n)Z^{-n}=\sum_{N_1}^{N_2} x(n)\frac{1}{Z^n} \tag{3}$ <table><tr><th>序列名称</th><th>N1</th><th>N2</th><th>ROC</th></tr><tr><td rowspan="3">有限长序列</td><td>$N_1 \geq 0$</td><td>$N_2 > 0$</td><td>$0 < Z \leq \infty$</td></tr><tr><td>$N_1 < 0$</td><td>$N_2 \leq 0$</td><td>$0 \leq Z < \infty$</td></tr><tr><td>$N_1 < 0$</td><td>$N_2 > 0$</td><td>$0 < Z < \infty$</td></tr></table>	序列名称	N1	N2	ROC	有限长序列	$N_1 \geq 0$	$N_2 > 0$	$0 < Z \leq \infty$	$N_1 < 0$	$N_2 \leq 0$	$0 \leq Z < \infty$	$N_1 < 0$	$N_2 > 0$	$0 < Z < \infty$
序列名称	N1	N2	ROC												
有限长序列	$N_1 \geq 0$	$N_2 > 0$	$0 < Z \leq \infty$												
	$N_1 < 0$	$N_2 \leq 0$	$0 \leq Z < \infty$												
	$N_1 < 0$	$N_2 > 0$	$0 < Z < \infty$												

2. 右边序列

满足 $n < N_1, x(n) = 0$ 的序列，右边序列的 Z 变换为：

$$X(Z) = \sum_{n=N_1}^{\infty} x(n)Z^{-n} \quad (4)$$

序列名称	N	ROC
右边序列	$N_1 \geq 0$	$R_{x^-} < Z \leq \infty$
	$N_1 < 0$	$R_{x^-} < Z < \infty$

推论：如果序列 $x(n)$ 的 Z 变换的 ROC 包括 $Z=\infty$ 点，则该序列为因果序列，反之亦然。

3. 左边序列

满足 $n > N_2, x(n) = 0$ 的序列，右边序列的 Z 变换为：

$$X(Z) = \sum_{n=-\infty}^{N_2} x(n)Z^{-n} \quad (5)$$

序列名称	N	ROC
左边序列	$N_2 > 0$	$0 < Z < R_{x^+}$
	$N_2 \leq 0$	$0 \leq Z < R_{x^+}$

4. 双边序列

可看作一个左边序列和一个右边序列之和，其 Z 变换为：

$$X(Z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)Z^{-n} = \sum_{n=-\infty}^{-1} x(n)Z^{-n} + \sum_{n=0}^{\infty} x(n)Z^{-n} \quad (6)$$

序列名	N1	N2	ROC
双边序	$N_1 \rightarrow -\infty$	$N_2 \rightarrow \infty$	$R_{x^-} < Z < R_{x^+}$

结论：同一个 Z 变换函数表达式，收敛域不同，对应的序列是不同的。所以， $X(Z)$ 的函数表达式及其收敛域是一个不可分离的整体，求 Z 变换就包括求其收敛域。

事件引入：孟母三迁

收敛域就像我们生活的圈子，对应的序列就像我们的命运一样，圈子决定了的命运。

昔孟子少时，父早丧，母仉[zhǎng]氏守节。居住之所近于墓，孟子学为丧葬，蹙[bi],踊痛哭之事。母曰：“此非所以居子也。”乃去，舍市，近于屠，孟子学为买卖屠杀之事。母又曰：“亦非所以居子也。”继而迁于学宫之旁。每月朔(shuò, 夏历每月初一日)望，官员入文庙，行礼跪拜，揖[yī,拱手礼]让进退，孟子见了，一一习记。孟母曰：“此真可以居子也。”遂居于此。



人生中最大的幸运，不是捡到钱，也不是中奖，而是进入一个对的圈子，让你遇见更好的自己。

在这个世界上，不缺努力进取的人，也不缺聪明智慧的人，但这些人，往往只有进入对的圈子，才能发光发热。张飞和关羽，就是因为进对了圈子，跟对了人，才有机会成为万人敌。

荀子云：“蓬生麻中，不扶而直。白沙在涅，与之俱黑。”杜甫曰：“在山泉水清，出山泉水浊。”一滴水，在海水里是海水，在河水里是河水，在清水里是清水，在污水里是污水，而你就是这滴水。限制一个人发展的，往往不是智商，也不是学历，而是所处的圈子。积极正能量的圈子催人上进，消极负能量的圈子使人堕落。

古语有云：“与善人君，如入芝兰之室，久而不闻其香，即与之化矣；与不善人君，如入鲍鱼之肆，久而不闻其臭，亦与之化矣。”跟什么样的人待在一起，就决定了你会成为什么样的人。跟穷人待在一起，就会变得越来越穷；跟富人待在一起，就会变得越来越富。如果你想要改变人生，实现财富自由，就要努力靠近那些比你更优秀、更富有、更有结果的人。

	课程思政升华：激发学生学习兴趣，树立终生学习的理念 针对学生在课堂总是忍不住看手机的情况，带领大家讨论什么是幸福?大家应该有体验，打游戏、浏览朋友圈、花边新闻只会给你一时的快感，但一周下来，一个月、一个学期这样混过去，总会后悔懊恼，没有发自内心的快乐，反而觉得空虚，当时看似吸引人之后会觉得无聊，一时爽但无意义，这不是幸福。有意义的愉悦感才是幸福，所以把时间花在应该做的有意义的事情上。这样把同学们的兴趣慢慢引导到专业知识的学习上来。 激发学生兴趣，让大家认识到科技发展非常迅速，未来 5 年、10 年我们的工作生活会怎样，充满好奇和期待，作为电子信息类专业的学生不应只是等着科技带来的便利，更应当参与其中，现在应该没有时间颓废、为小事痛苦烦恼，而应该热爱专业，并投入其中。同时，树立学生终生学习的理念，适时加强学习，不断提高自我修养，才能实现人生价值并不负于国家和时代的重任。
分析评价	该案例从讲解 Z 变换收敛区开始，结合孟母三迁的事例—圈子决定了的命运。激发学生的学习兴趣，激励当代青年应加强学习，不断提高自我修养，才能实现人生价值并不负于国家和时代的重任。
评 价 者	郭琳、教授、商洛学院

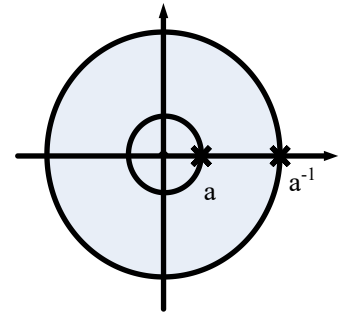
案例编号	20042115-019
案例标题	逆 Z 变换—留数法
案例来源	原创案例
内容简介	讲解序列的逆 Z 变换—留数法开始，运用马克思主义哲学原理，从唯物辩证法的角度设计授课内容，不仅教会学生怎样解决已知问题，也教会学生为什么这样解决问题，以及如何解决未知问题等，实现知识向思维、思维向能力的有效泛化，引导学生从不同角度探寻问题的本质，增强学生的辩证思维能力，真正培养出有知识有能力有素养的新时代人才。
关键词	逆 Z 变换，唯物辩证法，探寻问题本质
编写时间	2022-10-23
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图形、例题
育人主题	引导学生从不同角度探寻问题的本质，增强学生的辩证思维能力
素材长度	1498 个字符
案例正文	知识点内容：逆 Z 变换—留数法 序列 $x(n)$ 的 Z 变换定义为： $X(Z) \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)z^{-n} \quad (1)$ 序列 $x(n)$ 的逆 Z 变换定义为： $x(n) = \frac{1}{2\pi j} \oint_c X(Z)Z^{n-1} dz \quad (2)$ 直接使用（2）式围线积分来计算是困难的，采用留数法。 根据留数定理有： $x(n) = \frac{1}{2\pi j} \oint_c X(Z)Z^{n-1} dz = \sum_k \text{Re } s[F(Z), Z_k] \quad (3)$ （3）式中 $F(Z) = X(Z)Z^{n-1}$，Z_k 为 $F(Z)$ 在围线 c 内的极点，$\text{Re } s[F(Z), Z_k]$ 为 $F(Z)$ 在极点 $Z = Z_k$ 的留数，逆 Z 变换是围线 c 内所有的极点留数之和。 （1）Z_k 为单阶极点，根据留数定理有：

案例正文	$\operatorname{Res}[F(z), Z_k] = [(Z - Z_k)X(Z)Z^{n-1}] _{Z=Z_k} \quad (S=1) \quad (4)$ (2) Z_k 为多阶极点, 根据留数定理有: $\operatorname{Res}[F(z), Z_k] = \frac{1}{(s-1)!} \left\{ \frac{d^{s-1}}{dZ^{s-1}} [(Z - Z_k)^s X(Z)Z^{n-1}] \right\}_{Z=Z_k} \quad (5)$ 问题: 当围线 C 内部出现多重极点时, 留数难求, 怎么办? $= \begin{cases} \sum_{Z_k} \operatorname{Res}[X(Z)Z^{n-1}, Z_k]_{Z=Z_k} & (Z_k \in c \text{ 内}) \\ -\sum_{Z_m} \operatorname{Res}[X(Z)Z^{n-1}, Z_k]_{Z=Z_k} & (Z_k \in c \text{ 外}) \end{cases}$ 事件引入: 运用马克思主义哲学的原理去思考问题、解决问题 在学习信号与系统课程时应避免孤立地、片面地、静止地看待三大变换, 而是用辩证法的原理去加深理解, 起到融会贯通的作用, 并在解决问题时能灵活应用这三个重要工具。我们看到, 傅里叶变换不仅是一组公式、一对变换, 它实际上代表了一种开拓创新的精神、一种转换角度的思维方式, 把信号、系统从时域转换到频域进行研究, 发现事物极为重要的另一面, 更为人称道的是, 它还能从频域返回到时域, 形成了一个完整的转换过程, 相互印证其特性, 使得对于信号、系统的认识更加深刻完整。拉普拉斯变换和 z 变换最初是作为数学变换工具提出的, 应用到信号与系统课程中, 变成了求解系统的利器。三大变换有机结合在信号与系统课程中, 各有侧重, 在一定的条件下相互转化, 这反映出客观世界的多样性、事物之间的普遍联系以及所有事物都处在发展变化之中。因此, 在课程学习的过程中自觉运用马克思主义哲学的原理去思考问题、解决问题, 才能更准确把握问题的本质, 取得相得益彰的效果。 课程思政升华: 引导学生从不同角度探寻问题的本质, 增强学生的辩证思维能力。 作为一门严谨的理工学科, 数字信号处理的诞生、研究、发展既是对模拟信号处理、信号与系统等前身学科的继承, 又聚焦于自身学科的发展矛盾, 发展了一系列具有学科特色的思路方法体系, 其发展变化规律具有普遍性又有特殊性, 是唯物辩证法的具体体现。 通过引入课程思政, 将数字信号处理学科中所蕴含的现象和本质、
-------------	---

	的根本动力，问题的解决需要经过足够多的努力和探索，科学研究突破的“同时性”背后蕴含的矛盾与量质规律等；以学科发展史和关键问题解决突破过程为抓手，阐述清楚世界普遍联系与永恒发展的两个基本特征。
分析评价	该案例从讲解序列的逆 Z 变换—留数法开始，运用马克思主义哲学原理，从唯物辩证法的角度设计授课内容，实现课程知识向思想政治元素在思维、方法、内容、手段上的实例化映射，不仅教会学生怎样解决已知问题，也教会学生为什么这样解决问题，以及如何解决未知问题等，实现知识向思维、思维向能力的有效泛化，真正培养出有知识有能力有素养的新时代人才。 以学科本身蕴含的大量科学思维方法为主要目的讲授数字信号处理课程，易于消除学生对专业课程中加入思想政治元素的抵触情绪，起到“润物细无声”的效果。
评 价 者	袁训锋、教授、商洛学院

案例编号	043203-020
案例标题	逆 Z 变换—部分分式展开法
案例来源	原创案例
内容简介	讲解序列的逆 Z 变换—部分分式展开法开始，通过讲述“天眼之父”南仁东先生带领团队，从论证立项到选址建设落成历时 22 年的艰辛历程，让学生领略时代楷模风采的同时，意识到坚持与执着、责任与担当的可贵，启发学生崇尚追求卓越的创新精神和精益求精的工匠精神，坚定学生刻苦学习专业技能报效祖国的决心，增强学生的民族自豪感。
关键词	逆 Z 变换，“天眼之父”—南仁东，工匠精神
编写时间	2023-2-28
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	讲述科学家的家国情怀，增强学生的民族自豪感和民族自信心
素材长度	2140 个字符
案例正文	知识点内容：逆 Z 变换—部分分式展开法 序列 $x(n)$ 的 Z 变换定义为： $X(Z) \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)z^{-n} \quad (1)$ 序列 $x(n)$ 的逆 Z 变换定义为： $x(n) = \frac{1}{2\pi j} \oint_c X(Z)Z^{n-1}dz \quad (2)$ 直接使用（2）式围线积分来计算是困难的，采用部分分式展开法。 根据 Z 变换的特性： $\begin{aligned} a^n u(n) &\leftrightarrow \frac{1}{1-aZ^{-1}} = \frac{Z}{Z-a} \quad z > a \\ -a^n u(-n-1) &\leftrightarrow \frac{1}{1-aZ^{-1}} = \frac{Z}{Z-a} \quad z < a \end{aligned} \quad (3)$ 所以在给定的收敛域内，把 $X(Z)$ 展成以下部分分式形式。然后再用上面的特例，进行线性叠加即可完成逆 z 变换。 例：已知 $X(Z) = \frac{1-a^2}{(1-az)(1-az^{-1})}$ $a < 1$，求出对应的各种可能的序列表达式。

案例正文	例：已知 $X(Z) = \frac{1-a^2}{(1-az)(1-az^{-1})}$ $a < 1$，求出对应的各种可能的序列表达式。 解： $X(Z) = \frac{1-a^2}{(1-az)(1-az^{-1})}$ $a < 1$ 两个极点 $z = a$ 和 $z = a^{-1}$，将 $X(Z)$ 的收敛域分成三个部分。 $F(z) = X(z)z^{n-1} = \frac{1-a^2}{(1-az)(1-az^{-1})}z^{n-1}$ $z > a^{-1}$： $x(n) = [a^n - a^{-n}]u(n)$ $z < a$： $x(n) = [a^{-n} - a^n]u(-n-1)$ $a < z < a^{-1}$： $x(n) = \begin{cases} a^{-n} & n < 0 \\ a^n & n \geq 0 \end{cases} = a^{ n }$ 结论：Z 变换与逆 Z 变换公式互为可逆，已知序列的时域表达式，通过 Z 变换表达式得其副频域表达式及其收敛域，反之亦成立。 事件引入：光学人物 中国“天眼”之父——南仁东 南仁东，吉林辽源人，中国天文学家、中国科学院国家天文台研究员，曾任 FAST 工程首席科学家兼总工程师，负责国家重大科技基础设施 500 米口径球面射电望远镜的科学技术工作，在世界天文史上镌刻下新的高度。 1945 年，南仁东出生在吉林辽源龙山区。南仁东自幼勤学好问，上初中时曾连续三年六学期荣获全校唯一的“学习标兵”奖状。1963 年，南仁东以平均 98.6 分的优异成绩摘得“吉林省理科状元”，考入清华大学无线电系，成为辽源地区 10 年间唯一考入清华的少年才子。 1977 年国家恢复高考招生。年过而立的南仁东再次加入了“高考大军”。他同样令人震惊，跨专业考入中国科学院天文学研究生。毕业后，南仁东被派去荷兰做访问学者，后被日本国立天文台聘为客座教授，享受世界级别的科研条件和薪水。这期间，他参与了 10 个国家的大型射电望远镜计划，以多项优秀成果赢得了国际天文学界的赞誉。然而，在他
-------------	--



名声大沸之时却做出了一个令人瞩目的决定——身为中国人，祖国让他割舍不下。1990年，他放弃了国外优厚的条件回国就任中国科学院北京天文台副台长。那时，他在国外一天的收入，就抵得上在国内一年的工资。很多人笑他傻，他却淡淡地说道：“在我眼中，知识没有国界，国家要有知识！”这简短的话语，折射出南仁东甘挑中国天文事业担子的信心和勇气。

从1994年到2005年，南仁东带着300多幅卫星遥感图，走遍了贵州大山里的300多个备选点，上百个窝凼。乱石密布的喀斯特石山里，有些荒山野岭连条小路都没有，只能从石头缝间的灌木丛中深一脚浅一脚地一步一步往前挪。终于，功夫不负有心人，当南仁东历尽艰辛深入到黔南州平塘县克度镇金科村大窝凼时，看见四周数百米高的叠嶂山峦环抱着中间一个宛若巨碗的大型“天坑”，刚好能够盛装大面积射电望远镜的巨型反射面，而且附近在半径五公里内没有乡镇或人数超过20人的村落，不会产生任何因调频电台、电视、手机以及其他无线电数据的传输造成的电磁环境干扰，一切自然条件和射电望远镜的需求完美匹配。

在南仁东的亲力亲为下，建设团队克服了深山作业的枯燥乏味和一个又一个看似无解的技术题，FAST历时22年终于在2016年9月25日全部竣工。这个面积相当于30个足球场或八个鸟巢的“中国天眼”，是世界上最大且最灵敏的单口径球面射电望远镜。开机后可以观测脉冲星、中性氢、黑洞等宇宙形成时期的信息，并能接收1351光年外的电磁信号，未来可用于捕捉外星生命信号。比美国“阿雷西博”305米望远镜，综合性能提高约10倍。

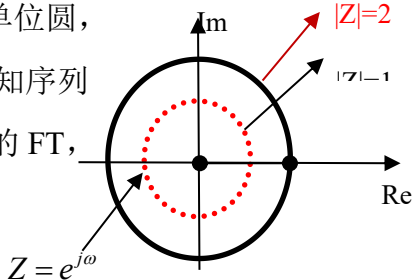


中国天眼完美交工了，作为“中国天眼”之父的南仁东却病重倒下了。

	好多人苦劝南仁东回去疗养，可是他却坚决不肯。大家都说他是拿命相搏，南仁东反驳说：FAST 不成要命也无用！20 多年前，自从“中国天眼”的梦想从心底生发出来，南仁东就决定奉献余生，为梦想而活，以至于到生命尽头亦这般果敢决绝。2017 年 9 月 15 日晚，南仁东的生命在病痛中戛然而止。 课程思政升华：讲述科学家的家国情怀，增强学生的民族自豪感和民族自信心 南仁东的一生无疑是光辉灿烂的一生，这个外表潇洒的天文老头，不是院士，也没拿过什么大奖，但他把这一切都看得很淡。“天眼”就是他留下的遗产。 科学没有国界，但是科学家有自己的祖国，他们胸怀国家和民族，有着浓厚的家国情怀。FAST 从选址、立项、工程建设、落成启用历时 22 年，主持攻克了诸多难题，南仁东“舍小家为大家”，力学笃行、无私奉献报效祖国的崇高精神值得我们学习。
分析评价	该案例从讲解序列的逆 Z 变换—部分分式展开法开始，通过讲述“天眼之父”南仁东先生带领团队，从论证立项到选址建设落成历时 22 年创建被誉为“中国天眼”的世界最大单口径、最灵敏的 500 米口径球面射电望远镜的艰辛历程，让学生领略时代楷模风采的同时，意识到坚持与执着、责任与担当的可贵，启发学生崇尚追求卓越的创新精神和精益求精的工匠精神，坚定学生刻苦学习专业技能报效祖国的决心，增强学生的民族自豪感。
评 价 者	袁训锋、教授、商洛学院

案例编号	20042115-021
案例标题	基于 Matlab 的 Z 变换与逆 Z 变换
案例来源	原创案例
内容简介	序列的 Z 变换及逆 Z 变换，尽管教师在课上尽量从物理意义层面上展开讲解，但学生学习过程中不可避免地会遇到大量复杂的数学概念和计算，容易消减探索知识的兴趣。因此，课程教学中除了理论教学环节外，还需要大量的实践环节，既夯实学生的理论基础，又加强实践能力、创新精神及专业素养的培养。 利用 MATLAB 软件丰富的信息处理工具箱来实现信号与系统中时域、频域和复频域中的信号计算与系统分析，获得良好的学习效果。
关键词	Z 变换，逆 Z 变换，理论基础，实践能力
编写时间	2023-3-18
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	加强学生实践能力、创新精神及专业素养的培养
素材长度	930 个字符
案例正文	知识点内容： 一、实验目的 (1)加深对离散系统变换域分析—Z 变换的理解。 (2)掌握进行 Z 变换和逆 Z 变换的基本方法，了解部分分式展开法在逆 Z 变换中的应用。 二、实验涉及的 MATLAB 子函数 1.Ztrans 功能:返回无限长序列函数 $x(n)$ 的 Z 变换。 调用格式:$X=Ztrans(x)$;求无限长序列函数 $x(n)$ 的 Z 变换 $X(Z)$，返回 Z 变换的表达式。 2.iZtrans 功能:求函数 $X(Z)$ 的 Z 反变换 $x(n)$。

案例正文	调用格式:$x=iZtrans(X)$;求函数 $X(Z)$ 的 Z 反变换 $x(n)$,返回 Z 反变换的表达式。 3.syms 功能:定义多个符号对象。 调用格式:$syms a b w0$;把字符 $a,b, w0$ 定义为基本的符号对象。 4.residueZ 功能:有理多项式的部分分式展开。 调用格式:$:=residueZ(b, a)$; 把 $b(Z)/a(Z)$ 展开成部分分式。 $[b, a]=residueZ(rpc)$;根据部分分式的 $r、p、c$ 数组, 返回有理多项式。 其中:b,a 为按降幂排列的多项式的分子和分母的系数数组;r 为余数数组;p 为极点数组;c 为无穷项多项式系数数组。 三、实验内容 1. 求下列序列的 Z 变换。 (1) $x(n)=[(\frac{1}{2})^n+(\frac{1}{2})^n]u(n)$ (2) $x(n)=a^n$ (3) $x(n)=n$ 2. 求下列序列的逆 Z 变换。 (1) $X(Z)=\frac{Z}{Z-1}$ (2) $X(Z)=\frac{Z^2}{(Z-1)(Z-0.5)}$,求其所有可能的逆 Z 变换 四、实验程序及结果 五、实验小结
分析评价	序列的 Z 变换及逆 Z 变换尽管教师在课上尽量从物理意义层面上展开讲解,但学生学习过程中不可避免地会遇到大量复杂的数学概念和计算,容易消减探索知识的兴趣。利用 MATLAB 软件丰富的信息处理工具箱来实现信号与系统中时域、频域和复频域中的信号计算与系统分析,获得良好的学习效果。因此,课程教学中除了理论教学环节外,还需要大量的实践环节,既夯实学生的理论基础,又加强实践能力、创新精神及专业素养的培养。
评 价 者	李芳、教授、西安理工大学

案例编号	20042115-021
案例标题	ZT 和 FT 的关系
案例来源	原创案例
内容简介	讲解序列的 Z 变换和傅里叶变换的关系开始，结合实际应用，引入傅里叶追求科学、坚持真理的执着精神及打破传统敢于创新的事迹。培养学生敢于说真话、讲真理、精益求精、追求卓越、严谨好学等品质。同时，树立学生终生学习的理念，适时加强学习，不断提高自我修养，才能实现人生价值并不负于国家和时代的重任。
关键词	Z 变换，傅里叶变换，傅里叶，坚持真理，人生价值
编写时间	2022-4-22
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片、例题
育人主题	树立学生终生学习的理念，实现人生价值并不负于国家和时代的重任
素材长度	2534 个字符
案例正文	知识点内容：ZT 和 FT 的关系 序列 $x(n)$ 的 Z 变换定义为：$X(Z) \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)z^{-n} = ZT[x(n)] \quad (1)$ 序列 $x(n)$ 的傅里叶变换定义为：$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)e^{-j\omega n} = FT[x(n)] \quad (2)$ 对比（1）式和（2）式，很容易得到 FT 和 ZT 之间的关系，用下式表示： $X(e^{j\omega}) = X(Z) \Big _{Z=e^{j\omega}} \quad (3)$ 由（3）式可得：令 $Z = e^{j\omega}$，则 ZT 变成 FT； $Z = e^{j\omega}$ 表示 Z 平面上 $r=1$ 的圆，该圆称为单位圆，即单位圆上的 ZT 就是序列的 FT。如果已知序列的 ZT，用（3）式很方便地就能求出序列的 FT，条件是收敛域中包含单位圆。 

案例正文	例 已知 $x(n)=u(n)$，求其 Z 变换。 解： $X(Z)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}u(n)z^{-n}=\sum_{n=0}^{\infty}z^{-n}$ $X(Z)$ 存在的条件为 $z^{-1} <1$,因此其收敛域为 $z >1$,故： $X(Z)=\frac{1}{1-z^{-1}} \quad z >1$ 由于收敛域不包含单位圆，因此其傅里叶变换不存在，更不能用（3）式求傅里叶变换。该序列的傅里叶变换不存在，但引入奇异函数 $\delta(w)$，其傅里叶变换则可以表示出来。该例同时说明一个序列的傅里叶变换不存在，但在一定收敛域内 Z 变换是可以存在的。 事件引入：傅里叶生平事迹 傅里叶，全名为让·巴普蒂斯·约瑟夫·傅里叶(Jean Baptiste Joseph Fourier, 1768 -1830)，法国著名数学家、物理学家。 1768 年 3 月 21 日，他生于法国中部奥塞尔的一个平民家庭，他的父亲是一个裁缝，母亲是一个普通的家庭妇女。傅里叶的童年并不算幸福。9 岁时，双亲亡故，他变成一个孤儿，被当地的一个主教收养。 1780 年，他被教会送入镇上的军校就读，表现出对数学的特殊爱好。他曾经希望参加炮兵或工程兵，但因家庭地位低贫而遭到拒绝。后来，他希望到巴黎更优越的环境中去从事数学研究。可是，法国大革命爆发，中断了他的计划。无奈之下，他于 1789 年回到家乡奥塞尔的母校执教。在大革命期间，傅里叶以热心地方事务而知名，而且是一个非常有正义感的人。他替当时恐怖行为的受害者申辩，结果因此被捕入狱。出狱后，他短暂就读于巴黎师范学校，再次表现出惊人的数学才华。 在研究热的传导问题时提出傅里叶分析的原始理论。傅里叶关于热的解析理论的创立和完善经历了 3 个标志性的时间节点：（1）1807 年，提交论文《热的传播》，提出了结论“任何连续周期信号可以由一组适当的正弦曲线组合而成。”由于此结论中“任何”两字引起一些争议，故论文被拒绝了。（2）1811 年，傅里叶修改了他原先的论文再次提交，题目为《热在固体中的运动理论》，仍在文章的严格性和普遍性上被给予了批评，以致这篇论文虽然获得了科学院的奖项但被拒绝发表。（3）1822 年，
-------------	---

案例正文	经过将近十年的努力，傅里叶出版了专著《热的解析理论》，将在一些特殊情形下应用的三角级数方法发展成内容丰富的一般理论，三角级数后来就以傅里叶的名字命名为“傅里叶级数”，在处理无穷区域的热传导问题导出了“傅里叶积分”，傅立叶级数、傅立叶分析等理论均由此创始。详实的理论、严谨的推导、创新的概念使之成为一部在数学史乃至科学史上公认的划时代经典作。 A black and white portrait of Joseph Fourier, a French mathematician and physicist. He is shown from the chest up, wearing a dark coat over a white cravat. He has dark, curly hair and is looking slightly to the right of the viewer. 课程思政升华：追求科学、坚持真理的科学精神 毫无疑问，傅里叶是一个值得铭记的人，他的名字被镌刻在法国埃菲尔铁塔上以供世人纪念，建立了约瑟夫傅里叶大学，还有一颗小行星以他命名。在辉煌成就的背后，傅里叶却有着坎坷磨难的一生。但这些艰难并未阻止他对科学的热爱。自小对数学产生了浓厚的兴趣，他认为数学是实际问题最卓越的工具，对自然界的深刻研究，是数学发现的最富饶的源泉。他恪守这一信念，穷其一生追求真理，最终获得全世界认可。 除了那些以傅里叶命名的经典公式和理论，傅里叶的追求科学坚持真理的执着精神同样值得后人传扬，打破传统敢于创新的思维模式同样值得后人学习。他凭着实事求是的科学态度对待自己的研究成果，坚持正确的结论坚定不移；对于他人的质疑采取理性的态度，在已有成果上精益求精，做出完善的补充和修改；对于屡次的否定却始终不放弃，十几年如一日，孜孜不倦地学习和研究，相信真理一定会得到世界的肯定，在这种百折不挠的信念支持下，最终诞生了经久流传的科学著作。
------	---

分析评价	该案例从讲解序列的 Z 变换和傅里叶变换的关系开始，结合实际应用，引入傅里叶的生平事迹，他追求科学、坚持真理的执着精神及打破传统敢于创新的思维模式，实事求是的科学态度，坚持正确的结论坚定不移，在已有成果上精益求精，十几年如一日孜孜不倦地学习和研究。作为新时代的青年学生，在学习科学知识的基础上，需要在精神上得到滋养和升华，坚定理想信念。培养学生敢于说真话、讲真理、精益求精、追求卓越、严谨好学等品质。同时，树立学生终生学习的理念，适时加强学习，不断提高自我修养，才能实现人生价值并不负于国家和时代的重任。 课程思政点切入自然，润物无声，实现了知识传授、能力培养与价值塑造相统一，达到了课程育人的目的。
评 价 者	贾慧琴、教授、西安石油大学

案例编号	20042115-022
案例标题	时域离散信号和系统的 Z 域分析
案例来源	原创案例
内容简介	该课程推导和数学公式过多，老师在讲解时往往导致学生注意力不集中，讲课效果不理想。以小组的形式进行实验课，最后提交的报告也是以小组的形式进行提交的，让学生通过团队协作完成完整的实验内容。在完成实验项目的过程中就可以教育学生要具有严谨的科学态度、培养学生团队分工合作和精益求精的新时代工匠精神。
关键词	Z 域分析，团队分工合作，新时代工匠精神
编写时间	2023-3-22
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	培养学生团队分工合作和精益求精的新时代工匠精神
素材长度	1233 个字符
案例正文	知识点内容： 一、实验目的 （1）掌握利用 MATLAB 绘制系统零极点图的方法； （2）掌握离散时间系统的零极点分析方法； （3）掌握用 MATLAB 实现离散系统频率特性分析的方法。 二、离散系统零极点图及零极点分析 1. 零极点图的绘制 设离散系统的系统函数为 $H(z) = \frac{B(z)}{A(z)}$ 则系统的零极点可用 MATLAB 的多项式求根函数 roots() 来实现，调用格式为：p=roots(A)； 其中 A 为待求根多项式的系数构成的行矩阵，返回向量 p 则是包含

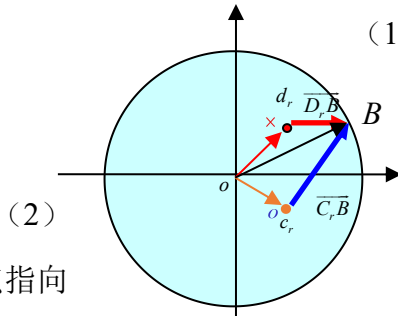
案例正文	多项式所有根的列向量。 如多项式为 $B(z) = z^2 + \frac{3}{4}z + \frac{1}{8}$，则求该多项式的根。 MATLAB 命令为： A=[1 3/4 1/8]; P=roots(A) 运行结果为：P = -0.5000 -0.2500 需注意的是，在求系统函数零极点时，系统函数可能有两种形式：一种是分子、分母多项式均按 z 的降幂次序排列；另一种是分子、分母多项式均按 z^{-1} 的升幂次序排列。这两种方式在构造多项式系数向量时稍有不同。 (1) $H(z)$ 按 z 的降幂次序排列：系数向量一定要由多项式最高次幂开始，一直到常数项，缺项要用 0 补齐；如：$H(z) = \frac{z^3 + 2z}{z^4 + 3z^3 + 2z^2 + 2z + 1}$ 其分子、分母多项式系数向量分别为 A=[1 0 2 0]、B=[1 3 2 2 1]。 (2) $H(z)$ 按 z^{-1} 的升幂次序排列：分子和分母多项式系数向量的维数一定要相同，不足的要补 0 补齐，否则 $z = 0$ 的零点或极点就可能被漏掉。如：$H(z) = \frac{1 + 2z^{-1}}{1 + \frac{1}{2}z^{-1} + \frac{1}{4}z^{-2}}$ 其分子、分母多项式系数向量分别为 A=[1 2 0]、B=[1 1/2 1/4]。 用 roots()求得 $H(z)$ 的零极点，在 MATLAB 工具箱中，zplane 函数绘制零、极点图，其调用函数为：zplane(B,A),B 和 A 分别为分子、分母多项式系数向量。 例绘制 $H(z) = \frac{3z^3 - 5z^2 + 10z}{z^3 - 3z^2 + 7z - 5}$ 函数的零极点。解：MATLAB 命令如下：
------	---

	$A=[1 \ -3 \ 7 \ -5];$ $B=[3 \ -5 \ 10 \ 0];$ $zplane(B,A);$ 2. 离散系统零极点分析 (1) 离散系统零极点分布与系统稳定性 时域条件：离散系统稳定的充要条件为 $\sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n) < \infty$，即系统单位样值响应绝对可和； ● Z 域条件：离散系统稳定的充要条件为系统函数 $H(z)$ 的所有极点均位于 Z 平面的单位圆内。 绘出系统的零极点图，然后根据极点的位置判断系统的稳定性。 三、实验内容 绘制如下系统函数的零极点，根据零极点图判断系统的稳定性； (1) $H(z) = \frac{3z^3 - 5z^2 + 10z}{z^3 - 3z^2 + 7z - 5}$ (2) $H(z) = \frac{1 - 0.5z^{-1}}{1 + \frac{3}{4}z^{-1} + \frac{1}{8}z^{-2}}$ 四、实验程序及结果 五、实验小结
分析评价	工科的理论课程多数以教师的讲解为主，学生作为知识的接受方一直处于被动的地位，如果教师讲授时理论推导和数学公式过多，往往导致学生注意力不集中，且讲课效果不理想，学生仅仅记住了结论。以小组的形式进行实验课，最后提交的报告也是以小组的形式进行提交的。让学生通过团队协作完成完整的实验内容。在完成实验项目的过程中就可以教育学生要具有严谨的科学态度、培养学生团队分工合作和精益求精的新时代工匠精神。
评 价 者	袁训锋、教授、商洛学院

案例编号	20042115-023
案例标题	根轨迹法
案例来源	原创案例
内容简介	根轨迹是分析和设计线性定常控制系统的图解方法，使用十分简便，特别在进行多回路系统的分析时，根据根轨迹绘制法绘制根轨迹。引导学生，无论做什么事都要抓主要矛盾、关键问题，寻根溯源，由系统根轨迹引导学生思考人生根轨迹，树立人生目标。
关键词	根轨迹，人生轨迹，主要矛盾，关键点
编写时间	2023-1-5
编者	王园园，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	引导学生树立人生目标，规划好人生轨迹。
素材长度	1249 个字符
案例正文	课程内容： 当闭环系统没有零点与极点相消时，闭环特征方程式的根就是闭环传递函数的极点，我们常简称为闭环极点。因此，从已知的开环零、极点位置及某一变化的参数来求取闭环极点的分布，实际上就是解决闭环特征方程式的求根问题。当特征方程的阶数高于四阶时，除了应用 MATLAB 软件包，求根过程是比较复杂的。如果要研究系统参数变化对闭环特征方程式根的影响，就需要进行大量的反复计算，同时还不能直观看影响趋势。因此对于高阶系统的求根问题来说，解析法就显得很不方便。 1948 年，W.R.伊文思在“控制系统的图解分析”一文中，提出了根轨迹法。当开环增益或其他参数改变时，其全部数值对应的闭环极点均可在根轨迹图上简便地确定。因为系统的稳定性由系统闭环极点唯一确定，而系统的稳态性能和动态性能又与闭环零、极点在 s 平面上的位置密切相关，所以根轨迹图不仅可以直接给出闭环系统时间响应的全部信息，而且可以指明开环零、极点应该怎样变化才能满足给定的闭环系统的性能

	指标要求。除此而外，用根轨迹法求解高阶代数方程的根，比用其他近似求根法。根轨迹的绘制具有以下绘制法则： 法则 1.起点和终点 根轨迹的起点和终点。根轨迹起于开环极点（包括无限极点），终于开环零点（包括无限零点）。 法则 2.分支数、对称性和连续性 根轨迹的分支数、对称性和连续性。根轨迹的分支数与开环有限零点数 m 和有限极点数 n 中的大者相等，它们是连续的并且对称于实轴。 法则 3.根轨迹的渐近线。 法则 4.在实轴上的分布 根轨迹在实轴上的分布。实轴上的某一区域，若其右边开环实数零、极点个数之和为奇数，则该区域必是根轨迹。 法则 5.分离点与分离角 根轨迹的分离点与分离角。两条或两条以上根轨迹分支在 s 平面上相遇又立即分开的点，称为根轨迹的分离点。 法则 6.起始角与终止角 根轨迹的起始角与终止角。根轨迹离开开环复数极点处的切线与正实轴的夹角，称为起始角；根轨迹进入开环复数零点处的切线与正实轴的夹角，称为终止角。这些角度都可以由特定关系式求出。 法则 7.与虚轴的交点 根轨迹与虚轴的交点。若根轨迹与虚轴相交，则交点上的值和 ω 值可用劳斯判据确定，也可令闭环特征方程中的 $s=j\omega$，然后分别令其实部和虚部为零而求得。 法则 8.根之和。 思政引入： 1.通过根轨迹图分析系统性能，映射解决问题要抓关键点。引导大学生确定好目标，早做准备，机会是给有准备的人，撸起袖子加油干，把握好人生的关键节点，让自己有精彩的人生。采用课后调研的方式了解我校或者其他高校 5 个优秀大学生的成长轨迹，“榜样的力量是无穷的”，
--	--

	以此促进他们思考，进而有意识的模仿，达到促使其成长的目的。现在，有的学生没有规划，目标不明确，行动没方向、没着眼点，出现必修课选逃、选修课必逃，上课来了也是身在曹营心在汉，要么睡觉，要么玩手机，过着庸庸碌碌的生活，失去青年人应有的活力、斗志和责任意识。 《人民日报》痛批：沉睡中的大学生，你不失业，天理难容。起点相同，毕业结果却迥然不同，有人为理想插上翅膀，从此飞得更高更远，而有人却主动缴械投降，破罐子破摔，走上独木桥。如果有人是这种状态，希望你们觉醒吧，有道是浪子回头金不换，扛起肩上的责任，不要在该奋斗的年纪选择安逸。认真负责地规划人生，确立远大的奋斗目标，只有把理想目标同祖国的发展需要相结合，顺应时代潮流，才能发挥学生的潜能，实现人生价值，时势造英雄，为两个百年梦想的实现贡献自己的力量。 2.通过根轨迹图分析系统性能，映射解决问题要抓主要矛盾、关键问题。根据根轨迹图分析系统的性能，抓住根轨迹是否与虚轴有交点，是否有右半平面的根轨迹，是否在实轴有分离点，求出交点和分离点的根轨迹增益和根，便于我们掌握系统是否震荡和稳定的临界值。同样，在参量根轨迹分析中，等效开环传递函数的求取是绘制根轨迹的关键。要解决这一问题，就要抓住不管哪个参数变化，要画的都是闭环特征根运动的轨迹，必然满足闭环特征方程，然后通过闭环特征方程求取等价开环传递函数，根据根轨迹绘制法绘制根轨迹。这就告诉我们，无论做什么事都要抓主要矛盾、关键问题，寻根溯源。解决了这些问题，其他问题就迎刃而解，不要不分主次，眉毛胡子一把抓，做科学研究也一样，要抓主要问题、关键问题，解决难点问题。
分析评价	本案例通过根轨迹图分析系统性能，映射解决问题要抓关键点。引导大学生确定好目标，早做准备，将根轨迹图图绘制方法，映射解决问题要抓主要矛盾、关键问题。将课程内容与思政紧密结合，引导学生认真负责地规划人生，确立远大的奋斗目标，实现了知识传授与课程育人相统一的目的。
评 价 者	贾惠琴、教授、西安石油大学

案例编号	20042115-024
案例标题	利用系统的零极点分布分析系统的频率响应特性
案例来源	原创案例
内容简介	讲解利用系统的零极点分布分析系统的频率响应特性开始，把信号从时域变换到副频域域进行分析，引申到学习和生活中，我们需要从不同角度和视野看问题和分析问题。特别是碰到困难、挫折时，应该转变思路采取“变换”的方法，将问题切换到不同的“域中”，从不同角度去分析问题。因此，在课堂上结合变换这个知识点对学生进行提醒，从不同角度和视野去分析问题，获得对待这些事情的正确的认知，有助于学生创新能力的培养。
关键词	零极点分布，频率特性，创新能力培养，多元化思考
编写时间	2023-4-26
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图形
育人主题	多角度看问题，培养多元化思考
素材长度	1852 个字符
案例正文	知识点内容： 利用系统的零极点分布分析系统的频率响应特性 $H(Z) = \frac{\sum_{r=0}^M b_r Z^{-r}}{1 - \sum_{r=1}^N a_r Z^{-r}} = A \frac{\prod_{r=1}^N (Z - c_r)}{\prod_{r=1}^N (Z - d_r)} \quad (A = \frac{a_0}{b_0}, M = N) \quad (1)$ $H(e^{j\omega}) = A \frac{\prod_{r=1}^N (e^{j\omega} - c_r)}{\prod_{r=1}^N (e^{j\omega} - d_r)} = A \frac{\prod_{r=1}^N \overrightarrow{C_r B}}{\prod_{r=1}^N \overrightarrow{D_r B}} \quad (2)$ $\overrightarrow{C_r B} = C_r B \cdot e^{j\alpha}$ 零点向量：系统零点指向单位圆上某一点的矢量； $\overrightarrow{D_r B} = D_r B \cdot e^{j\beta}$ 极点向量：系统极点指向单位圆上同一点的矢量； 

案例正文	$H(e^{j\omega}) = A \frac{\prod_{r=1}^N (e^{j\omega} - c_r)}{\prod_{r=1}^N (e^{j\omega} - d_r)} = A \frac{\prod_{r=1}^N \overline{C_r B}}{\prod_{r=1}^N \overline{D_r B}} = H(e^{j\omega}) e^{j\phi(\omega)}$ (3)
	幅频响应：零点矢量长度之积/极点矢量长度之积 $ H(e^{j\omega}) = A \frac{\prod_{r=1}^N C_r B}{\prod_{r=1}^N D_r B}$ (4)
	相频响应：零点矢量相位之和—极点矢量相位之和 $\phi(e^{j\omega}) = \sum_{r=1}^N a_r - \sum_{r=1}^N \beta_r$ (5)
	由（5）式可以很容易地确定零极点位置对系统特性的影响。当 B 点转到极点附近时，极点向量长度最短，因而幅度特性可能出现峰值，且极点越靠近单位圆，极点向量长度越短，峰值就越尖锐。如果极点在单位圆上，则幅度特性为∞，系统不稳定。对于零点，情况相反，当 B 点转到零点附近，零点向量长度变短，幅度特性将出现谷值，零点越靠近单位圆，极谷值就越接近零。当零点处在单位圆上时，谷值为零。总结：极点位置主要影响频响的峰值位置及尖锐程度，零点位置主要影响频响的谷点位置及形状。
	事件引入：宋代诗人苏轼的“题西林壁” 题西林壁 宋 苏轼 横看成岭侧成峰， 远近高低各不同。 不识庐山真面目， 只缘身在此山中。
	赏析：“横看成岭侧成峰，远近高低各不同。”一句说的是游人从远处、近处、高处、地处等不同角度观察庐山面貌是可以得到不同观会的。有时你看到是起伏连绵的山岭，有时你看到的是高耸入云端的山峰。这两句概括而形象地写出了移步换形、千姿万态的庐山风貌。 结尾两句“不识庐山真面目，只缘身在此山中”，是即含说理，谈游山的体会。之所以不能辨认庐山的真实面目，是因为身在庐山之中，视野为庐山的峰峦所局限，看到的只是庐山的一峰一岭一丘一壑，局部而已，

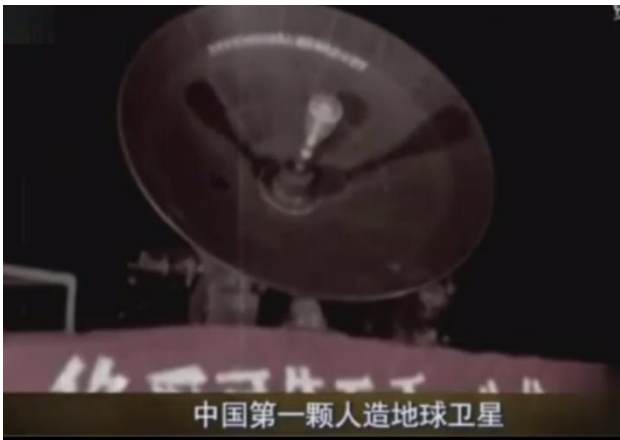
案例正文	这必然带有片面性。这两句奇思妙发，整个意境浑然托出，为读者提供了一个题味经验、驰骋想象的空间。这不仅仅是游历山水才有这种理性认识。游山所见如此，观察世上事物也常如此。这两句诗有着丰富的内涵，它启迪人们认识为人处事之理——由于人们所处的地位不同，看问题的出发点不同，对客观事物的认识难免有一定的片面性；要认识事物的真相与全貌，必须超越狭小的范围，摆脱主观客见，需要全方位、全角度分析，多角度、多侧面思考，才能全面正确地认识。 课程思政升华：多角度看问题，培养多元化思考 信号与系统课程涉及到多种变换和分解的思想，如傅里叶变换、拉普拉斯变换、z 变换等，这些都是数学的操作，把信号从时域到变换域进行分析。信号的频域分析是把时域信号转换到频率域，能够获得信号的频率构成、各频率成分的幅值和相位特性以及能量分布，从而提取在时域无法获取的关键特征信息。另外某种条件下在求解系统的动态方程时，可以利用时域、频域、复频域角度去分析同一个问题，求解出激励与响应的关系。在学习和生活中，我们需要从不同角度和视野看问题和分析问题。特别是碰到困难、挫折时，应该转变思路采取“变换”的方法，将问题切换到不同的“域中”，需要全方位、全角度分析，多角度、多侧面思考，才能全面正确地认识。换角度看待问题，改变原有思维定势，寻找多种途径解决问题，可以提升创新创造能力。另外换角度看待问题，世界大不一样，凡事向好处想，向利于自己的方向思考，能够克服焦虑，转变消极心态，促进身心健康发展。
分析评价	该案例从讲解利用系统的零极点分布分析系统的频率响应特性开始，道出信号与系统课程涉及到多种变换和分解的思想，如傅里叶变换、拉普拉斯变换、z 变换等，这些都是数学的操作，把信号从时域到变换域进行分析。在学习和生活中，我们需要从不同角度和视野看问题和分析问题。特别是碰到困难、挫折时，应该转变思路采取“变换”的方法，将问题切换到不同的“域中”，从不同角度去分析问题。因此，在课堂上结合变换这个知识点对学生进行提醒，从不同角度和视野去分析问题，获得对待这些事情的正确认知，有助于学生创新能力的培养。
评 价 者	李芳，教授，西安理工大学

案例编号	20042115-025
案例标题	利用系统函数的极点分布分析系统的因果性和稳定性
案例来源	原创案例
内容简介	讲解利用系统函数的极点分布分析系统的因果性和稳定性,得出因果定律。引入拿破仑·希尔的故事,作为新时代的青年学生,在学习科学知识的基础上,需要在精神上得到滋养和升华,坚定理想信念,使人生变得更有价值。要坚定不移地成为社会主义现代化建设事业的可靠接班人,为实现中华民族伟大复兴而努力学习。
关键词	极点分布, 因果性, 稳定性, 实现中华民族伟大复兴
编写时间	2022-9-25
编者	张娜, 讲师, 电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	作为新时代的青年学生, 为实现中华民族伟大复兴而努力学习
素材长度	2061 个字符
案例正文	知识点内容: 一、频率响应与系统函数 单位脉冲响应: $h(n)$ 时域特性 传输函数: $H(e^{j\omega})$ 频域特性 系统函数: $H(Z)$ 复频域特性 对于 N 阶差分方程式, 进行 Z 变换, 得到系统函数的一般表达式为: $H(Z) = \frac{Y(Z)}{X(Z)} = \frac{\sum_{i=0}^M b_i z^{-i}}{\sum_{i=0}^N a_i z^{-i}} \quad (1)$ $H(Z) _{Z=e^{j\omega}} = H(e^{j\omega})$ 单位圆上的系统函数就是系统的频率响应。 $h(n) = \text{IZT}[H(Z)]$ 系统函数的逆 Z 变换就是单位脉冲响应。 二、利用系统函数的极点分布分析系统的因果性和稳定性 因果系统: 其单位脉冲响应 $h(n)$ 一定是因果序列, 即: $h(n) = 0, n < 0$ 那么其系统函数 $H(Z)$ 的 ROC 一定包含 ∞, 即 ∞ 不是极点, 极点分布在某

案例正文	个圆内，ROC 在某个圆外。 稳定系统：要求 $\sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n) < \infty$，这正是 FT 变换存在的条件，对照 Z 变换与 FT 变换的关系可知，$H(Z)$ 的 ROC 包含单位圆。 因果稳定系统：$H(Z)$ 的极点全部在单位圆内，ROC 为包含单位圆的圆外，表示为：$r < Z \leq \infty$，且 $0 < r < 1$。 事件引入：拿破仑·希尔故事 拿破仑·希尔曾被邀请到一所大学做演讲，他受到了热烈的欢迎，当校方付给他 100 美元的酬劳时，他说此行不虚因此婉言拒绝了该项报酬。 后来那所大学的校长，将这件事情动情地说给了他的学生，校长说：“我在这所大学待了 20 年，期间我曾邀请过很多人士给学生们发表演讲，但这是我碰到的第一个拒绝接受演讲酬金的人，他说他在演讲中收获的东西足以胜过他演讲的酬劳。事实上，这个拒绝酬金的人是一家大型杂志的总编，我建议你们去订阅他的杂志，他身上的美德以及能力是你们在书本中学不到的，也是将来踏入社会后必须用到的。” 拿破仑·希尔主编的《希尔的黄金定律》由此获得了这些学生 6000 多美元的订阅费，并在日后的发展中，获得这所大学的学生以及他们的朋友 50000 多美元的订阅费。 有的人一生获得无数次成功，有的人连一次成功的滋味都没品尝过。你是否想过为什么会出现这种截然不同的结果？失败的人抱怨自己的运气差，甚至将其推脱给客观条件或外在因素；成功人士在总结经验时，经常要提到自己的聪明才智和好运气，但同时也强调了重要的一点——吃得苦中苦，方为人上人，这是多么重要的一点，它有力地向人们诠释了因果定律的关系。 古语言：“一份耕耘，一分收获。”这是生命运行的必然衍生。只有辛勤耕耘、矢志不移的人才能得到应有的尊重、地位、名利和成功。了解这个道理后，相信那些失败的人在抱怨自己运气差的同时，一定也会总结一下自己曾经的付出是不是应该给自己更多的收获。 任何一种结果的出现都不是偶然的，这只不过是因果定律发挥了作用。每个人都向往成功与辉煌，那么人们究竟该怎样做才能获得这样的
-------------	--

案例正文	硕果呢？当你环顾生活中的各个方面，你会发现健康、收入、业绩、事业、家庭、人际关系……你目光所能及的一切都是过去耕耘的因所带来的果。  课程思政升华：作为新时代的青年学生，为实现中华民族伟大复兴而努力学习 在信号与系统课程中，输入不同的信号，进行不同的运算，就会产生不同的输出响应。若在输入端加入的激励 $x(t)$ 为“奋斗”，将会获得“幸福”的响应输出 $y(t)$，正如习主席所说的“奋斗的一生就是幸福的一生”。指出当代学生不仅要学习过硬的专业课知识，还应该广泛地学习多方面的知识，在网络上学习时，要学习有“正能量”的知识，摒弃不健康的内容，避免在内心产生不良“响应”的“输入信号”。 作为新时代的青年学生，在学习科学知识的基础上，需要在精神上得到滋养和升华，坚定理想信念，使人生变得更有价值。若输入条件为：坚定马克思主义信仰，坚定社会主义和共产主义信念，树牢“四个意识”（政治意识、大局意识、核心意识、看齐意识），坚定“四个自信”（中国特色社会主义道路自信、理论自信、制度自信、文化自信），做到“两个维护”（坚决维护习近平总书记党中央的核心、全党的核心地位，坚决维护党中央权威和集中统一领导），则在正确的方向上勇往直前的因果稳定输出为：实现社会主义现代化、为人民创造美好的生活。这是人民的选择，也是青年学生的重要使命，要坚定不移地成为社会主义现代化建设事业的可靠接班人，为实现中华民族伟大复兴而努力学习。
------	--

分析评价	该案例利用系统函数的极点分布分析系统的因果性和稳定性开始，引入拿破仑·希尔被要求去大学做演讲的故事，得出一份耕耘一份收获的因果关系。使得学生在精神上得到滋养和升华，坚定理想信念，使人生变得更更有价值，具有人文知识、科学素养，践行社会主义核心价值观，维护国家利益，具有推动民族复兴和社会进步的责任感，在工程实践中自觉遵守职业道德和规范。消除学生对专业课程中加入思想政治元素的抵触情绪，起到“润物细无声”的效果。
评 价 者	郭琳，教授，商洛学院

案例编号	043203-026
案例标题	离散信号傅里叶变换（DFT）定义
案例来源	原创案例
内容简介	整个课程以“东方红、太阳升”声音信号为基础进行分析，通过MATLAB 仿真对音乐进行分析，从时域和频域的波形辅助学生理解傅里叶变换，讲抽象的公式具象化。在讲解过程中进行爱国主义教育，建立科技强国的责任感。
关键词	DFT，航空航天，爱国主义，科技强国
编写时间	2023-4-18
编者	王园园，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	科技强国，爱国主义教育
素材长度	1240 个字符
案例正文	课程内容： 1.课程引入 播放“中国第一颗人造卫星”片段，引导学生思考几个问题： 问题 1：为什么第一次合成电子音失败了？ 问题 2：如果做为工程师中的一员，你要如何完成“东方红音乐”的合成工作？  围绕第 2 个问题展开课程的学习，两个问题通过雨课堂随机抽取学

生进行解答，提高学生参与度。

在课程引入过程中讲解声音的频谱概念，加深学生对前频谱的理解。

以“如果做为工程师中的一员，你要如何完成“东方红音乐”的合成工作？”作为任务，增加学生课堂参与度。

2.理论教学

(1) 连续信号的频谱分析

通过连续信号的傅里叶变换引出离散时间信号的傅里叶变换定义。

众所周知，连续时间信号 $x(t)$ 的傅里叶正反变换定义为：

$$x(t) = FT^{-1}[X(j\Omega)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(j\Omega) e^{j\Omega t} d\Omega \quad (1)$$

$$X(j\Omega) = FT[x(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\Omega t} dt \quad (2)$$

通过正弦波信号和方波信号的频谱变换，说明其唯一性。

提出问题：时域信号连续如何用计算机处理？

引导学生回顾采样定理，随机抽取学生回答问题。

(2) 离散信号的频谱分析

当信号为离散序列时，积分运算转变为求和运算，因此式（1）和式（2）转换为求和运算，如式（3）和（4）所示。

$$x(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} X(e^{j\omega}) e^{-j\omega n} d\omega \quad (3)$$

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) e^{-j\omega n} \quad (4)$$

并非所有的右边求和运算，结果都能收敛，若不能收敛则序列的傅里叶变换不存在。

只有，当

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} |x(n) e^{-j\omega n}| = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |x(n)| < \infty \quad (5)$$

式（3）中的级数收敛，序列的傅里叶变换存在。

提出问题：频域连续的信号如何用计算机进行处理？

通过波形演示，更加直观的展示连续信号傅里叶变换、离散时间序

	列傅里叶变换、离散傅里叶变换之间的关系。 (3) 用 MATLAB 计算序列的离散傅里叶变换 MATLAB 提供 <code>fft</code> 函数计算 $x(n)$ 的傅立叶变换, <code>fft</code> 函数是用机器语言编写的, 因此执行速度很快。函数格式如下: $y = \text{fft}(x, n)$ 再次提出课程一开始的问题: 如果做为工程师中的一员, 你要如何完成“东方红音乐”的合成工作? 利用 MATLAB 进行仿真分析。 <pre> [y,fs,nbits]=wavread('do.wav'); sound(y,fs,nbits); [W L]=size(y); Y=fft(y,L); f=linspace(0,L,L)./L.*fs; plot(f,abs(Y)) </pre> 对音符进行分析, 同样的音阶 <code>do</code>, 由不同的乐器发出为什么听起来音色不同, 通过波形分析可以看到主频相同, 谐波分量不同, 对男声、女生声音信号进行频谱分析, 再次讲解频谱对声音的理解, 进一步加深学生对频谱的实际应用。 3.实践讨论环节 (1) 学生分组讨论: 根据课堂讲授内容如何合成东方红太阳升的音乐? (2) 随机抽取学生讲解思路; (3) 根据学生思路引导学生完成音乐合成; (4) 进行 MATLAB 仿真, 播放声音及频谱。 (四) 课后实践作业 根据课堂所学内容, 查询资料, 合成任意一段红色电子音。并进行合成音乐时域与频域的分析。 要求: 1. 音节不少于 20 个; 2. 查询资料, 完善合成电子音。
--	---

	东 方 红 1=F 2/4 5 5 6 2 - 1 1 6 2 - 5 5 6 1 6 5 1 1 6 2 - 5 2 1 7 6 东方 红, 太 阳 升, 中 国出 了个毛 泽 东。 他为 人 民 5 5 2 3 2 1 1 6 2 3 2 1 2 1 7 6 5 - 5 - 谋幸 福(花儿 嗨 呀) 他是 人 民 大 救 星。 The figure contains two subplots. The top subplot, titled '东方红合成音时域图' (Time-domain plot of synthesized sound for 'The East is Red'), shows a blue waveform over time. The x-axis is labeled 'n' and ranges from 0 to 3.5 with a multiplier of $\times 10^4$. The y-axis is labeled '数值' (Value) and ranges from 0 to 1. The bottom subplot, titled '东方红合成音频谱图' (Frequency spectrum plot of synthesized sound for 'The East is Red'), shows a blue frequency spectrum. The x-axis is labeled 'f / Hz' and ranges from 0 to 1000. The y-axis is labeled '数值' (Value) and ranges from 0 to 6000. Several sharp peaks are visible in the spectrum, particularly around 400 Hz and 500 Hz. 课程思政： 1. 从 CTFS 到 CTFT，再到 DTFS 和 DTFT，最后引出 DFT，其实是一个“发现问题”到“解决问题”的过程，通过以“问题”为导向，积极拓展学生思维，不断发现、研究问题和解决问题，“问题意识”对于工科学生走上岗位去认知和把握事物，去认识和改造世界，担负起建设国家的伟大重任无遗起着非常重要的作用。 2、课程以东方红一号在研制过程中的一个问题，贯穿整节课程，在研学交流展示时要求学生简要介绍为什么选择该首歌曲，其背后有什么红色故事。每一首红歌就是一个故事，唤起人们的红色记忆，表达对党的热爱，对革命先烈的缅怀，对美好生活的向往，由此使学生们意识到作为“强国一代”的使命和担当，让勤奋学习成为青春飞扬的动力，让增长本领成为搏击青春的能量。在讲解过程中进行爱国主义教育，体会革命先烈的不易，珍惜现在的生活。 <tr> <td>分析评价</td><td> 通过东方红电子乐音生成的问题，引导学生步步推导，推出 DFT。在生动形象、引人入胜的专业知识教学的基础上开展的思想政治教育才更具有说服力，更能深入学生的内心。 </td></tr> <tr> <td>评 价 者</td><td>刘宝盈、教授、商洛学院</td></tr>	分析评价	通过东方红电子乐音生成的问题，引导学生步步推导，推出 DFT。在生动形象、引人入胜的专业知识教学的基础上开展的思想政治教育才更具有说服力，更能深入学生的内心。	评 价 者	刘宝盈、教授、商洛学院
分析评价	通过东方红电子乐音生成的问题，引导学生步步推导，推出 DFT。在生动形象、引人入胜的专业知识教学的基础上开展的思想政治教育才更具有说服力，更能深入学生的内心。				
评 价 者	刘宝盈、教授、商洛学院				

案例编号	20042115-027
案例标题	离散时间信号的运算及其编程实现
案例来源	原创案例
内容简介	进行分组作业：离散时间信号的运算及其编程实现，具体包括：序列的相加、相乘、合成、截取和各种移位运算等；培育其提出问题、分析问题和解决问题的能力，同时培养学生良好的团结协作精神
关键词	离散时间信号、运算、团队合作
编写时间	2023-5-10
编者	王园园，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字，图片
育人主题	团队协作精神
素材长度	714 个字符
案例正文	课程内容： 离散时间信号是指信号在时间上是离散的，只在某些不连续的时刻给出信号的值，而其它时间则没有定义。为了便于数字系统的接受、处理，需要对信号进行数字化处理，即出现了时间上离散，幅度上量化的信号。在离散时间系统中，信号用序列表示。有一些常见的典型序列，我们时刻都需要用到，同时需要掌握的还有序列的一些运算。MATLAB 在数值计算、符号运算、数据可视化、数字文件图形处理等方面有杰出优势，所以，我们需要了解常见序列的 MATLAB 实现，以及序列运算的 MATLAB 实现。 1.分组课程设计要求：离散时间信号的运算及其编程实现，具体包括：序列的相加、相乘、合成、截取和各种移位运算等； 2.本课程设计统一技术要求：研读辅导资料对应章节，对选定的设计题目进行理论分析，针对具体设计部分的原理分析、建模、必要的推导和可行性分析，画出程序设计框图，编写程序代码（含注释），上机

调试运行程序，记录实验结果（含计算结果和图表），并对实验结果进行分析和总结，按要求进行实验演示和答辩等；

3.课程设计说明书按学校“课程设计工作规范”中的“统一书写格式”撰写，具体包括：

①目录；

②与设计题目相关的理论分析、归纳和总结；

③与设计内容相

关的原理分析、建模、推导、可行性分析；

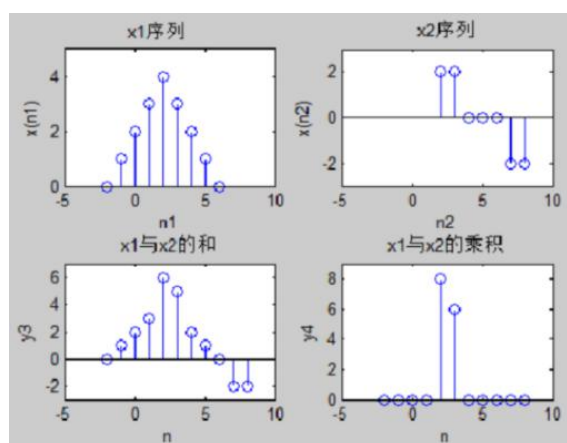
④程序设计框图、程序代码（含注释）、程序运行结果和图表、实验结果分析和总结；

⑤课程设计的心得体会（至少 500 字）；

⑥参考文献（不少于 5 篇）；

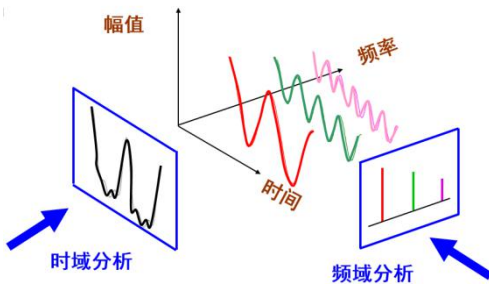
⑦其它必要内容等。

课程思政：课程组加强实践环节，通过开展基于问题驱动的研究性教学专题研讨，使学生具备将所学理论知识与具体工程实践相结合的思维方式，培育其提出问题、分析问题和解决问题的能力，同时培养学生良好的团结协作精神。专题研讨载体结合工程实际进行设计，内容分级设置，既有基本原理的简单应用又有综合应用，还具有一定高阶性、创新性和挑战度的内容。部分仿真结果：



专题研讨实施以小组为单位进行，成绩按小组进行评定。每组 4—5 人，其中学习能力强者 1 人、学习困难者 1 人、普通学生 2—3 人，组长负责组织本组成员分工协作，共同完成课题研究、报告撰写、成果展示。

	学生实践过程：  学生反馈，通过专题研讨：“体验到了‘纸上得来终觉浅，绝知此事要躬行’”；“真正感受到了‘1+1>2’的效果，提高了团队合作能力”；“培养了我们接受新思想的能力和永不满足、追求卓越的学习态度”。
分析评价	通过开展基于问题驱动的研究性教学专题研讨，使学生具备将所学理论知识与具体工程实践相结合的思维方式，同时培养了学生良好的团结协作精神。
评 价 者	郭琳、教授、商洛学院

案例编号	20042115-028
案例标题	DFT 变换在图像中的应用
案例来源	原创案例
内容简介	傅里叶变换对信号进行多角度分解,通过信号的合成与分解引导学生用辩证思维思考问题。
关键词	傅里叶变换, 合成分解, 辩证思维
编写时间	2023-4-28
编著者	王园园, 副教授, 电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	辩证思维思考问题的能力
素材长度	1097 个字符
案例正文	课程内容: 一、定义: 傅里叶变换的核心思想就是所有的波都可以用多个正弦波叠加表示。傅里叶变换提供了一种从时域到频率域的变换规则。 时域 (时间域) —— 自变量是时间, 即横轴是时间, 纵轴是信号的变化。其动态信号 $x(t)$ 是描述信号在不同时刻取值的函数。 频域 (频率域) —— 自变量是频率, 即横轴是频率, 纵轴是该频率信号的幅度, 也就是通常说的频谱图。频谱图描述了信号的频率结构及频率与该频率信号幅度的关系。  时域是真实世界唯一存在的域。频率不是真实存在的, 而是一个数学构造, 频率是遵循特定规则的数学范畴。

二、公式：

(1) 一维连续傅里叶变换：

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-j2\pi ux} dx$$

(2) 一维连续傅里叶逆变换：

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u)e^{j2\pi ux} du$$

(3) 二维连续傅里叶变换：

$$F(u,v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y)e^{-j2\pi(ux+vy)} dx dy$$

(4) 二维连续傅里叶逆变换：

$$f(x,y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u,v)e^{j2\pi(ux+vy)} du dv$$

三、图像引入傅里叶变换的意义：

傅立叶变换是数字信号处理领域一种很重要的算法。图像的频率是表征图像中灰度变化剧烈程度的指标，是灰度在平面空间上的梯度。傅立叶变换在实际中有非常明显的物理意义，设 f 是一个能量有限的模拟信号，则其傅立叶变换就表示 f 的谱。从纯粹的数学意义上看，傅立叶变换是将一个函数转换为一系列周期函数来处理的。从物理效果看，傅立叶变换是将图像从空间域转换到频率域，其逆变换是将图像从频率域转换到空间域。换句话说，傅立叶变换的物理意义是将图像的灰度分布函数变换为图像的频率分布函数，傅立叶逆变换是将图像的频率分布函数变换为灰度分布函数。

思政要素：傅里叶变换告诉我们，任何信号都可以分解为正弦波的叠加，即可以分解为基波和各次谐波分量的叠，当分解的谐波分量足够多的时候，分量的叠加就可以逼近原信号。而用多个分量鲁加逼近原信号的过程,称为信号的合成。分解和合成是辩证思维的一种基本方法。分解是在思维中把认识的对象分为不同的组成部分、面、特性等,分别加以研究，认识事物的各个方面,从中找到事物的本质。合成则是把分解出来的不同部分、面按其客观的次序、结构组成一个整体,从而达到对事物整体的认识目的。通过 Flash 动

	画演示常见信号的分解与合成，直观地给学生讲解复杂信号分解和合成的过程与方法,利用线性时不变系统特性分析复杂信号的系统输出。同时，可以提高学生辩证地看待和处理复杂问题的素养。
分析评价	该案例进行了信号的傅里叶变换，鼓励学生认识事物的各个方面,从中找到事物的本质。
评 价 者	贾慧琴、教授、西安石油大学

案例编号	20042115-029
案例标题	DFT 分析信号频谱
案例来源	原创案例
内容简介	在利用 DFT 分析其频谱时需要对其进行时域加窗。通过窗函数的讲解，引导学生理解在分析问题，需要区分主要矛盾和次要矛盾。实际的工程问题，主要矛盾和次要矛盾可能无法同时解决，此时通常根据主要矛盾选择最优方案。且以相关知识点作为融入点，培养学生辩证统一的思维方式。
关键词	运算，提升自我，筛选
编写时间	2023-3-10
编者	王园园，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字，图片
育人主题	培养学生辩证思维方式，以及根据主要矛盾选择最优方案
素材长度	1052 个字符
案例正文	课程内容： 在实际进行数字信号处理时，往往需要把信号的观察时间限制在一定的时间间隔内，只需要选择一段时间信号对其进行分析。这样，取用有限个数据，即将信号数据截断的过程，就等于将信号进行加窗函数操作。而这样操作以后，常常会发生频谱分量从其正常频谱扩展开来的现象，即所谓的“频谱泄漏”。当进行离散傅立叶变换时，时域中的截断是必需的，因此泄漏效应也是离散傅立叶变换所固有的，必须进行抑制。而要对频谱泄漏进行抑制，可以通过窗函数加权抑制 DFT 的等效滤波器的振幅特性的副瓣，或用窗函数加权使有限长度的输入信号周期延拓后在边界上尽量减少不连续程度的方法实现。而在后面的 FIR 滤波器的设计中，为获得有限长单位取样响应，需要用窗函数截断无限长单位取样响应序列。另外，在功率谱估计中也要遇到窗函数加权问题。由此可见，窗函数加权技术在数字信号处理中的重要地位。 下面介绍窗函数的基本概念。设 $x(n)$ 是一个长序列，$w(n)$ 是长度为 N

的窗函数，用 $w(n)$ 截断 $x(n)$ ，得到 N 点序列 $xn(n)$ ，即：

$$xn(n) = x(n) w(n)$$

在频域上则有：

$$X_N(e^{j\omega}) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} X(e^{j\theta}) \cdot W(e^{j(\omega-\theta)}) d\theta$$

由此可见，窗函数 $w(n)$ 不仅仅会影响原信号 $x(n)$ 在时域上的波形，而且也会影响到频域内的形状。

MATLAB 信号工具箱主要提供了以下几种窗函数，如表 1 所示。

表 1 MATLAB 窗函数

窗	窗 函 数
矩形窗	Boxcar
巴特利特窗	Barlett
三角窗	Triang
布莱克曼窗	Blackman
海明窗	Hamming
汉宁窗	Hanning
凯塞窗	Kaiser
切比雪夫窗	Chebwin

思政引入：

在学习和生活中，需要从不同角度和视野看问题和分析问题。数字信号处理课程中蕴含着丰富的辩证思维方式，以相关知识点作为融入点，培养学生辩证统一的思维方式。信号谱分析在信号处理和分析领域具有广泛的应用，信号时域加窗是谱分析中的重要概念。对于无限长时间信号，在利用 DFT 分析其频谱时需要对其进行时域加窗。时域加窗会导致频率泄漏现象，进而影响谱分析的质量。常用的窗函数包括矩形窗、Hamming 窗、Hanning 窗、Blackman 窗等，窗函数频谱的主瓣宽度以及旁瓣的相对幅值是产生泄漏现象的两个主要因素。理想的窗函数主瓣宽度越窄越好，旁瓣相对幅值越小越好。但实际的窗函数中，上述两个指标存在制约关系，主瓣宽度窄的，其旁瓣相对幅值大，如矩形窗；主瓣

	宽度宽的，其旁瓣相对幅值小，如 Blackman 窗。通过窗函数的讲解，引导学生理解在分析问题时，需要区分主要矛盾和次要矛盾。实际的工程问题，主要矛盾和次要矛盾可能无法同时解决，此时通常根据主要矛盾选择最优方案。
分析评价	该案例通过窗函数的讲解，引导学生分析问题，判断主要矛盾与次要矛盾，培养学生辩证思维能力。
评 价 者	袁训锋、教授、商洛学院

案例编号	20042115-030
案例标题	DFT 应用
案例来源	原创案例
内容简介	采用 DFT 算法对同一序列运算，DFT 长度不同会导致不同的结果。引导学生只要专注于某一项事业，那就一定会做出使自己都感到吃惊的成绩来。且以相关知识点作为融入点，培养学生辩证统一的思维方式。
关键词	运算，专注，职业素养
编写时间	2023-2-15
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字，图片
育人主题	培养学生辩证思维方式，以及根据主要矛盾选择最优方案
素材长度	1052 个字符
案例正文	课程内容： 用 DFT 计算线性卷积 1、$x(n)$为有限长序列 当 $L=M+N-1$，则有：$y_c(n)=y(n)$ 循环卷积等于线性卷积而不产生混叠失真的充要条件是：$L \geq M+N-1$ 采用循环卷积计算线性卷积的方法： <pre> graph LR x["x(n)"] --> DFT1["L点 DFT"] DFT1 --> Xk["X(k)"] h["h(n)"] --> DFT2["L点 DFT"] DFT2 --> Hk["H(k)"] Xk --> Mult((⊗)) Hk --> Mult Mult --> Yk["Y(k)"] Yk --> IDFT["L点 IDFT"] IDFT --> Out[" "] </pre> 为什么要用循环卷积来计算线性卷积？ 循环卷积与 DFT 对应（时域卷积定理），便于计算机处理，并且可采用快速算法（FFT）进行运算，节省计算时间。 例 1：$h_n=[1, 1, 1, 1]$, $x_n=[1, 1, 1, 1, 1]$, 分别计算其线性卷积和循环卷积，其中 $L=6,8,10$.

采用 Matlab 编程实现：

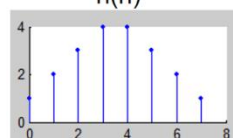
```

hn=[1,1,1,1];
xn=[1,1,1,1,1];
y1n=conv(hn,xn);    %计算线性卷积
subplot(3,2,1);
n=0:3;stem(n,hn,'.')
subplot(3,2,2);
n=0:4;stem(n,xn,'.')
subplot(3,2,3);
n=0:7;stem(n,y1n,'.')
hk=fft(hn,6);      %计算 6 点循环卷积，
    %采用先计算 DFT 变换，再求逆变换
xk=fft(xn,6);
yk=xk.*hk;
ycn=ifft(yk);
subplot(3,2,4);
n=0:5;stem(n,ycn,'.')
hk=fft(hn,8);      %计算 8 点循环卷积
xk=fft(xn,8);
yk=xk.*hk;
ycn=ifft(yk);
subplot(3,2,5);
n=0:7;stem(n,ycn,'.')
hk=fft(hn,10);     %计算 10 点循环卷积
xk=fft(xn,10);
yk=xk.*hk;
ycn=ifft(yk);
subplot(3,2,6);
n=0:9;stem(n,ycn,'.')

```

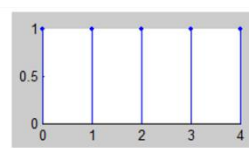


$h(n)$

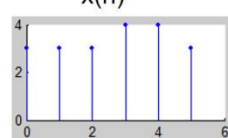


$y(n)$

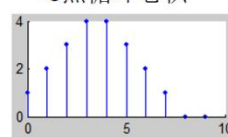
8点循环卷积



$x(n)$



6点循环卷积



10点循环卷积

	思政引入： 屠呦呦大学毕业后，被分配到卫生部直属的中医研究院工作。这一呆，就再也没调动过。 1969 年，39 岁的屠呦呦承担疟疾防治药物研究重任，开始了无休止的探索。 她收集了 2000 多种方药，精心筛选出 380 余种中药提取物，开始逐个实验。实验中，青蒿对疟疾的抑制率只有 68%。屠呦呦不急不躁，继续认真做实验。历经 190 次失败后，最终发现，用乙醚提取出的青蒿素，对疟原虫抑制率达到了 100%。长期吸入乙醚的屠呦呦，还得了中毒性肝炎。为确保无毒安全，她主动要求自己试药，后果自负。 1986 年，青蒿素正式通过新药审批，距屠呦呦接到研究重任已 17 年。25 年后，因为“在全球特别是发展中国家挽救了数百万人的生命”，屠呦呦拿到了美国拉斯克医学奖。 马克·吐温说：“人的思维是了不起的，只要专注于某一项事业，那就一定会做出使自己都感到吃惊的成绩来。” 我们都知道，人的潜能是无限的，要想最大程度地发挥自己的潜能，就要保持足够的专注，聚焦于一点。且看那放大镜，将太阳的光线聚焦于一点，便能产生极高的温度，点燃纸木，可见，聚焦的力量，无法想象。其实人生也一样，只要我们在某一方面，保持足够的专注，就一定能在在这方面成为专家。所以，当我们选好了自己要做的事业，就不要轻易动摇，坚持下去，保持专注，尽自己最大的能力去做好它。专注于做好一件事情，就会大不一样。
分析评价	该案例通过窗函数的讲解，引导学生分析问题，判断主要矛盾鱼次要矛盾，培养学生辩证思维能力。
评 价 者	李芳、教授、西安理工大学

案例编号	20042115-031
案例标题	FT、FS、DTFT、DFS 对比
案例来源	原创案例
内容简介	把各种傅里叶变换对(FT、FS、DTFT、DFS) 放在一起研究，分析整理出体系脉络关系，品出这门课的味道，通过这种密集的烧脑训练锻炼学生多元思维、整体思维、变异思维的能力。
关键词	离散时间信号，傅里叶变换，思维方式
编写时间	2023-1-10
编者	王园园，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	学习方法、思维方式的训练、注重细节
素材长度	1776 个字符
案例正文	课程内容： (1) 连续信号的频谱分析 通过连续信号的傅里叶变换引出离散时间信号的傅里叶变换定义。 众所周知，连续时间信号 $x(t)$ 的傅里叶正反变换定义为： $x(t) = FT^{-1}[X(j\Omega)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(j\Omega)e^{j\Omega t} d\Omega \quad (1)$ $X(j\Omega) = FT[x(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\Omega t} dt \quad (2)$ 通过正弦波信号和方波信号的频谱变换，说明其唯一性。 提出问题：时域信号连续如何用计算机处理？ 引导学生回顾采样定理，随机抽取学生回答问题。 (2) 离散时间信号的傅里叶变换 当信号为离散序列时，积分运算转变为求和运算，因此式 (1) 和式 (2) 转换为求和运算，如式 (3) 和 (4) 所示。

$$x(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} X(e^{j\omega}) e^{j\omega n} d\omega \quad (3)$$

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) e^{-j\omega n} \quad (4)$$

并非所有的右边求和运算，结果都能收敛，若不能收敛则序列的傅里叶变换不存在。

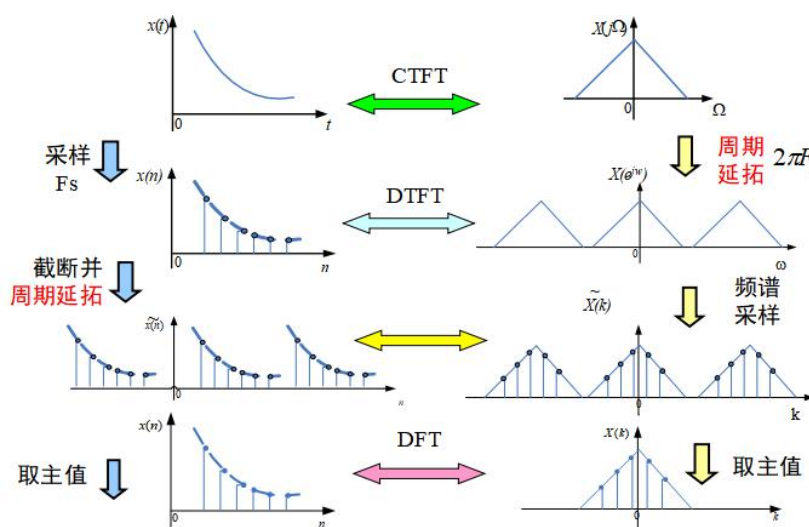
只有，当

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} |x(n) e^{-j\omega n}| = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |x(n)| < \infty \quad (5)$$

时，式（3）中的级数收敛，序列的傅里叶变换存在。

提出问题：频域连续的信号如何用计算机进行处理？

通过波形演示，更加直观的展示连续信号傅里叶变换、离散时间序列傅里叶变换、离散傅里叶变换之间的关系，变换过程如图所示。



(3) 离散傅立叶变换 DFT

①定义

有限长序列

$$x(n) = \begin{cases} x(n) & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0 & \text{其他} n \end{cases} \quad (6)$$

N 点离散傅立叶变换对定义为：

$$X(k) = \text{DFT}[x(n)] = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{kn} \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad (7)$$

$$x(n) = \text{IDFT}[X(k)] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) W_N^{-kn} \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (8)$$

②DFT 与 FT 的关系

$$X(k) = X(e^{j\omega}) \Big|_{\omega = \frac{2\pi}{N}k} \quad k = 1, 2, \dots, N-1$$

$x(n)$ 的 N 点 DFT ($X(k)$) 是 $X(e^{j\omega})$ 在 $[0, 2\pi]$ 的 N 点等间隔采样。

通过板书推导模拟角频率、数字角频率、 N 之间的关系。

课程思政：

通过一门课程的学习，学习者不仅仅是学到相关知识，更重要的是感知力、观察力得以提高，思路得到拓展，思维能力得到训练和提高。课程中把各种傅里叶变换对(FT, FS, DTFT, DFS) 放在一起研究，讨论它们之间的关系、特点，为什么引出 DFT, FFT 等，一开始学生可能会觉得有些乱，但彻底搞清楚了理解了，对信号的频域分析的认识将上升一个层次。系统的分析从时域到频域、从连续到离散，把各种系统各种分析方法放到一起，当分析的对象发生变化的时候，哪些是不变的规律，又有哪些发生了变化，从乱中梳缕出头绪，分析整理出体系脉络关系，品出这门课的味道，通过这种密集的烧脑训练锻炼学生多元思维、整体思维、变异思维的能力。

除了培养学生对全局的把控能力、思维能力，还要注重培养学生的感知力，对问题的敏感性，尤其是注意关键性的细节。例如离散傅里叶变换的定义：对于长度为 M 的有限长序列，定义其 N 点离散傅里叶变换，且 $N \geq M$ ，为什么要求 $N \geq M$ ？要注意到这个细节，并去探究背后的深层原因。

学习一门新的课程一般经过三个过程：一开始：看山是山，看水是水，单纯看一个小问题，不前后联系，不看整体，不多角度分析，觉得很简单，其实是盲人摸象只看到了一小部分；中间：看山不是山，看水不是水，把书读厚，至广至大，从不同角度对同一事物的描述，拓展理

	论的应用，表面看好像问题纷繁复杂；最后：看山是山，看水是水，把书慢慢读薄，致广大进而尽精微，抓住其本质，获得科学的直觉和灵感。 中学都学过庖丁解牛的故事，“所解数千牛矣，而刀刃若新发于硎。彼节者有间，而刀刃者无厚；以无厚入有间，恢恢乎其于游刃必有余地矣”，“每至于族，吾见其难为，怵然为戒，视为止，行为迟。动刀甚微，謦然已解，如土委地”。解题也一样，怎样达到这样的效果呢？经过大量的训练达到胸有成竹，整体的把控，盘根错节处的敏感小心处理，甚至达到一种科学的直觉。生活中处理问题也一样，既要注意整体的把控，又要有对关键问题的敏感性，才能像庖丁解牛一样游刃有余处理复杂问题，只有经过大量训练，达到努力的顶峰之后，才能变的毫不费力。
分析评价	案例训练锻炼了学生多元思维、整体思维、变异思维的能力。除了培养学生对对全局的把控能力、思维能力，还注重培养学生的感知力，对关键性的细节把握。
评 价 者	袁训锋、教授、商洛学院

案例编号	20042115-032
案例标题	快速傅里叶变换 FFT 定义
案例来源	原创案例
内容简介	FFT 推理的过程是科学家一步一步根据实际工程需求进行科学研究的过程，这个过程中需要科学有效的方法。通过傅里叶变换 DFT-FFT 的演进，引导学生理解科学技术方法论。
关键词	FFT,科学方法论
编写时间	2023-5-26
编著者	王园园，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	通过傅里叶变换-DFT-FFT 的演进，引导学生理解科学技术方法论。
素材长度	1097 个字符
案例正文	教学内容 开场：简介讲授内容及在课程中的地位 回顾数字信号处理的发展，它的起源可以追溯到十七世纪 60 年代的数值计算，它的萌芽期长达几个世纪，直到 20 世纪 60 年代 FFT 算法的出现，它才从理论走向应用，开始了它的蓬勃发展。这节课我们学习 FFT 算法的基础-基 2 时分 FFT 算法，它至今仍然启发我们去设计其他的高效算法。 简介授课思路和内容安排 内容安排按照提出问题、分析问题、解决问题的思维方式。首先我们一起讨论为什么要提高 DFT 的运算效率，运算效率低下会产生怎样的弊端。其次我们一起分析如何提高 DFT 的运算效率，最后我们介绍基 2 时分 FFT 算法的核心-基 2 时分蝶式运算定理，并分析基 2 时分 FFT 算法到底减少了多少计算量。 提出问题：为什么要研究 DFT 的快速算法？ 我们首先分析直接计算 DFT 所需的运算量到底有多大？分析直接计算 DFT 的计算量取决于 DFT 的计算公式。

有限长序列 $x(n)$ 的 N 点 DFT 计算公式为：

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{nk}, \quad 0 \leq k \leq N-1$$

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) W_N^{-nk}, \quad 0 \leq n \leq N-1$$

1. $x(n)$ 和 W_N^{nk} (假设 W_N^{nk} 已计算好) 都是复数, $X(k)$ 也是复数, 因此每计算一个 $X(k)$ 值, 需要 N 次复数乘法 ($x(n)$ 与 W_N^{nk} 相乘) 以及 $N-1$ 次复数加法。

2. $X(k)$ 一共有 N 个点 (k 从 0 取到 $N-1$), 所以完成整个 DFT 运算总共需要 N^2 次复数乘法及 $N(N-1) \approx N^2$ (N 较大时) 次加法。

分析问题：讲解改善 DFT 运算效率的基本思路 and 主要方法

我们总是希望通过已知理论解决未知问题。我们已知 DFT 的计算方法, 希望找到提高 DFT 的方法, 时域信号是千变万化、各种各样的, 我们希望研究出适用范围广的高效算法, 所以我们将着眼点放在旋转因子-复指数信号上, 我们已知复指数信号具有对称性、周期性和可约性, 可不可以利用这些已知理论来提高运算效率呢? 前人正是利用这些性质来提高 DFT 的运算效率。

1. W_N^{nk} 的对称性(复共轭对称): $W_N^{-nk} = (W_N^{nk})^*$, $W_N^{(nk+\frac{N}{2})} = -W_N^{nk}$

2. W_N^{nk} 的周期性: $W_N^{-nk} = W_N^{(N-n)k}$

3. W_N^{nk} 的可约性: $W_N^{nk} = W_{mN}^{mnk}$, $W_N^{nk} = W_{N/m}^{nk/m}$

1965 年, 库利和图基在计算数学上发表了机器计算傅里叶级数的一种算法一文后, 各类快速算法相继出现。

FFT 算法的思想可总结如下:

1. 利用复指数信号的周期性和对称性, 合并 DFT 运算中的某些项;

2. 利用复指数信号的周期性和可约性, 分解长序列的 DFT 为短序列的 DFT。

下面我们考虑一下将一个长序列分解为短序列都有哪些方法呢? 正是这些不同的分解产生了各类的快速算法。

	按抽取的样点域来分类，有在时域抽取的算法和在频域抽取的算法，按抽取的基数来分类，也就是隔几个样点抽取一个可分为基2FFT算法、基4FFT算法、混合基和分裂基FFT，后者是前两者的融合。基2时分FFT算法采用时域抽取，基数为2。与其他快速算法相比，相同点数下，基2时分FFT算法不是运算量最低的，但它最经典、理论最简单、是其他快速算法的基础，至今仍被广泛应用。 课程思政：通过傅里叶变换-DFT-FFT的演进，引导学生理解科学技术方法论，科学技术方法论是指科学家根据客观实际，采用合理的方法和方式，解决实际问题的一种研究方法。傅里叶变换（FT）但无法用数字化方法计算相应频谱，因而提出了离散傅里叶变换（DFT）。DFT给出了利用数字化近似估算信号频谱的方法，但DFT计算量很大，应用受到极大限制，因而提出了离散傅里叶变换快速算法（FFT）。FFT可以极大地提高DFT运算效率，满足工程实际中实时处理的需求。以该内容引导学生理解方法从提出到实际应用要经过理论—方法—技术三个阶段，同时也会受制于其他技术（如硬件等）的发展。FFT推理的过程是科学家一步一步根据实际工程需求进行科学研究的过程，这个过程中需要科学有效的方法。科学技术方法论在解决实际问题中发挥着十分重要的作用，它不仅可以帮助实现理论上的指导，更可以提高实际操作的准确性和精确度，使科研实践得以有效开展。因此，作为工科学生应该在研究、开发、设计和应用时，加强对科学技术方法论的使用，这有助于在实践中真正实现可持续发展。
分析评价	该案例的课程思政隐含在课程的整个讲解过程中，通过傅里叶变换-DFT-FFT的演进，引导学生理解科学技术方法论。思政点与课程内容紧密结合。
评价者	袁训锋、教授、商洛学院

案例编号	20042115-033
案例标题	循环卷积
案例来源	原创案例
内容简介	循环卷积是 DFT 的应用之一，循环卷积的计算方法并不唯一，引导学生在解决问题、分析问题，要善于思考、勤于思考。
关键词	循环卷积，DFT，解决问题
编写时间	2023-5-29
编著者	王园园，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	培养学生的创新思维和创新意识。
素材长度	1097 个字符
案例正文	课程内容： 两个序列的 N 点循环卷积定义为 $[h(n) \otimes x(n)]_N = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x((n-k))_N \quad (0 \leq n \leq N)$ 从定义中可以看到，循环卷积和线性卷积的不同之处在于：两个 N 点循环卷积的结果仍为 N 点序列，而它们的线性卷积的结果的长度则为 2N-1；循环卷积对序列的移位采取循环移位，而线性卷积对序列采取线性移位。正是这些不同，导致了线性卷积和循环卷积有不同的结果和性质。 循环卷积和线性卷积虽然是不同的概念，但它们之间由一个有意义的公式联系在一起 $y(n) = [h(n) \otimes x(n)]_N = \left(\sum_{k=0}^{N-1} y'(n-kN) \right) G_N(n)$ 其中 $y'(n) = h(n) * x(n)$ 也就是说，两个序列 N 点循环卷积是它们的线性卷积以 N 为

周期的周期延拓，设序列 $h(n)$ 的长度为 N_1 ，序列 $x(n)$ 的长度为 N_2 ，此时，线性卷积结果的序列的点数为 $N=N_1+N_2-1$ ，因此如果循环卷积的点数为 N 小于 N_1+N_2-1 ，那么上述周期延拓的结果就会产生混叠，从而两种卷积会有不同的结果。而如果 N 满足 $N=N_1+N_2-1$ 的条件，就会有

$$y(n) = y'(n) \quad (0 \leq n \leq N)$$

这就意味着在时域不会产生混叠。因此，我们得出结论：若通过在序列的末尾充填适当的零值，使得 $x(n)$ 和 $h(n)$ 成为 N_1+N_2-1 点序列，并作出这两个序列的 N_1+N_2-1 循环卷积，那么循环卷积与线性卷积的结果在 $0 \leq n \leq N$ 范围内相同。

根据 DFT 循环卷积性质中的卷积定理

$$DFT\{[h(n) \otimes x(n)]_N\} = DFT[x(n)] \bullet DFT[h(n)]$$

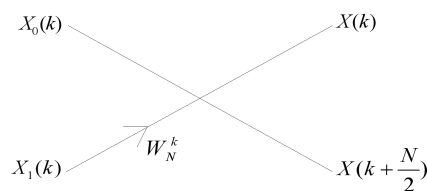
便可通过两种方法求两个序列的循环卷积：一是直接根据定义计算，二是根据性质线分别求两个序列的 N 点 DFT，并相乘，然后取 IDFT 以得到循环卷积。第二种方法看起来要经过若干过程，但由于序列的 DFT 和 IDFT 都有快速算法，因此它的效率比第一种方法高得多。

同样，根据线性卷积和循环卷积的关系，可以通过计算循环卷积以求得线性卷积，提高计算序列线性卷积的效率。

课程思政：时域循环卷积定理是 DFT 变换中最重要的定理，具有很强的实用性。已知系统输入和系统的单位脉冲响应，计算系统的输出，以及用 FFT 实现 FIR 滤波器等，都是利用该定理来实现的。在讲解循环卷积时，可以先通过日常生活中的例子引入线性卷积：往平静的水面上扔一块石子，泛起阵阵涟漪，若假设 $t=0$ 时刻丢进去一块石子，激起的波浪高度为 $g(0)$ ，在 $t=1$ 时刻，也丢进去一块石子，此时， $t=0$ 时刻的影响并未消失（水面还没有恢复平静），新的石子又丢进来，如果在 $t=2$ 时刻，也重复上述过程，直至 $t=n$ 时刻，求此时激起的波浪总的高度是多少？事实上，这就是卷积在日常生活中的应用的场景，然后再引入循环卷积，

	讲解线性卷积和循环卷积的区别。 从日常生活中的应用实例引入教学内容，可以激发学生学习的兴趣，提高学习的积极性和主观能动性。 同时，也教导学生，要将所学知识学以致用，要做到知行合一。 然而，循环卷积的计算方法有很多种，比如，图解法，矩阵相乘法，列表法或者先计算线性卷积，再由线性卷积和循环卷积之间的关系求出循环卷积等。 由此可以看出循环卷积的计算方法并不唯一，条条大路通罗马，引导学生在解决问题、分析问题，要善于思考、勤于思考，勇于创新，培养学生的创新思维和创新意识，为祖国的电子信息、通信事业添砖加瓦。 此时，还可以让学生了解卷积的最新动态和研究趋势：深度学习中的卷积神经网络。 可以要求学生自主阅读相关文献资料，了解该技术的原理和应用，以及国内外研究现状，甚至可以在课堂、课后展开学术交流和讨论，通过这种教学模式，让学生认识到学习理论知识的重要性：可以为社会服务，为人民服务，为应用服务，让他们理解为什么学， 才能真正意义上实现习总书记说的立德树人目标。
分析评价	该案例通过循环卷积计算，鼓励学生学习多角度分析问题，通过卷积的最新研究趋势，扩展学生知识面，使学生认识到学习理论知识的重要性
评价者	郭琳、教授、商洛学院

案例编号	20042115-034
案例标题	基 2-FFT 算法
案例来源	原创案例
内容简介	在进行基 2-FFT 推导的过程中，揭示了 FFT 算法蕴涵的内在对称关系，展现了 FFT 算法的对称之美，以美求知，就会激发学生兴趣，减轻学习负担，增长学生的才干，获得提高课堂学习效率的效果。
关键词	基 2-FFT，对称美，科学之美
编写时间	2023-6-14
编著者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	引导学生感受科学之美，激发学习兴趣。
素材长度	1097 个字符
案例正文	教学内容 一、讲解基 2 时分蝶式运算定理并证明 1. 蝶式定理 设 $X(k) = DFT[x(n)]$，$0 \leq k, n \leq N-1$，N 为偶数，按 n 的奇偶将 $x(n)$ 分解为两个 $N/2$ 点的子序列： $x_0(i) = x(2i) = \{x(0), x(2), \dots, x(N-2)\}, \quad i = 0, 1, \dots, \frac{N}{2}-1$ $x_1(i) = x(2i+1) = \{x(1), x(3), \dots, x(N-1)\}, \quad i = 0, 1, \dots, \frac{N}{2}-1$ 若 $X_0(k) = DFT[x_0(i)]$，$X_1(k) = DFT[x_1(i)]$，$0 \leq k \leq \frac{N}{2}-1$，则 $\begin{cases} X(k) = X_0(k) + X_1(k)W_N^k \\ X(k + \frac{N}{2}) = X_0(k) - X_1(k)W_N^k \end{cases} \quad (0 \leq k \leq \frac{N}{2}-1)$ 2. 蝶形流图 将基 2 时分蝶式定理的运算以运算蝶的图形形式描述出来是非常直观的。如图：



相关说明：

上图称为运算蝶，它描述了蝶式运算定理的运算过程。可以看出，对每一个 $k(0 \leq k \leq \frac{N}{2}-1)$ 就有一个相应的运算蝶。翅权为 W_N^k 外，输入和输出支路均为两路。一次蝶式运算需要一次复数乘法和两次复数加法。

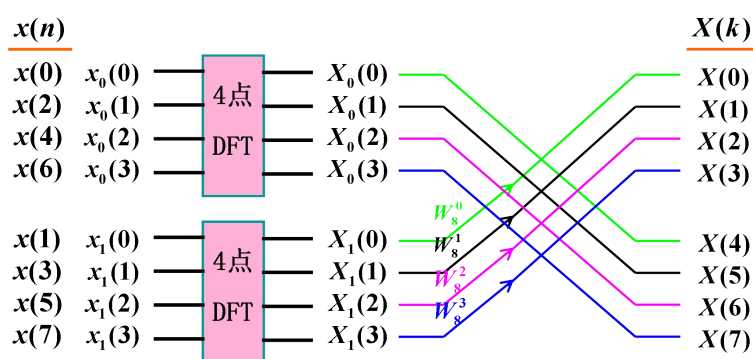
二、讲解基 2 时分 FFT 算法降低运算量的思路

若 $\frac{N}{2}$ 仍为偶数，能不能继续分解，进一步减少计算量呢？当然可以，若 $N=2^M$ ，则可以分解 M 次，直至求 1 点序列的 DFT。一点序列的 DFT 为原序列，这样我们就无需计算短序列的 DFT 了，运算量仅由 M 级蝶式运算组成。

以 $N=8$ 为例，将 $x(n)$ 按基 2 时分蝶式定理进行分解，得到：

$$x_0(n) = \{x(0), x(2), x(4), x(6)\}, \quad x_1(n) = \{x(1), x(3), x(5), x(7)\}$$

4 点序列 $x_0(n)$ 和 $x_1(n)$ 分别做 4 点 DFT，由 $X_0(k)$ 和 $X_1(k)$ 蝶式构造获得 $X(k)$ ，翅权为 W_8^k ($k=0, 1, 2, 3$)，如图：



此时，4 仍然是偶数， $x_0(n)$ 和 $x_1(n)$ 仍可以分解。

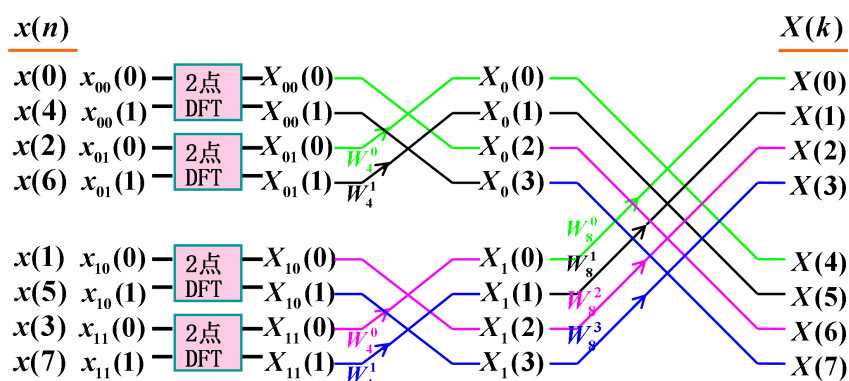
第二次分解：

$$x_{00}(n) = \{x(0), x(4)\}, x_{01}(n) = \{x(2), x(6)\}$$

$$x_{10}(n) = \{x(1), x(5)\}, x_{11}(n) = \{x(3), x(7)\}$$

$x_{00}(n)$ 、 $x_{01}(n)$ 和 $x_{10}(n)$ 、 $x_{11}(n)$ 分别做 2 点 DFT，由 $X_{00}(k)$ 、 $X_{01}(k)$

和 $X_{10}(k)$ 、 $X_{11}(k)$ 分别进行蝶式构造获得 $X_0(k)$ 、 $X_1(k)$ ，翅权为 W_4^k ($k=0,1$)，如图：



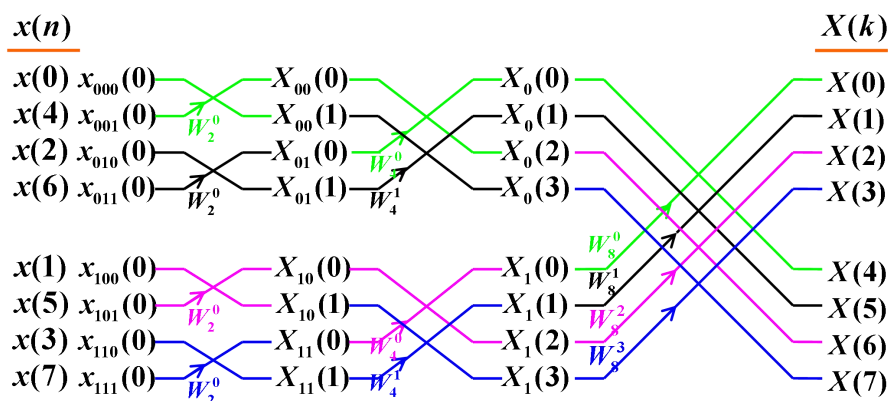
此时 2 仍然是偶数， $x_{00}(n)$ 、 $x_{01}(n)$ 、 $x_{10}(n)$ 和 $x_{11}(n)$ 仍然可以分解。

第三次分解：

$$x_{000}(n) = \{x(0)\}, x_{001}(n) = \{x(4)\}, x_{010}(n) = \{x(2)\}, x_{011}(n) = \{x(6)\},$$

$$x_{100}(n) = \{x(1)\}, x_{101}(n) = \{x(5)\}, x_{110}(n) = \{x(3)\}, x_{111}(n) = \{x(7)\},$$

每个 1 点序列的 1 点 DFT 值为其自身，如图所示进行构造，翅权为 W_2^k ($k=0$)。



所以当 $N = 2^M$ 时，共可进行 M 次分解，运算量全部 M 级蝶式运算，每级 $\frac{N}{2}$ 个运算蝶组成。

结合图表小结基 2 时分 FFT 算法的运算量

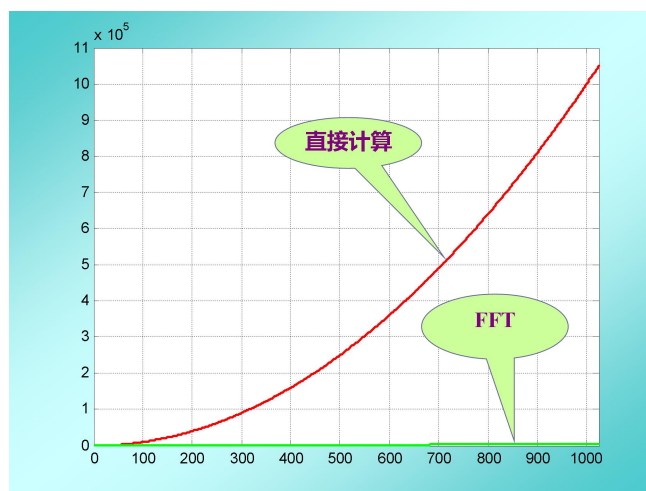
对于 $N = 2^M$ 需要做 M 次分解，相应于每次分解，需要复数乘法次数和复数加法次数为：

$$C_M = \frac{N}{2}, \quad C_A = \frac{N}{2} * 2 = N$$

所以总的计算量为：

$$C_M = \frac{N}{2} * M = \frac{N}{2} * \log_2 N, \quad C_A = N * M = N * \log_2 N$$

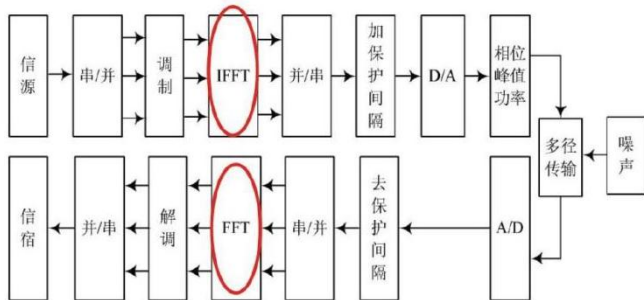
和直接计算 DFT 的计算量与 N^2 成正比相比，显著降低了运算量。



由图可以直观地看出 FFT 算法的优越性，显然， N 越大时，FFT 算法效率越高。以 N 为 1024 为例，基 2 时分 FFT 计算 DFT 所需的乘法次数与直接计算相比运算效率提高了 200 倍以上。

课程思政：传统的课程教学仍停留在推导算法的表达式，以及 FFT 算法实现的一些细节，而忽视了 FFT 算法的内在机理及其蕴含的对称关系，教学内容重“术”而轻“道”，难以提升课程的高阶性，难以培养学生的高阶思维。无论高级编程语言或者 DSP 专用设备，FFT 算法实现已十分简便，无须花费太多的精力讲解算法的细节及其实现过程。我们通过推导 FFT 算法的表达式，首次揭示了 FFT 算法的对称之美，展现了 FFT 算法的精髓，可以引导学生通透地理解任意基的 FFT 算法，化繁为简，触类旁通。我们首次给出了优美的矩阵表达式，展现了基 2 时间抽取与频率抽取 FFT 算法之间的对称关系。在讲解过程中引导学生发现科学之美，自然界具有对称美，科学理论的对称美正是源于自然界物质形态及其时空运动所具有的广泛对称性。凯库勒从对称性原则出发提出了芳香化合物的分子结构方式，它采取双轴对称的几何图形，给人以美的魅力。自然界从微观的原子、分子及生物结构再到宏观的天体运动

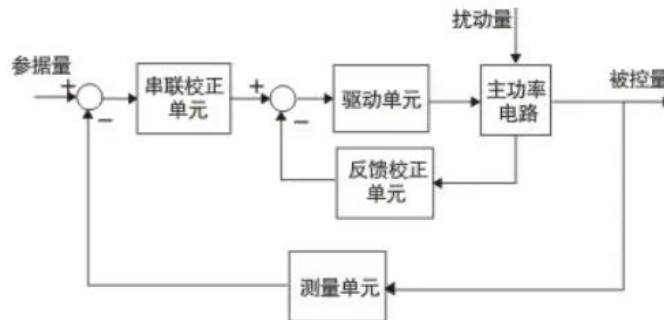
	和宇宙空间都具有这种对称美。这种均衡、稳定给人以美感。因此，平衡理论、对称理论、对偶理论、稳定理论等反映自然界对称特征的理论也是美的，都有很高的审美价值。在科学理论中，对称性的美学意境令许多科学家心驰神往，而当他们窥探到自然奇异美丽的内部时，则更加欣喜若狂。物理学中的电场与磁场、负电子与正电子；化学中的合成与分解、氧化与还原；生物学中的遗传与变异、同化与异化；地理学中的自然与人文、尺度与空间等都是因为有很美的对称形式而受到欣赏。在数学上，甚至有许多数学家为追求命题和公式的对称美而耗尽了毕生心血。 包括课堂在内的科学学习，不但是—种科学认知活动，而且是一个审美感知的过程。如果在课堂教学中，教师能够引导学生把求知和审美结合起来，以美求知，就会激发学生学习兴趣，减轻学习负担，增长学生的才干，获得提高课堂学习效率的效果。
分析评价	该案例视角独特，展现了 FFT 算法的对称之美，以美求知，就会激发学生学习兴趣，展现科学之美，提升学生科学认知。
评 价 者	贾慧琴、教授、西安石油大学

案例编号	20042115-035
案例标题	FFT 应用--OFDM
案例来源	原创案例
内容简介	基于 FFT 在正交频分复用（Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM）中的应用，强化自主知识产权的必要性，通过该案例教育学生增强核心技术自主研发的能力和水平，坚定强国信念，勇担强国使命。
关 键 词	FFT,科学方法论
编写时间	2023-6-13
编 著 者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	坚定强国信念，勇担强国使命。
素材长度	1097 个字符
案例正文	第四代移动通信系统的核心技术是“OFDM”。OFDM 是指正交频分复用技术，通过频分复用实现高速串行数据的并行传输，它具有较好的抗多径衰落的能力，能够支持多用户接入。OFDM 技术的特点是网络结构高度可扩展，具有良好的抗噪声性能和抗多信道干扰能力，可以提供比目前无线数据技术质量更高(速率高、时延小)的服务和更好的性能价格比，能为 4G 无线网提供更好的方案。 OFDM技术原理 ➤ 采用 IFFT/FFT 变换代替多载波调制的 OFDM 系统原理框图  基于 FFT 的 OFDM 快速算法，也大大简化了其硬件的复杂性，使得应用更加广泛。并且可以较为简单的实现均衡，因为此时

	只需对每个子载波的数据做均衡,而每个子载波上的数据经受的是无线信道上的平坦衰落,因此能够实现自适应调制与编码,自适应调制的 OFDM 系统可以满足多媒体数据传输的需求。 基于 IFFT/FFT 算法产生的正交频分复用技术 OFDM 利用相互正交的多个子载波来传送信息,具有高的频谱利用率和良好的抗多径干扰能力,已经被应用于数字音频广播、高清晰度电视和无线局域网等方面,并被看做是第四代移动通信的核心技术之一。本文系统的论述了 IFFT/FFT 算法在 OFDM 系统中所起到的作用,以及 IFFT/FFT 算法在 OFDM 系统中的实现过程。 课程思政: FFT 应用中思政元素与教学内容的融合: 第四代通信技术 OFDM 的发射端和接收端使用了 FFT 算法,课程在讲解 FFT 应用时会介绍该内容。通过该内容,引出我国在通信领域的发展史。在经历了“1G 空白—2G 跟随—3G 突破—4G 同步”的不断努力后,5G 主导对于中国而言,来之不易。正是有了 3G 时代开拓的产业基础,4G 时代的发展让我国迎来了赶超世界先进水平的机遇,目前在 5G 技术标准研发上,中国走在世界前列。随着 5G 网络的建设推进,以及 3GPP R16 版本的冻结,越来越多的人将关注焦点转移到 6G 上。技术储备不能无中生有,人才储备更不可能一蹴而就,我国建设具有自主知识产权的 5G、6G 通信很有必要。通过该案例教育学生增强核心技术自主研发的能力和水平,坚定强国信念,勇担强国使命。
分析评价	该案例通过讲解 FFT 在 OFDM 中的应用,讲解中国通信技术的发展,进而提出自主知识产权的重要性。
评价者	柯熙政、教授、西安理工大学

案例编号	20042115-036
案例标题	系统的反馈
案例来源	原创案例
内容简介	生活中闭环反馈原理比比皆是，不负责任的生产行为造成人类生态环境破坏，通过反馈使人类认识到热爱大自然、保护生态环境的重要性。
关键词	反馈，保护环境
编写时间	2021-1-5
编者	王园园，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	保护环境，可持续发展
素材长度	532 个字符
案例正文	课程内容： 同开环控制系统相比，闭环控制具有一系列优点。但反馈回路的引入增加了系统的复杂性，而且增益选择不当时会引起系统的不稳定。为提高控制精度，在扰动变量可以测量时，也常同时采用按扰动的控制（即前馈控制）作为反馈控制的补充而构成复合控制系统。 反馈控制系统（即闭环控制系统）是基于反馈原理建立的自动控制系统。所谓反馈原理，就是根据系统输出变化的信息来进行控制，即通过比较系统行为（输出）与期望行为之间的偏差，并消除偏差以获得预期的系统性能。在反馈控制系统中，既存在由输入到输出的信号前向通路，也包含从输出端到输入端的信号反馈通路，两者组成一个闭合的回路。因此，反馈控制系统又称为闭环控制系统。反馈控制是自动控制的主要形式。在工程上常把在运行中使输出量和期望值保持一致的反馈控制系统称为自动调节系统，而把用来精确地跟随或复现某种过程的反馈控制系统称为伺服系统或随动系统。 反馈控制系统由控制器、受控对象和反馈通路组成（见图）。图中带叉号的圆圈为比较环节，用来将输入与输出相减，给出偏差信号。这一环节在具体系统中可能与控制器一起统称为调节器。以炉温控制为

例，受控对象为炉子；输出变量为实际的炉子温度;输入变量为给定常值温度,一般用电压表示。炉温用热电偶测量，代表炉温的热电动势与给定电压相比较，两者的差值电压经过功率放大后用来驱动相应的执行机构进行控制。



反馈控制系统包括：

（一）负反馈（**negative feedback**）：凡反馈信息的作用与控制信息的作用方向相反，对控制部分的活动起制约或纠正作用的，称为负反馈。即使系统的输出值与目标值的偏差越来越小。

（二）正反馈（**positive feedback**）：凡反馈信息的作用与控制信息的作用方向相同，对控制部分的活动起增强作用的，称为正反馈意义：加速生理过程，使机体活动发挥最大效应。即使系统的输出值与目标值的偏差越来越大，正反馈并不是都是好的，有的时候系统需要正反馈的作用。如原子弹引爆装置中要用到的裂变链式反应。又如在植物保护中，为了消灭有害的昆虫，大量繁殖这种害虫的天敌。

反馈控制系统由控制器、受控对象和反馈通路组成。在反馈控制系统中，不管出于什么原因（外部扰动或系统内部变化），只要被控制量偏离规定值，就会产生相应的控制作用去消除偏差。因此，它具有抑制干扰的能力，对元件特性变化不敏感，并能改善系统的响应特性

课程思政：

本案例主要介绍系统的反馈，拓展到自动控制系统的基本控制方式：开环控制和闭环控制。开环控制，控制系统的输入与输出只有顺向作用的控制方式，叫开环控制。闭环控制，凡是系统输出信号对控制作用有直接影响的控制方式，叫做闭环控制。

某运动员练习射箭，在训练过程中，他的每一次试射可以看作是开环控制过程。一旦把箭射出去，是否命中靶子，命中靶子后是多少环，离 10 环差多少，是已经确定了的，无法再改变，属于典型的开环控制。

经过长期的训练，射箭运动员经历过无数次的开环控制过程，他射箭的准度越来越高，命中靶子不成问题，并且离 10 环的靶心越来越近。这是运动员在训练过程中不断反馈纠正准星而达到的训练结果，属于闭环反馈控制过程。

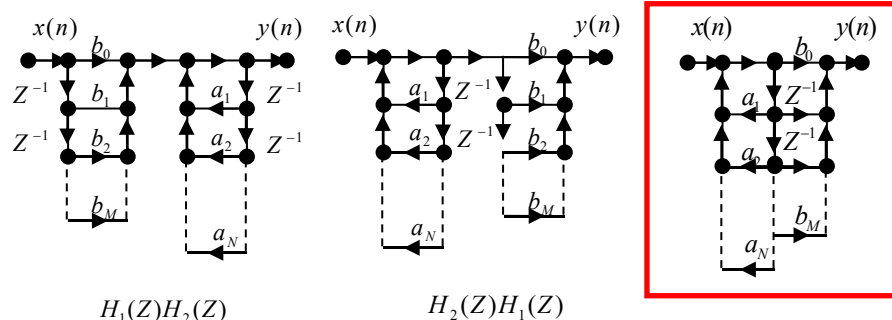
通过上述例子说明，每次射箭的开环控制是为了实现反馈控制，反馈控制过程中蕴含着开环控制，这是开环控制与闭环控制的辩证关系。

在大自然和实际生活中，也蕴含着反馈原理。通过反馈认识，反思所作所为来使事物发展越来越好的例子比比皆是，如：人类对生态环境的认识，在漫长的生产活动中，人们掠夺式地开发自然资源、大肆砍伐森林，开垦草原、滥捕海洋鱼虾等造成了水土流失严重、土地沙漠化、海洋渔业资源枯竭，人们尝尽了环境恶化的苦头。在大自然的惩罚反馈中，人们逐渐明白了保护生态环境的重要性。



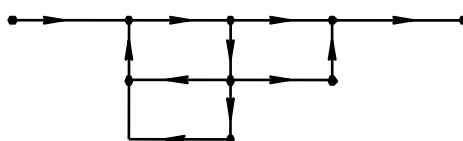
	
分析评价	该案例既包含了“数字信号处理”的专业知识，又将闭环与开环控制之间的辩证哲学原理介绍给了青年学生，实现了知识传授与辩证思维训练的密切结合。这是本案例课程思政教育与知识学习的融合点。
评 价 者	袁训锋、教授、商洛学院

案例编号	20042115-037
案例标题	IIR 系统的直接型网络结构
案例来源	原创案例
内容简介	通过差分方程讲解 IIR 系统的直接型网络结构的特点和画法，启发学生：“人就是一个系统，要想产生输出（输出技能），就需要不断地输入（学习）”。概念介绍完后，分享清华校长薛其坤的励志求学故事。
关键词	IIR 系统、直接型网络结构、特点；
编写时间	2023-7-8
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	提高学生学习积极性、激发学生学习斗志等；
素材长度	1603 字符
案例正文	知识点内容：IR 系统的直接型网络结构 直接型系统函数——按照差分方程式而得到的系统函数式。 直接型网络结构——与直接型系统函数有关的信号流图。 系统函数写为下式： $H(Z) = \frac{Y(Z)}{X(Z)} = \frac{\sum_{r=0}^M b_r Z^{-r}}{1 - \sum_{k=1}^N a_k Z^{-k}} = H_1(Z)H_2(Z) = H_2(Z)H_1(Z)$ 其中： $H_1(Z) = \sum_{r=0}^M b_r Z^{-r} \quad \text{—全零点系统，只确定零点}$ $H_2(Z) = \frac{1}{1 - \sum_{k=1}^N a_k Z^{-k}} \quad \text{—全极点系统，只确定极点}$ 由差分方程画其直接性网络结构： $y(n) = \sum_{i=0}^M b_i x(n-i) - \sum_{k=1}^N a_k y(n-k)$



例 1、已知系统用下面差分方程描述，试画出它的直接型网络结构。

$$y(n)=0.9y(n-1)+0.8y(n-2)+x(n)-1.4x(n-1)$$



缺点： N 个系数大小（量化误差）会同时影响每个极点的位置，误差容易一级一级累积，从而影响系统的性能，甚至导致系统不稳定。一般只用在二阶或一阶系统。

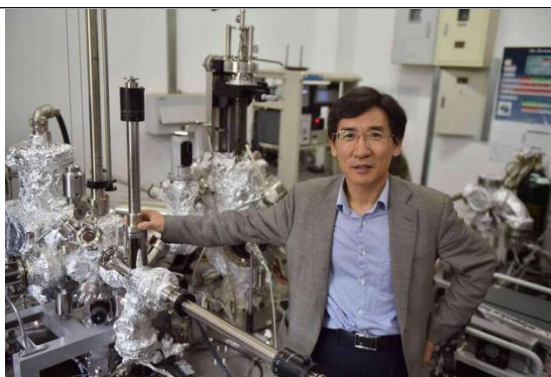
思政故事切入：清华大学校长薛其坤的励志求学故事。

2020 年，清华大学副校长薛其坤院士因为发现了量子反常霍尔效应，获得了 2020 年度菲列兹·伦敦奖，这可是中国首个、亚洲第二个获得此项荣誉的科学家，而这个奖项自 1957 年创建以来，共有 50 余位获奖者，其中 12 位后来都被授予了诺贝尔物理学奖！所以薛其坤也成为了国人心目中诺奖的有力竞争人选，这样一位优秀的人才想来从小就是一位天才，然而当人们翻开他的履历时却发现自己大错特错了！



薛其坤的天赋其实并不出众，甚至他为了能够读研，前前后后

	参加了三次考试，而他现如今的所有成就，也是在付出了远超常人想象的努力之后才得到的！薛其坤院士出生在山东临沂一个普通的农村家庭，所以他从小学习就非常努力，立志要凭借高考改变自己的人生轨迹。 1980 年，薛其坤凭借非常优异的高考成绩考入了山东大学激光专业。山大作为副部级 985 高校，在本省相当难考，其含金量也是非常高的，那个时候的大学生是包分配的，薛其坤从山大本科毕业后，直接参加了工作，他选择进入现在的曲阜师范大学担任一名老师。 一段时间后，薛其坤发现这并不是他想要的生活，他希望能成为一名科学家为祖国的科研事业添砖加瓦。所以为了实现自己心中的理想，薛其坤毅然决然地决定考研，可能有人觉得，都能进入山东大学了，肯定是一个妥妥的学霸无疑，考研一定是小 case。 然而事实却并不是这样，相反他甚至有一些笨，在第一次考研的时候，他的高等数学仅仅只考了 39 分！这样的水平实在是让人“刮目相看”。不过薛其坤却并没有放弃，反而坚定的选择二战考研。 这次考试的成绩显得额外具有戏剧性，他又一次考了 39 分，不过这次不是数学，而是物理。更让他感到郁闷的是，虽然他没考上，但是他有许多学生考上了。后来他想到了一个办法，那就是和学生一起学习，激励自己向上攀登，终于在第 3 次考试后，薛其坤成为了中国科学院的一名研究生。 凭借着这么多年的扎实积累，博士毕业后的他就仿佛开启了一段“开挂”的人生，在 35 岁那年他成为了教授，在 41 岁那年他又成为了中国科学院最年轻的一位院士，在 50 岁那年他更是攻克了量子世界的难题。 2013 年 3 月，薛其坤出任清华大学校长助理，同年 5 月也就是两个月后，他的人生再次迎来高光时刻，直接升任了清华大学副校长。
--	--



所以说如果天赋不够优秀的话，真的就不能做出一番作为吗？从薛其坤身上我们就可以看出，答案当然是 NO，就像薛其坤常挂在嘴边的那句话一样：“哪有什么天才，不过是比较其他任何人都更加努力而已”。

薛其坤用自身行为向所有学子做了一个最好的表率，而我们也期待他能够早日收获诺贝尔物理学奖，为国争光！

课程思政升华：百折不挠，努力学习，实现自己的梦想！

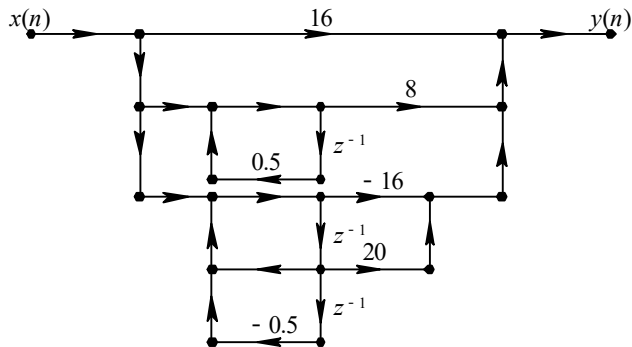
三次考研，从考研数学 30 多分的成绩到科学院院士，薛其坤的励志求学经历给我们树立了榜样！一个人要想不断地取得成绩，就需要持续输入，持续的给自己施加激励，这样才能得到阶段性的成果，审视自己过去的零输入响应，总结经验，吸取教训，持续奋斗，从而让自己的零状态响应更多一些，这样整个人生的响应就会更多些！从而实现自己的梦想！就像薛其坤院士，曾经他也考研不顺，但是他会总结经验，自己一个人复习效果不好，那就和同学好友们一块复习激励自己学习，读研究生期间，刚开始被老师斥责，后来成为课题组最优秀的博士生，我们不知道薛其坤到底经历了多少磨难，但是可以肯定的是，他一定是个不服输、不轻言放弃、百折不挠的科学家！

分析评价	该案例在讲解 IIR 系统的直接型网络结构，分享清华校长薛其坤的励志求学故事，从而在精神上勉励学生，鼓舞学生不轻言放弃，达到了课程育人的目的。
评价者	柯熙政、教授、西安理工大学

案例编号	20042115-038
案例标题	IIR 系统的并联型网络结构
案例来源	原创案例
内容简介	讲解 IIR 系统的并联型网络结构，并与直接型网络结构进行对比，启发学生要具有创新性的思维、多角度看问题、培养多元化思考。
关键词	IIR 系统、并联型、直接型、级联型、网络结构、多元化思考；
编写时间	2023-7-16
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	培养学生创新能力、多元化思考、多角度看问题的能力；
素材长度	589 字符
案例正文	知识点内容：IIR 系统的并联型网络结构 并联型： $H(Z) = H_1(Z) + H_2(Z) + \dots$ $H(Z) = A + \sum_{k=1}^{N/2} \frac{b_{1k} + b_{2k}Z^{-1}}{1 - a_{1k}Z^{-1} - a_{2k}Z^{-2}}$ 并联型网络结构图如下： 例 1 设系统函数如下式，试画出它的并联型网络结构。 $H(z) = \frac{(2 - 0.379z^{-1})(4 - 1.24z^{-1} + 5.26z^{-2})}{(1 - 0.25z^{-1})(1 - z^{-1} + 0.5z^{-2})}$

解:将上式化简:

$$H(z) = 16 + \frac{8}{1 - 0.5z^{-1}} + \frac{16 + 20z^{-1}}{1 - z^{-1} + 0.5z^{-2}}$$



化简后所画出的并联型网络结构图并不唯一。

IIR 系统的网络结构对比:

类型	结构图	特点
1. 直接型: $H(Z) = \frac{\sum_{r=0}^M b_r Z^{-r}}{1 - \sum_{k=1}^N a_k Z^{-k}}$		1、容易误差累积; 2、结构不易调整。
2. 级联型: $H(Z) = H_1(Z)H_2(Z)H_3(Z)$		1、零点位置易调整; 2、级联-流水结构, 硬件易实现; 3、分子分母配对方式多种, 存在最优方式。
3. 并联型: $H(Z) = A + H_1(Z) + H_2(Z)$		1、极点位置易调整, 但不能调整零点; 2、并行运行, 速度快; 3、不会造成误差累积, 误差最小。

课程思政升华: 创新思维方式, 多角度看问题!

在学习和生活中, 我们需要从不同角度和视野看问题和分析问题。特别是碰到困难、挫折时, 应该转变思路采取“变换”的方

	法，将问题切换到不同的“域中”，从不同角度去分析问题。 因此，在课堂上结合变换这个知识点对学生进行提醒，从不同角度和视野去分析问题，获得对待这些事情的正确认知，有助于学生创新能力的培养。
分析评价	该案例在讲解 IIR 系统的并联型结构并与直接型、级联型结构进行对比，引申到学生在实际的生活学习中学会用变换的方法思考问题、解决问题，达到了课程育人的目的。
评价者	贾惠琴、教授、西安石油大学

案例编号	20042115-039
案例标题	数字滤波器发展史
案例来源	原创案例
内容简介	通过讲解数字滤波器发展史，结合国家发展、民族复兴这一主题来鼓励学生奋发向上，以中华民族复兴为己任，克服学习上的畏难情绪，努力学习。
关键词	发展史、民族复兴
编写时间	2023-7-10
编者	王园园，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字，图片
育人主题	以中华民族复兴为己任，克服学习上的畏难情绪，努力学习。
素材长度	1052 个字符
案例正文	课程内容： 数字滤波技术兴起于 20 世纪 60 年代，和其他的很多数字信号处理技术一样，数字滤波的研究最初也是为了仿真模拟器件的性能。比如在语音编码器中，因为其中有大量的低通和带通滤波器，每个滤波器不仅重量很重，而且由于模拟器件的一致性不好，每个滤波器都需要单独调试，这样编码器的测试非常费时费力。随着数字计算机应用范围的逐步扩大，一些条件比较好的科研机构开始用计算机来仿真编码器及其中模拟滤波器的功能。在早期的研究中，由于计算机运算速度还很慢，IIR 滤波器因为其运算效率高而大受青睐。 在最初的对模拟滤波器的仿真中，还遇到的一个问题是如何评价仿真的性能，即仿真出来的结果与真实的滤波器之间的匹配关系很难评价。于是科学家们引入了 Z 变换这个数学工具来分析 IIR 滤波器的理论性能，将计算机仿真的结果与理论性能分析对照，就能很方便地知道对模拟器件的仿真结果的可靠性。由于模拟器件不仅容易受干扰，而且器件本身

的一致性很差，于是随着研究的深入，科学家们不再满足于数字技术仅用于仿真模拟器件的性能，而是试图用数字技术直接对信号进行处理，这从根本上改变了信号处理的模式。

1967 年前后，科学家们发明了用等波纹椭圆函数的方法来设计 IIR 滤波器。这种方法具有数学上的严密性，使得 IIR 滤波器的设计具有明确的解析表达式，因而具备了理论上的完备性。而在当时，这种方法只能用于 IIR 滤波器的设计。

理论上的完备性，加上实现过程的高效率，使得 IIR 滤波器在 20 世纪 60 年代完全压过了 FIR 滤波器，成为数字滤波器的主流。但进入 20 世纪 80 年代之后，由于数字滤波器应用范围的进一步扩大，加上 FIR 滤波器设计技术的发展，FIR 滤波器的风头又完全盖过了 IIR 滤波器。

一方面，对 IIR 滤波器来说，很难保证滤波器相位的线性性。这在早期来说问题不大，因为那时数字滤波器的主要应用就是频率选择滤波器，关心的仅是滤波器的幅频特性，而对相频特性几乎没有什么要求。但进入 20 世纪 80 年代之后，数字滤波器的应用已经扩展到匹配滤波器、自适应滤波器等方面，相频特性也变得重要起来，这时自然给了 FIR 滤波器更多的机会。而且在自适应滤波的背景下，IIR 的最优化滤波设计方法也失效了，这更降低了 IIR 滤波器的竞争力。

另一方面，最优化的 FIR 滤波器设计方法也得到了充分的发展，Parks-McClellan 方法的出现使得 FIR 滤波器的设计性能达到了一个新的高度，也使得 FIR 滤波器的设计方法具备了数学上的完备性。此外，IIR 滤波器在稳定性及实现的并行性上较 FIR 滤波器上都有所不如。因此，在 20 世纪 80 年代，可以说 IIR 滤波器在竞争中完全处于下风。

直到如今，IIR 常为人们所诟病的缺点也还在于系统的不稳定性、相位的非线性、并行的有限性及不能应用于自适应滤波器等场合。但情况也在发生变化，因为随着新的处理方法的出现，IIR 滤波器正在逐步解决稳定性、非线性及并行性等方面的问题，并且自适应 IIR 滤波器的研究也取得了很大的进展；而且 IIR 滤波器的运算效率高、占用内存少的特点一直是 FIR 滤波器没有超越的地方。IIR 滤波器也在不断焕发生机。

	思政要素：滤波器可以分为低通、高通、带通和带阻等不同的类型，滤波的关键是让频率有选择性地通过，是很多电路的关键模块。滤波器就相当于习近平总书记在 2014 年北大讲话中提到的总钥匙，就是正确的世界观、人生观、价值观，掌握了正确的世界观、人生观和价值观这把总钥匙，学生能更好地明辨是非、抵制坏风气。 中华民族创造了悠久的历史 and 灿烂的文化，也是世界上唯一一个未间断过的文明，我们深深地为我们国家辉煌的文化和历史感到骄傲。但是在近代，我国无论是在经济上还是科学技术上都落后于西方新兴资本主义国家。我们现在所学的科技知识中有很大部分都是由西方科学家所发现和整理的，比如说“数字信号处理”课程中必须用到的数学工具，如高等数学中的微积分、傅里叶变换、滤波器的设计方法等。授课教师要让学生知道，科技的发展与国家民族的复兴是息息相关的，西方科技中心的变更也证明了这一点，从文艺复兴的意大利、法国，到工业革命后的英国、二战前期的德国，再到现在的美国，一个国家越是繁荣富强，越能诞生更多的科学家，越能有更多的科学技术被发明和发现，越容易实现民族复兴。所以在介绍滤波器发展史时，可以结合国家发展、民族复兴这一主题来鼓励学生奋发向上，以中华民族复兴为己任，克服学习上的畏难情绪，努力学习，把人生目标同国家民族复兴的伟大目标结合起来，以便在数字信号处理领域发现领先世界的理论方法。
分析评价	课程思政的最终目标是要把学生培养成中华民族复兴的接班人，该案例通过讲解数字滤波器发展史，说明在近代史中我国科学技术的落后鼓励学生以中华民族复兴为己任，克服学习上的畏难情绪，努力学习。
评 价 者	李芳、教授、西安理工大学

案例编号	20042115-040
案例标题	典型模拟滤波器
案例来源	原创案例
内容简介	学生通过小组讨论以不同的角度对各种滤波器进行分析比较，分析出没有哪种滤波器在各个方面均优于其他滤波器。培养学生从不同角度进行分析的方法论，强化学生的辩证思维，引导学生思考人文和自然的相通性，正确看待生活中的得失。
关键词	数字滤波器，设计，编程思维；
编写时间	2023-6-10
编者	王园园，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字，图片
育人主题	强化学生的辩证思维，正确看待生活中的得失。
素材长度	1064 个字符
案例正文	课程内容： IIR 滤波器是一种数字滤波器，由于它的脉冲响应序列 $h(n)$ 是无限长的，故称为无限脉冲响应滤波器。IIR 滤波器系统函数的极点可以位于单位圆内的任何地方，因此可以用较低的阶数获得高选择性，所用存储单元少，经济而效率高。但这些是以相位的非线性为代价的，选择性越好，相位非线性越严重。IIR 滤波器可以借助于模拟滤波器的成果，一般都有有效的封闭式设计公式可供准确计算，计算工作量比较小，而计算工具要求不高。 本节主要介绍常用的低通原型模拟滤波器的主要特点,包括巴特沃斯滤波器、切比雪夫I型滤波器、切比雪夫II型滤波器、椭圆滤波器、贝赛尔滤波器。各类模拟滤波器及数字滤波器可以通过这引起低通模拟原型滤波器变换得到。 1 巴特沃斯滤波器 巴特沃斯 Butterworth 低通滤波器的平方幅度响应为

$$|H(j\omega)|^2 = A(\omega^2) \frac{1}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2N}}$$

其中， n 为滤波器的阶数， ω_c 为低通滤波器的截止频率。该滤波器具有一些特殊的性质：

2 切比雪夫滤波器

切比雪夫（Chebyshev）滤波器有 Chebyshev I 型和 Chebyshev II 型。

（1）Chebyshev I 型

Chebyshev I 型模拟低通滤波器的平方幅值响应函数为

$$|H(j\omega)|^2 = A(\omega^2) = \frac{1}{1 + \varphi^2 C_N^2\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)}$$

其中， φ 为小于 1 的正数，表示通带内幅值波纹情况； ω_c 为截止频率； N 为 Chebyshev 多项式阶数， $C_N(\omega/\omega_c)$ 为 Chebyshev 多项式，定义为

$$C_N(x) = \begin{cases} \cos(N \cos^{-1}(x)) & |x| \leq 1 \\ \cosh(N \cosh^{-1}(x)) & |x| > 1 \end{cases}$$

切比雪夫 I 型滤波器的特点：通带内具有等波纹起伏特性，而在阻带内单调下降，且具有更大的衰减特性；阶数 N 越高，特性越接近矩形。

（2）切比雪夫 II 型

Chebyshev II 型模拟低通滤波器平方幅值响应函数为

$$|H(j\omega)|^2 = A(\omega^2) = \frac{1}{\left[1 + \varphi^2 C_N^2\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)\right]^{-1}}$$

切比雪夫 II 型滤波器的特点：阻带内具有等波纹起伏特性，而在通带内是单调、平滑的。阶数 N 越高，特性越接近矩形。传递函数即有极点又零点。

3 椭圆（Elliptic）滤波器

椭圆（Elliptic）低通滤波器原型的平方幅值响应函数为

	$ H(j\omega) ^2 = A(\omega^2) = \frac{1}{1 + \mu^2 E_N^2 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)}$ 4 贝塞尔滤波器滤波器 贝塞尔模拟低通滤波器原型的特点是在零频时具有最平坦的群延迟，并在整个通带内群延迟几乎不变。贝塞尔模拟滤波器通带内保持信号形状不变。其传递函数为 $H(s) = \frac{k}{(s - p(1))(s - p(2)) \dots (s - p(n))}$ 思政引入： IIR 数字滤波器是一种常用的滤波器，其基础是模拟滤波器的设计。在讲解模拟滤波器设计时，同时介绍巴特沃斯滤波器（BW 型）、切比雪夫滤波器（CB 型）、椭圆滤波器，引导学生思考为什么需要多种滤波器设计。学生通过小组讨论以不同的角度对各种滤波器进行分析比较，理解各种滤波器的优点和不足，并将讨论结果进行组间分享。通过提出问题—小组讨论—组间分享—问题深化多个环节，学生能够理解滤波器设计过程中需要同时考虑对器件的精度要求、滤波器阶数等因素，没有哪种滤波器在各个方面均优于其他滤波器。在实际工程中，一种指标的提升一般会带来另一种指标的降低，根据需求选择最合适的方法。通过上面的思政元素，培养学生从不同角度进行分析的方法论，强化学生的辩证思维。更进一步，生活中也蕴含着得与失的问题，引导学生思考人文和自然的相通性，正确看待生活中的得失。
分析评价	通过探讨，深刻理解课程知识点，将课程思政融入课堂教学建设，引导学生从不同角度分析问题，正确看待得失。
评 价 者	袁训锋、教授、商洛学院

案例编号	20042115-041
案例标题	切比雪夫滤波器的设计
案例来源	原创案例
内容简介	通过切比雪夫模拟滤波器的设计引出切比雪夫 (Chebyshev) 生平介绍，引用科学家的事迹，弘扬科学精神。
关键词	切比雪夫、数字滤波器、弘扬科学精神
编写时间	2023-7-13
编者	王园园，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字，图片
育人主题	弘扬科学精神
素材长度	1064 个字符
案例正文	课程内容： 切比雪夫滤波器（又译车比雪夫滤波器）是在通带或阻带上频率响应幅度等波纹波动的滤波器。在通带波动的为“I 型切比雪夫滤波器”，在阻带波动的为“II 型切比雪夫滤波器”。切比雪夫滤波器在过渡带比巴特沃斯滤波器的衰减快，但频率响应的幅频特性不如后者平坦。切比雪夫滤波器和理想滤波器的频率响应曲线之间的误差最小，但是在通频带内存在幅度波动。 这种滤波器来自切比雪夫多项式，因此得名，用以纪念俄罗斯数学家巴夫尼提·列波维奇·切比雪夫。 （1） I 型切比雪夫滤波器 I 型切比雪夫滤波器最为常见。 n 阶第一类切比雪夫滤波器的幅度与频率的关系可用下列公式表示： $G_n(\omega) = H_n(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \epsilon^2 T_n^2\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)}}$ 其中：

$$|\epsilon| < 1, \text{ 而 } |H(\omega_0)| = \frac{1}{\sqrt{1+\epsilon^2}} \text{ 是滤波器在截止频率 } \omega_0 \text{ 的放大}$$

率 (注意: 常用的以幅度下降 3 分贝的频率点作为截止频率的定义不适用于切比雪夫滤波器)

切比雪夫滤波器的阶数等于此滤波器的电子线路内的电抗元件数。

$$\text{切比雪夫滤波器的幅度波动} = 20 \log_{10} \sqrt{1+\epsilon^2} \text{ 分贝}$$

当 $\epsilon = 1$, 切比雪夫滤波器的幅度波动 = 3 分贝。

如果需要幅度在阻频带边上衰减得更陡峭, 可允许在复平面的 $j\omega$ 轴上存在零点。但结果会使通频带内振幅波动较大, 而在阻频带内对信号抑制较弱。这种滤波器叫椭圆函数滤波器或考尔滤波器。

(2) II 型切比雪夫滤波器

也称倒数切比雪夫滤波器, 较不常用, 因为频率截止速度不如 I 型快, 也需要用更多的电子元件。II 型切比雪夫滤波器在通频带内没有幅度波动, 只在阻频带内有幅度波动。

II 型切比雪夫滤波器的转移函数为:

$$|H(\Omega)|^2 = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\epsilon^2 T_n^2(\omega_0/\omega)}}}$$

参数 ϵ 与 阻频带的 衰减度 γ 有如下关系:

$$\epsilon = \frac{1}{\sqrt{10^{0.1\gamma} - 1}} \text{ 分贝。}$$

5 分贝衰减度相当于 $\epsilon = 0.6801$; 10 分贝衰减度相当于 $\epsilon = 0.3333$ 。

截止频率 $f_C = \omega_C / 2\pi$ 。

-3 分贝频率 f_H 和截止频率 f_C 有如下关系:

$$f_H = f_C \cosh \left(\frac{1}{n} \cosh^{-1} \frac{1}{\epsilon} \right)$$

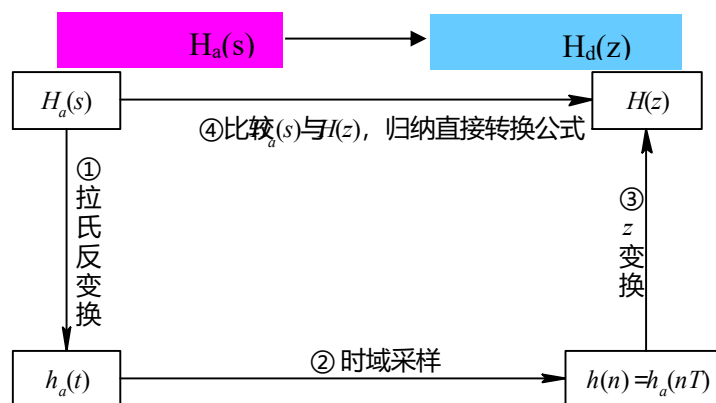
如果需要快速衰减而允许通频带存在少许幅度波动, 可用第一类切比雪夫滤波器; 如果需要快速衰减而不允许通频带存在幅度波动, 可用第二类切比雪夫滤波器。

思政引入:

数字信号处理课程中包含较多的基本定律和方法, 以此为切入点,

	引用科学家的事迹，弘扬科学精神。通过切比雪夫模拟滤波器的设计引出切比雪夫 (Chebyshev) 生平介绍。切比雪夫(Chebyshev)是俄罗斯数学家，切比雪夫天生左腿便有残疾，因而他童年不好活动，通常独坐家中，养成了闭门看书和安静思考的习惯。他没有读过小学和中学，少儿时代在家里接受初等教育，由母亲教他阅读和写作，表姐 Avdotia Soukhareva 教他法文和算术。他从小爱好机械玩具和数学，对欧几里得《几何原本》中关于没有最大素数的证明非常着迷。不仅重视数学，而且十分重视数学的应用。他以自己的卓越才能和独特的魅力吸引了一批年轻的俄国数学家，形成了一个具有鲜明风格的数学学派，在概率论、解析数论和函数逼近论领域的开创性工作从根本上改变了法国、德国等传统数学大国的数学家们对俄国数学的看法。
分析评价	通过讲解切比雪夫滤波器，引出切比雪夫事迹，通过弘扬科学家的事迹，提升学生学习兴趣，培养学生科研意识。
评 价 者	袁训锋、教授、商洛学院

案例编号	20042115-042
案例标题	IIR 数字滤波的设计（脉冲响应不变法）
案例来源	原创案例
内容简介	通过采用脉冲响应不变法设计 IIR 数字滤波器，设计时先设计出模拟滤波器再通过脉冲响应不变法转换成谁滤波器。在解决问题时，一种方法行不通，我们可以换个角度来看问题和分析问题，懂得变通。从一个视角去看问题，往往不全面，是处理不好一件事的，而应该从多角度思考问题，或站在更高的角度重新审视同一件事情，也许会得到不一样的解决方案，培养学生解决问题和分析问题的科学思维方式。
关 键 词	脉冲响应不变法、数字滤波器、多角度思考问题
编写时间	2023-7-08
编 著 者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	培养学生解决问题和分析问题的科学思维方式
素材长度	1073 个字符
案例正文	新课导入：滤波器的分类、滤波器的技术指标、IIR 数字滤波器的技术特点 【讲到数字滤波器设计时，可以结合学科前沿，以 5G 移动通信中使用的滤波器——毫米波滤波器为例引入滤波器知识点。而 5G 移动通信技术标准是华为制定的，我国在移动通信方面的发展终于紧跟世界步伐，华为、中兴等企业的全球移动通信市场份额也位于世界前列，作为当代的大学生，应该有足够的民族自豪感，有足够的自信心，通过奋斗，一样可以做得很好，可以引领世界，生活也会更加幸福】 IIR 数字滤波器设计方法概述：



根据给出的滤波器的技术指标要求，先设计出一个模拟滤波器，得到其系统函数 $H_a(s)$ ，然后再按一定的算法(冲激响应不变法或双线性变换法)，将 $H_a(s)$ 转换成满足预定指标要求的数字滤波器的系统函数 $H(z)$ 。该设计方法的实质：是一个 S 平面到 Z 平面的复变函数的映射变换，即有注意，该映射变换必须要满足以下 2 个条件：（1） S 平面虚轴 $j\Omega$ 必须映射到 Z 平面的单位圆 $e^{j\omega}$ 上 （2） S 平面的左半平面必须映射到 Z 平面单位圆的内部 $|z|<1$ 下面先讨论模拟滤波器的设计方法，再介绍由模拟滤波器变换为 IIR 数字滤波器的两种映射变换：冲激响应不变法和双线性变换法。

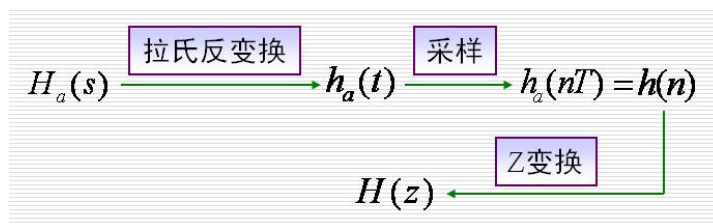
【联系中国通信业发展的艰辛历程，激励学生正视我们国家的技术发展，从华为芯片认清现实，科技才能强国。突出引导学生爱国教育，激励学生努力学习，要有一定的责任感和使命感，要有担当，只有认真学习、脚踏实地和不断地拼搏奋斗，才能使得祖国越来越强大。】

冲激响应不变法

一、设计原理

根据给出的数字滤波器的技术指标要求，先设计出一个模拟滤波器，得到其系统函数 $H_a(s)$ ，然后再按冲激响应不变法，将模拟滤波器的系统函数 $H_a(s)$ 转换成满足预定指标要求的数字滤波器的系统函数 $H(z)$ 。冲激响应不变法的基本思想是：使数字滤波器的单位冲激响应 $h(n)$ 与相应的模拟滤波器的冲激响

应 $h_a(t)$ ，在采样点处的量值相等，即有： $h(n)=h_a(nT)$ ， T 是采样周期。



$$h(n) = h_a(t)|_{t=nT} = \sum_{i=1}^N A_i e^{s_i nT} u(nT)$$

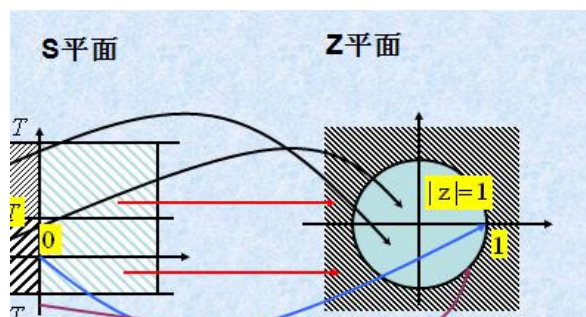
二、映射关系

对上式进行 Z 变换，得到数字滤波器的系统函数为：

$$\begin{aligned} H(z) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n) z^{-n} = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{i=1}^N A_i (e^{s_i T})^n z^{-n} = \sum_{i=1}^N A_i \sum_{n=0}^{\infty} (e^{s_i T} z^{-1})^n \\ &= \sum_{i=1}^N \frac{A_i}{1 - e^{s_i T} z^{-1}} \quad (|z| > \max\{e^{\sigma_i T}\}, i = 1, 2, \dots, N) \end{aligned}$$

映射关系为：

$$\hat{H}_a(s) = \sum_n h(n) e^{-snT} = \sum_n h(n) z^{-n} \Big|_{z=e^{sT}} = H(z) \Big|_{z=e^{sT}}$$



(1) 当 $\sigma=0$ 时， $r=1$ ：

s 平面虚轴映射为 z 平面的单位圆上；

(2) 当 $\sigma<0$ 时， $r<1$ ：

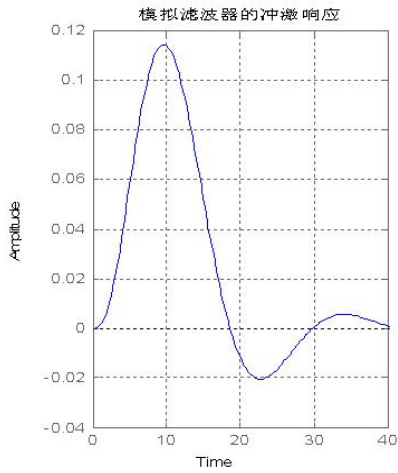
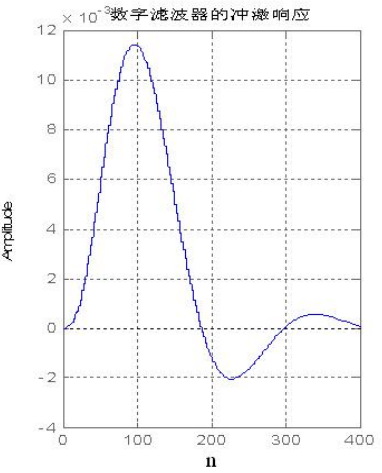
s 左半平面映射为 z 平面的单位圆内；

(3) 当 $\sigma>0$ 时， $r>1$ ：

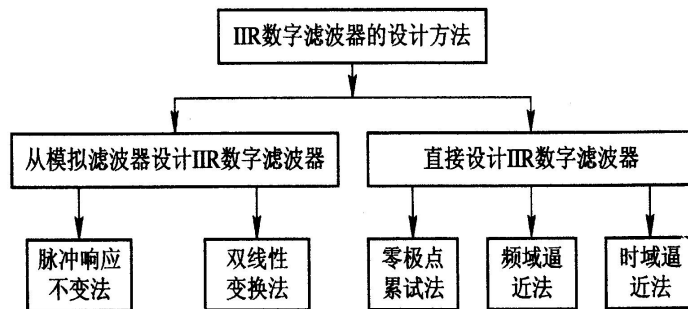
s 右半平面映射为 z 平面的单位圆外。

三、冲激响应不变法例子

例 1、在 MATLAB 中用冲激响应不变法设计一个 4 阶巴特

	沃斯低通数字滤波器,要求:模拟滤波器的截止频率为 0.3 rad/s , 采样频率为 10Hz, 比较数字滤波器和模拟滤波器的单位冲激响应。MATLAB 程序如下: <pre>[b,a]=butter(4,0.3,'s'); %首先设计 3 阶巴特沃斯低通模拟滤波器 [bz,az]=impinvar(b,a,10) %对模拟滤波器的冲激响应进行 10Hz 采样 sys=tf(b,a); %求模拟滤波器的系统函数 subplot(1,2,1); impulse(sys); %绘制模拟滤波器的冲激响应 title('模拟滤波器的冲激响应');grid on ; subplot(1,2,2);dimpulse(bz,az); %绘制数字滤波器的冲激响应 title('数字滤波器的冲激响应');grid on ;</pre>  
分析评价	该案例将课程思政融入到教学中，通过冲激响应不变法和双线性变换法和的学习，不同的设计方法又有不同的优缺点，培养学生解决问题和分析问题的科学思维方式。
评 价 者	贾慧琴、教授、西安石油大学

案例编号	20042115-043
案例标题	IIR 数字滤波的设计（双线性变换法）
案例来源	原创案例
内容简介	通过双线性变换法的学习，不同的设计方法又有不同的优缺点，在解决问题时，一种方法行不通，我们可以换个角度来看问题和分析问题，懂得变通。从一个视角去看问题，往往不全面，是处理不好一件事的，而应该从多角度思考问题，或站在更高的角度重新审视同一件事情，也许会得到不一样的解决方案，培养学生解决问题和分析问题的科学思维方式。
关键词	双线性变换法、滤波器的设计、多角度思考问题
编写时间	2023-7-10
编著者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	培养学生解决问题和分析问题的科学思维方式
素材长度	1152 个字符
案例正文	新课导入：滤波器的分类、滤波器的技术指标、IIR 数字滤波器的技术特点 【讲到数字滤波器设计时，可以结合学科前沿，以 5G 移动通信中使用的滤波器—毫米波滤波器为例引入滤波器知识点。而 5G 移动通信技术标准是华为制定的，我国在移动通信方面的发展终于紧跟世界步伐，华为、中兴等企业的全球移动通信市场份额也位于世界前列，作为当代的大学生，应该有足够的民族自豪感，有足够的自信心，通过奋斗，一样可以做得很好，可以引领世界，生活也会更加幸福】 IIR 数字滤波器设计方法：

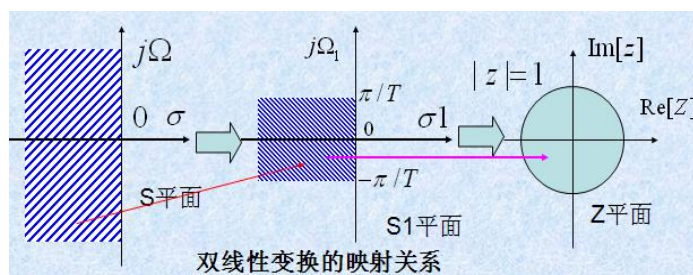


一、双线性变换法过程分析

为了克服冲激响应不变法的频率混叠现象，提出了双线性变换法，它采用非线性的频率压缩方法，首先将整个频率轴的频率范围压缩到 $-\pi/T \sim \pi/T$ 之间，再用 $z=esT$ 转换到 Z 平面上，使 S 平面与 Z 平面建立起一一对应的单值映射关系。具体的变换规则如下：

(1) 频率压缩：将整个 S 平面压缩变换到某个中介 $S1$ 平面的一横带里；

(2) 数字化：将 $S1$ 平面通过变换关系式映射到整个 Z 平面上。这样， S 平面与 Z 平面就建立起了一一对应的单值映射关系，无多值性，消除了频谱的混叠失真。见下图：

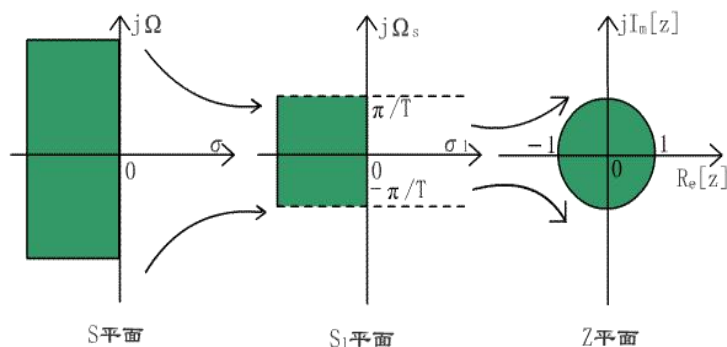


$$\Omega = c \tan\left(\frac{\Omega_1 T}{2}\right)$$

二、映射关系

$$re^{j\omega} = \frac{1 + K(\sigma + j\Omega)}{1 - K(\sigma + j\Omega)}$$

$$r = \sqrt{\frac{(1 + K\sigma)^2 + (K\Omega)^2}{(1 - K\sigma)^2 + (K\Omega)^2}}$$



- (1) 当 $\sigma=0$ 时, $r=1$,
 s 平面虚轴映射为 z 平面的单位圆上;
- (2) 当 $\sigma<0$ 时, $r<1$,
 s 左半平面映射为 z 平面的单位圆内;
- (3) 当 $\sigma>0$ 时, $r>1$,
 s 右半平面映射为 z 平面的单位圆外。
- 该映射是一一对应。

两种方法的比较

方法	脉冲响应不变法	双线性变换法
特点	多对一、频谱可能混叠	一对一、频谱无混叠
适用范围	低通、带通	低通、高通、带通、带阻
Ω 和 w 的关系	线性	非线性
s 和 z 的关系	$z = e^{sT}$ $w = T\Omega$	$\Omega = K \tan \frac{\omega}{2}$ $s = K \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}$
$H_d(z)$ 与 $H_a(s)$ 的关系	$H_a(s) = \sum_{k=1}^N \frac{A_k}{s-s_k}$ $H(z) = \sum_{k=1}^N \frac{A_k}{1-e^{s_k T} z^{-1}}$	$H(z) = H_a(s) \Big _{s=K \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}}$
因果稳定性映射	因果稳定 $\rightarrow$ 因果稳定	因果稳定 $\rightarrow$ 因果稳定
MATLAB实现	[Bz Az]=impinvar (Bs,As,Fs)	[Bz Az]=bilinear(Bs,As,Fs)

三、双线性变换法举例

设计一个低通数字滤波器, 要求在通带 $[0, 0.2\pi]$ 内衰减不大于 3 dB, 在阻带 $[0.6\pi, \pi]$ 内衰减不小于 40dB。而且幅频特性单调下降。

%求 $H(z)$ --双线性变换法

Fs=1000; T=1/Fs;

wp=0.2*pi; omigap=2/T*tan(wp/2);

rp=3; % 通带片段常数

ws=0.6*pi; omigas=2/T*tan(ws/2);

rs=40; % 阻带片段常数

[N wc]=buttord(omigap,omigas,rp,rs,'s') %求滤波器阶数 N 与
3dB 截止频率 Ω_c

[Bs As]=butter(N,wc,'s') %求 $H(s)$ 的分子、分母系数

[Bz Az]=bilinear(Bs,As,Fs) %将 $H(s)$ 转化为 $H(z)$

%求 $H(z)$ --脉冲响应不变法

Fs=1000; T=1/Fs;

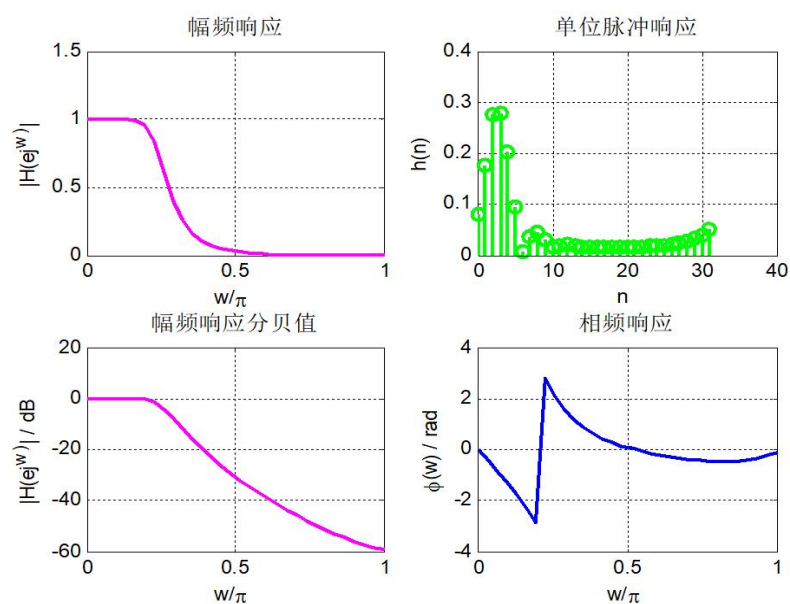
wp=0.2*pi; omigap=wp/T; rp=3; % 通带片段常数

ws=0.6*pi; omigas=ws/T; rs=40; % 阻带片段常数

[N wc]=buttord(omigap,omigas,rp,rs,'s') %求滤波器阶数 N 与
3dB 截止频率 Ω_c

[Bs As]=butter(N,wc,'s') %求 $H(s)$ 的分子、分母系数

[Bz Az]=impinvar(Bs,As,1/T) %将 $H(s)$ 转化为 $H(z)$



	思政元素：联系中国通信业发展的艰辛历程，激励学生正视我们国家的技术发展，从华为芯片认清现实，科技才能强国。突出引导学生爱国教育，激励学生努力学习，要有一定的责任感和使命感，要有担当，只有认真学习、脚踏实地和不断地拼搏奋斗，才能使得祖国越来越强大。 思政升华：通过冲激响应不变法和双线性变换法的学习，不同的设计方法又有不同的优缺点，在解决问题时，一种方法行不通，我们可以换个角度来看问题和分析问题，懂得变通。从一个视角去看问题，往往不全面，是处理不好一件事的，而应该从多角度思考问题，或站在更高的角度重新审视同一件事情，也许会得到不一样的解决方案，培养学生解决问题和分析问题的科学思维方式。
分析评价	该案例将课程思政融入到教学中，通过冲激响应不变法和双线性变换法的学习，不同的设计方法又有不同的优缺点，培养学生解决问题和分析问题的科学思维方式。
评 价 者	贾慧琴、教授、西安石油大学

案例编号	20042115-044
案例标题	多带滤波器设计
案例来源	原创案例
内容简介	通过分组完成多带滤波器设计设计，该设计要求完成报告完成答辩，为综合知识应用，提升学生工程实践能力，合作精神。
关 键 词	滤波器设计，工程实践，实际应用
编写时间	2023-9-08
编 著 者	王园园，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	提升学生工程实践能力，合作精神。
素材长度	1097 个字符
案例正文	课程内容： 主要内容： 综合运用数字信号处理的理论知识进行多通带滤波器的设计，从而加深对所学知识的理解，建立概念，加深理解 IIR、FIR 滤波器的设计原理方法和步骤。本设计的主要内容是设计一个多通带或多阻带滤波器，实现多频信号的多带滤波。 基本要求 （1）掌握数字滤波器的基本概念、IIR 和 FIR 滤波器设计的基本原理和基本方法； （2）掌握多通带滤波器的原理及简单实现方法；选择设计方法：窗函数法、频域采样法，或其他方法。分别设计一个具有 4 个通带和 4 个阻带的多带滤波器； （3）画出系统模块图，编程或搭建模型实现滤波器的设计，画出滤波器的频率响应；实现一个多频信号的多带滤波，观察滤波前后信号的波形与频谱；记录仿真结果； （4）对结果进行分析，写出设计报告。主要参考资料

	[1]高西全,丁玉美. 数字信号处理(第三版). 西安电子科技大学出版社. 2009.01 [2]A.V.奥本海姆, R.W.谢弗. 离散时间数字信号处理.(第二版). 西安交通大学出版社. 2004.09 [3]胡广书. 数字信号处理. 清华大学出版社. [4] 陈后金. 数字信号处理. 高等教育出版社.2005 [5] 周伟. 基于 matlab 的小波分析应用. 西安电子科技大学出版社. 2010 思政要素：该案例为数字信号处理知识的综合运用。通过实践提升学生利用数字信号相关知识解决问题的能力。 要求团队成员紧密合作、精诚团结，要相互信任，相互尊重和理解。在设计中由于分工的原因，可能就会只看得见自己做的努力和贡献，没有从客观的角度、别人的立场分析及思考问题。这样的话设计很难完成。因此，在选拔队员时，我们特别强调在设计过程中要求每位队员要学会换位思考，从他人角度、他人立场分析及思考问题，要尊重和理解队友。撰写综合设计项目报告写作过程中，杜绝抄袭；项目成果总结中，不夸大个人贡献、研究，不通过给同组成员打低分来提升自己成绩。
分析评价	该案例通过实验教学提升学生工程实践能力，合作精神。案例确实可行。
评 价 者	贾慧琴、教授、西安石油大学

案例编号	20042115-045
案例标题	含噪语音信号的 IIR 数字滤波器设计—专题研讨
案例来源	原创案例
内容简介	通过开展基于问题驱动的研究性教学专题研讨，使学生具备将所学理论知识与具体工程实践相结合的思维方式，培养其提出问题、分析问题和解决问题的能力；通过这种方式，让每名学生都有充分发挥自己优势和展现自己能力的机会，从而调动学生的主观能动性，让他们能更加积极地投入到课堂中。通过理论联系实际，增强学生的集体荣誉感和团队协作精神。
关键词	滤波器设计，问题驱动的研究性教学，团队协作
编写时间	2023-12-14
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	培养其提出问题、分析问题和解决问题的能力，同时也培养学生良好的团结协作精神
素材长度	1097 个字符
案例正文	知识点内容： 一、设计目的 通过该设计的训练，巩固和扩展学生所学的基本理论和专业知识，培养学生综合运用所学知识技能分析和解决实际问题的能力，培养学生实事求是的科学态度和严谨求实的工作作风。进一步训练和提高学生分析问题、解决问题的能力 and 技巧。 二、设计内容 (1) MATLAB 的使用，掌握 MATLAB 的程序设计方法； (2) 利用 Windows 下的录音机，录制不超过 20s 的.wav 格式的话音； (3) 在 Matlab 软件平台下，利用函数对语音信号进行采样，对语音信号进行时域、频域分析的表达式；

案例正文	(4) 在 Matlab 软件平台下，利用函数对语音信号进行采样，对语音信号进行时域、频域分析的表达式； (5) 添加噪声形成混合语音信号； (6) 设计合适的 IIR 数字滤波器（如巴特沃斯滤波器、切比雪夫滤波器、椭圆滤波器等），对混合语音信号进行滤波； (7) 通过时域图、频域图比较滤波前后语音信号的波形及频谱，再通过语音比较滤波前后语音。利用 MATLAB 对语音信号进行时域和频谱分析。 三、设计要求 专题研讨结合实际情况进行设计，按照内容难易程度分级设置，既有基本原理的简单应用，又有知识提升的综合应用，还包含高阶性、创新性和挑战性的内容。教师提前准备好电阻、电容、面包板等器件，课上以小组为单位分发元器件，小组成员分工进行理论分析设计和实践操作，设计不同种类的滤波器以滤除混杂着噪声的音频信号。此项成绩以小组整体水平评定，小组成员之间的分工和合作显得更加重要。 四、分组讨论   五、设计报告 六、PPT 汇报  
------	---

分析评价	加强实践教学环节，通过开展基于问题驱动的研究性教学专题研讨，使学生具备将所学理论知识与具体工程实践相结合的思维方式，培养其提出问题、分析问题和解决问题的能力，同时也培养学生良好的团结协作精神。此专题综合考查学生问题分析、信息整合、团队合作等方面的能力和素质。通过这种方式，让每名学生都有充分发挥自己优势和展现自己能力的机会，从而调动学生的主观能动性，让他们能更加积极地投入到课堂中。通过理论联系实际，增强学生的集体荣誉感和团队协作精神。
评 价 者	郭琳、教授、商洛学院

案例编号	20042115-046
案例标题	IIR 数字滤波器的设计实验
案例来源	原创案例
内容简介	通过用双线性变换法设计设计 IIR 数字滤波器实验教学提升学生工程实践能力，合作精神。
关 键 词	双线性变换法、合作精神
编写时间	2023-9-22
编 著 者	王园园，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	提升学生工程实践能力，合作精神。
素材长度	1097 个字符
案例正文	课程内容： 1. 实验目的 (1) 熟悉用双线性变换法设计 IIR 数字滤波器的原理与方法。 (2) 掌握数字滤波器的计算机仿真方法。 (3) 通过观察对实际心电图信号的滤波作用，获得数字滤波的感性知识。 2. 实验内容 (1) 用双线性变换法设计一个巴特沃斯低通 IIR 数字滤波器。设计指标参数为：在通带截止频率为 0.2π，最大衰减为 1dB;阻带截止频率为 0.3π，最小衰减为 15dB。 (2)以 0.02π为采样间隔,打印出数字滤波器在频率区间 $[0, \pi/2]$ 上的幅频响应特性曲线. (3) 用所设计的滤波器对实际心电图信号采样序列(在本实验后面给出)进行仿真滤波处理，并分别打印出滤波前后的心电图信号波形图,观察总结滤波作用与效果。 (4) 设计一个工作于采样频率 5MHz 的椭圆数字带通滤波器，

要求通带边界频率为 560kHz 和 780kHz, 通带最大衰减为 1dB, 阻带边界频率为 375kHz 和 1MHz, 阻带最小衰减为 50dB, 调用 MATLAB 工具箱 `ellipord` 和 `ellip` 设计, 并显示数字滤波器的系统函数 $H(z)$ 的系数, 绘出幅频特性和相频特性。

(5) 设计一个工作于采样频率 2500kHz 的椭圆高通数字滤波器, 要求通带边界频率为 325kHz, 通带最大衰减为 1dB, 阻带边界频率为 225kHz, 阻带最小衰减为 40dB, 调用 MATLAB 工具箱 `ellipord` 和 `ellip` 设计, 并显示数字滤波器的系统函数 $H(z)$ 的系数, 绘出幅频特性和相频特性。

3. 实验步骤

(1) 复习有关巴特沃斯模拟滤波器设计和用双线性变换法设计 IIR 数字滤波器的内容;

(2) 编写滤波器仿真程序, 计算 $H(z)$ 对心电图信号采样序列 $x(n)$ 的响应序列 $y(n)$;

(3) 在通用计算机上运行仿真滤波程序, 并调用通用绘图子程序, 完成实验内容 (2) 到 (5)。

4. 思考题

用双线性变换法设计数字滤波器过程中, 变换公式中 T 的取值, 对设计结果有无影响? 为什么?

5. 实验报告要求

(1) 简述实验目的及原理.

(2) 由所打印的 $|H(e^{j\omega})|$ 特性曲线及设计过程简述双线性变换法的特点.

(3) 对比滤波前后的心电图信号波形, 说明数字滤波器的滤波过程与滤波作用.

思政要素: 要求学生在实验过程中, 详实记录数据, 做到有理有据, 要有据可查, 数据要可重复, 通过实验过程中拍照片、拍视频、录屏等方式留下痕迹, 以保证数据的真实可靠。在实验的过程中, 同学们会遇到各种各样的问题, 但通过老师指导、同学交流和

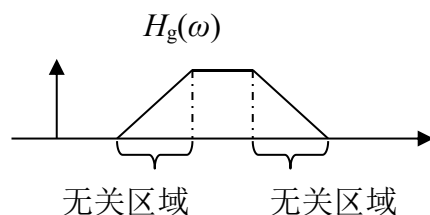
	合作基本都能把问题解决。可以把解决问题的过程引申到人生的成长道路上来，困难无时不在，遇到困难不可怕，要有必胜的信心，要善于请教，要有合作的精神，要突破传统，要勇于创新。
分析评价	该案例通过实验教学提升学生工程实践能力，合作精神。案例确实可行。
评 价 者	郭琳、教授、商洛学院

案例编号	20042115-047
案例标题	FIR 滤波器简介
案例来源	原创案例
内容简介	讲解 FIR 滤波器设计的时候给出滤波器在卫星通信中的一个应用场景，通过对中国航天史上一个个伟大的创举进行介绍，进而学习平均年龄只有三十多岁的中国航天人的踏实严谨、吃苦耐劳、实践创新、攻坚克难、精益求精、追求卓越的航天精神。
关键词	滤波器，航天精神
编写时间	2023-3-06
编者	王园园，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	吃苦耐劳、实践创新、攻坚克难、精益求精、追求卓越的航天精神
素材长度	1037 个字符
案例正文	课程内容 数字滤波器(digital filter)是由数字乘法器、加法器和延时单元组成的一种装置。其功能是对输入离散信号的数字代码进行运算处理，以达到改变信号频谱的目的。由于电子计算机技术和大规模集成电路的发展，数字滤波器已可用计算机软件实现，也可用大规模集成数字硬件实时实现。数字滤波器是一个离散时间系统（按预定的算法，将输入离散时间信号转换为所要求的输出离散时间信号的特定功能装置）。应用数字滤波器处理模拟信号时，首先须对输入模拟信号进行限带、抽样和模数转换。数字滤波器输入信号的抽样率应大于被处理信号带宽的两倍，其频率响应具有以抽样频率为间隔的周期重复特性，且以折叠频率即 $1/2$ 抽样频率点呈镜像对称。为得到模拟信号，数字滤波器处理的输出数字信号须经数模转换、平滑。数字滤波器具有高精度、高可靠性、可编程改变特性或复用、便于

案例正文	集成等优点。数字滤波器在语言信号处理、图像信号处理、医学生物信号处理以及其他应用领域都得到了广泛应用。 低通滤波器 高通滤波器 带通滤波器 带阻滤波器 思政要素：讲解滤波器设计的时候会给出滤波器在卫星通信中的一个应用场景，通过对中国航天史上一个个伟大的创举进行介绍，进而学习平均年龄只有三十多岁的中国航天人的踏实严谨、吃苦耐劳、实践创新、攻坚克难、精益求精、追求卓越的航天精神。 2023 年 5 月 10 日，天舟六号货运飞船在文昌航天发射场发射，执行货运飞行任务。在本次任务中，中国航天科工二院 23 所微电公司研制的多款声表面波滤波器和磁性器件为飞船关键部位提供通信和电源保障服务。声表面波滤波器用于天舟六号通信导航系统导航接收机中，面对货运飞船极其复杂的发射、飞行和返回过程，所生产的产品具有优良的信号滤波性能、稳定的可靠性和环境适应性，保证了导航信号的准确。配套的磁性元件重量轻、体积小，最小的达 5 角硬币大小，是电源电路中的核心器件，能够抑制因环境变化引起的电流突变，提高设备抗电磁干扰的能力，保障电源设备稳定可靠运行。23 所微电公司从业 30 余年，具备完整的设计开发、工艺制造和检测试验能力，研制生产了我国 90% 以上的星用声表面波滤波器，产品配套型号包括北斗、风云等多个卫星平台，并参与配套
-------------	--

	历次载人航天、空间站建设、嫦娥探月、火星探测等重大航天工程，产品稳定可靠，保证了遥测信号、通信信号和测量信号的稳定清晰，圆满完成各项配套任务。公司矢志成为国家科技创新的引领者，一直以来不断探索前沿科技，致力为国家科技进步和经济的发展而不懈努力。2022 年获评国家级专精特新“小巨人”企业， 2023 年荣获载人航天工程重点项目元器件突出贡献供应商荣誉称号，产品广受用户好评。
分析评价	讲解滤波器设计的时候给出滤波器在卫星通信中的一个应用场景，通过对中国航天史上一个个伟大的创举进行介绍，进而学习平均年龄只有三十多岁的中国航天人的踏实严谨、吃苦耐劳、实践创新、攻坚克难、精益求精、追求卓越的航天精神。
评 价 者	袁训锋、教授、商洛学院

案例编号	20042115-048
案例标题	FIR 滤波器设计（等波纹最佳一致逼近法）
案例来源	原创案例
内容简介	通过等波纹最佳一致逼近法设计 FIR 滤波器，讲解其设计原理及 MATLAB 的实现，引申到“对大学生的职业规划问题分解”，启发学生思考，提前做好每种路线准备。
关 键 词	FIR 滤波器、等波纹最佳一致逼近法、职业规划
编写时间	2023-10-28
编 著 者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字，图片
育人主题	启发学生思考，提前做好每种路线准备
素材长度	856 个字符
案例正文	课程内容：等波纹最佳一致逼近法 1、背景：之前讨论的方法，误差在通带、阻带分布不均匀，容易造成资源浪费。 （比如：通带刚好达到指标，阻带远远优于指标。） 因此需要一种方法，能够让误差均匀分布，使得最大的误差最小化。 2、含义： $\begin{cases} \text{误差均匀分布} & (\text{通带、阻带等波纹}) \\ \text{最大误差最小化} & (\text{波纹幅度最小}) \end{cases}$ 等波纹 最佳一致逼近 一、基本思想 1、误差函数 $E(\omega)$ $E(\omega) = W(\omega) [H_d(\omega) - H_g(\omega)]$ 2、加权函数 $W(\omega)$

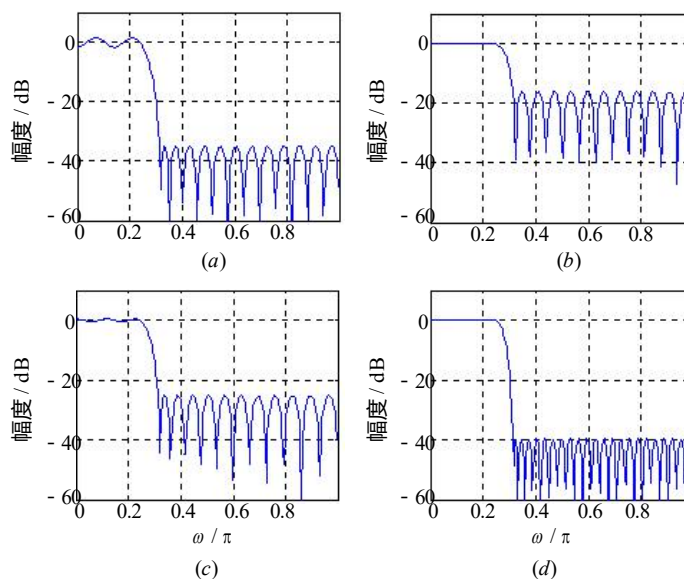


研究区域：通带、阻带

无关区域：过渡带

加权函数只针对研究区域，和无关区域没有关系。

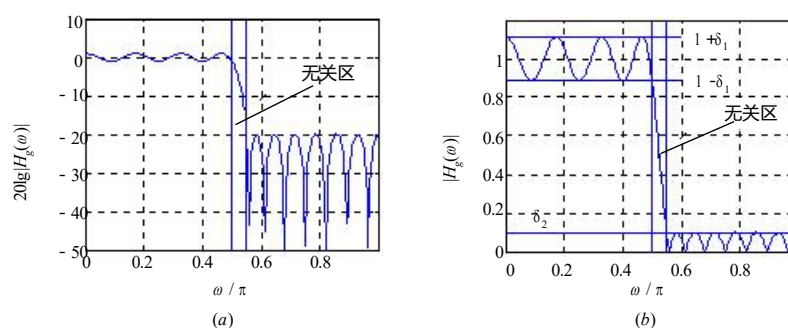
如图所示带通滤波器： $W(\omega)=[1 \ 10 \ 1]$ ，对通带要求的精度高。



结论：（1）N 一定时，提高一个带的精度，另一个带的精度会降低。

（2）N 增大，通带和阻带精度同时提高。

3. 振荡波纹幅度 δ_1 、 δ_2



$$\left\{ \begin{aligned} \alpha_p &= -20 \lg \frac{1-\delta_1}{1+\delta_1} = 20 \lg \frac{1+\delta_1}{1-\delta_1} \\ \alpha_s &= -20 \lg \frac{\delta_2}{1+\delta_1} \approx 20 \lg \delta_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{aligned} \delta_1 &= \frac{10^{\alpha_p/20} - 1}{10^{\alpha_p/20} + 1} \\ \delta_2 &= 10^{-\alpha_s/20} \end{aligned} \right.$$

二、MATLAB 实现

1. **remez** `hn=remez(N, fo, mo, w,'ftype')`

采用 **remez** 得到单位脉冲响应 $h(n)$ ，参数含义如下：

输入： $\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{N}$: 滤波器阶数
 $\mathbf{fo}$: 频率边界
 $\mathbf{mo}$: 频率边界对应的幅频响应值
 $\mathbf{w}$: 研究片段的加权值
 $\mathbf{'ftype'}$: 滤波器类型（一般缺省）

输出： **hn** 单位脉冲响应序列值

2. **remezord** `[N, fo, mo, w]=remezord(f, m, rip, Fs)`

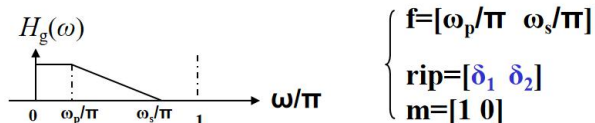
采用 **remezord** 得到 **remez** 函数的参数。

输入： $\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{f}$: 频率边界 $\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{f}$ 取归一化数字角频率（范围为[0 1]）去掉0和1两个点
 $\mathbf{f}$ 取频率值（范围为[0 Fs/2]）去掉0和Fs/2两个点 \\ \mathbf{m}: 研究片段的幅频响应值
 $\mathbf{rip}$: 研究片段振荡波纹幅度
 $\mathbf{Fs}$: 采样频率（ $\mathbf{f}$ 取归一化数字角频率时缺省） \end{array} \right. \quad \mathbf{f}的长度是 $\mathbf{m}$ 、 $\mathbf{rip}$ 的2倍

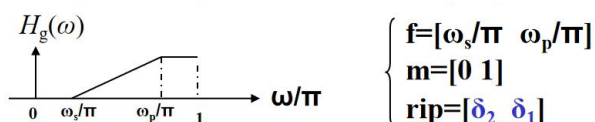
输出： $[\mathbf{N}, \mathbf{fo}, \mathbf{mo}, \mathbf{w}]$ **remez**函数的参数

三、各类滤波器的设计指标

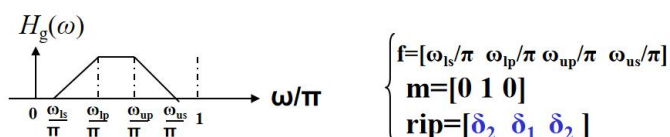
1. 低通



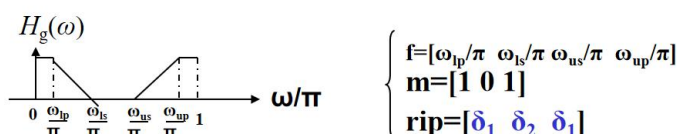
2. 高通



3. 带通



4. 带阻

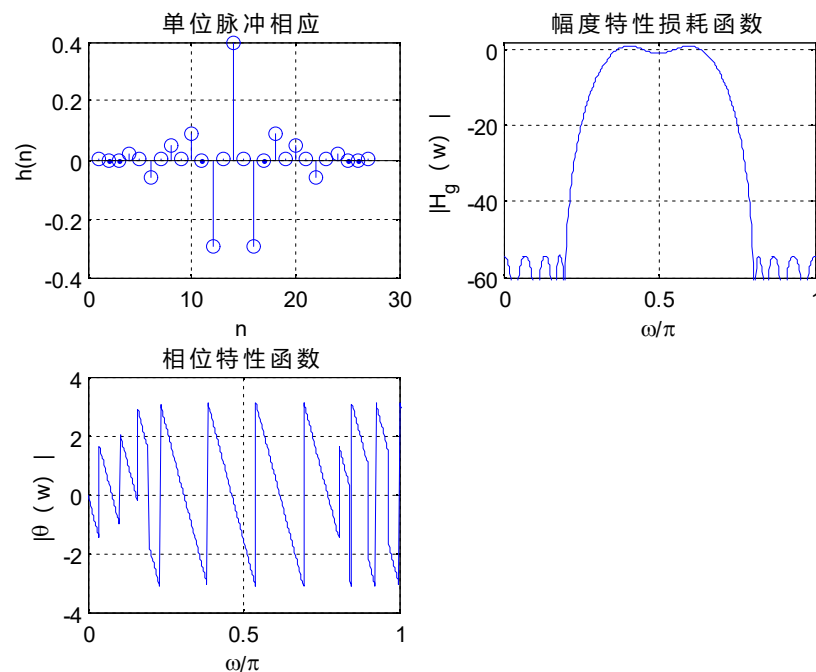


四、应用举例

例 1 利用等波纹最佳一致逼近法设计 FIR 带通滤波器。指标如下： $\omega_{ls}=0.2\pi$, $\omega_{lp}=0.35\pi$, $\omega_{up}=0.65\pi$, $\omega_{us}=0.8\pi$, $\alpha_p=1\text{ dB}$, $\alpha_s=60\text{ dB}$ 。

主要程序为：

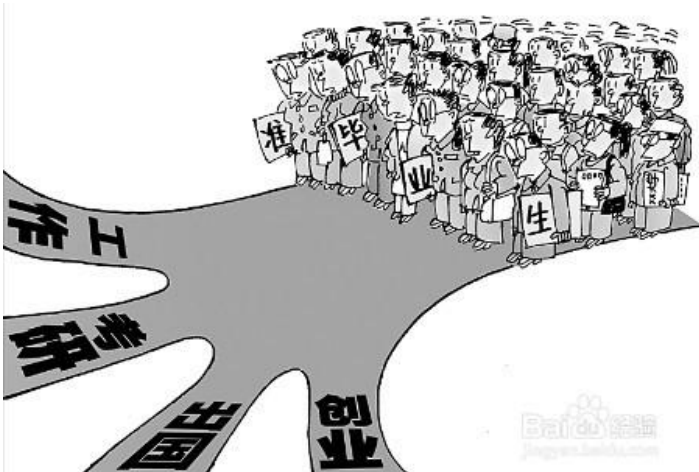
```
f=[0.2 0.35 0.65 0.8];           %设置频率边界
m=[0 1 0];                         %设置片段幅值
rp=1; rs=60;                       %设置衰减常数
d1=(10^(rp/20)-1)/(10^(rp/20)+1);
d2=10^(-rs/20);                    %计算波纹幅度
rip=[d2 d1 d2];
[N,fo,mo,w]=remezord(f,m,rip);
hn=remez(N,fo,mo,w);              %计算单位脉冲响应
```



思政元素：问题分解，提前做好大学生职业规划。

目前大学生毕业时，基本是可以分为 4 种选择：考研、找工作、考公、创业。

那么一个大一的学生，进入大学之后，对于“大学生就业”这样一个问题，可以提前想想自己将来走哪一条路线。路线确定后，接下来就是对问题分解，按照时间要素进行合理规划，每一阶段，抓

	住主要矛盾问题去解决。比如大一至大四每一年该做什么、四六级证和计算机二级三级证书什么时间考、什么时间参加学科竞赛等等，做好充足的准备。 具体可以展开来讲：比如对于找工作的学生，可以提前看看用人单位的招聘需求，对比看下还需要提升哪方面的技能和能力，如果还有不足，利用业余时间考证或者通过参加一些学科竞赛比赛提升自己的专业素养。 
分析评价	该案例从等波纹最佳一直逼近法设计 FIR 滤波器的设计原理及 MATLAB 的实现两方面讲解，结合大学生的实际问题，引申到“对大学生的职业规划问题分解”，启发学生思考，提前做好每种路线准备。课程思政点切入自然，润物无声，实现了知识传授、价值引领的目标，达到了课程育人的目的。
评 价 者	柯熙政、教授、西安理工大学

案例编号	20042115-049
案例标题	IIR 与 FIR 数字滤波器的比较
案例来源	原创案例
内容简介	该案例通过 IIR 滤波器与 FIR 滤波器的对比,说明不同设计方法有不同的优缺点,实际应用中具体问题具体分析,培养学生解决问题和分析问题的科学思维方式。
关 键 词	IIR 数字滤波器、FIR 数字滤波器、分析问题
编写时间	2023-10-08
编 著 者	王园园, 副教授, 电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	提升学生工程实践能力, 合作精神。
素材长度	1097 个字符
案例正文	课程内容: 1. 在相同技术指标下, IIR 滤波器由于存在着输出对输入的反馈, 因而可用比 FIR 滤波器较少的阶数来满足指标的要求, 这样一来所用的存储单元少, 运算次数少, 较为经济。例如用频率抽样法设计阻带衰减为-20db 的 FIR 滤波器, 其阶数要 33 阶才能达到, 而如果用双线性变换法设计只需 4-5 阶的切贝雪夫滤波器, 即可达到指标要求, 所以 FIR 滤波器的阶数要高 5-10 倍左右。 2. FIR 滤波器可得到严格的线性相位, 而 IIR 滤波器则做不到这一点, IIR 滤波器选择性愈好, 则相位的非线性愈严重, 因而, 如果 IIR 滤波器要得到线性相位, 又要满足幅度滤波的技术要求, 必须加全通网络进行相位校正, 这同样会大大增加滤波器的阶数, 从这一点上看, FIR 滤波器又优于 IIR 滤波器。 3. FIR 滤波器主要采用非递归结构, 因而从理论上以及时性从实际的有限精度的运算中, 都是稳定的。有限精度运算误差也较小, IIR 滤波器必须采用递归的结构, 极点必须在 Z 平面单位圆内, 才能稳定, 这种结构, 运算中的四舍五入处理, 有时会引起寄生振荡。

4. FIR 滤波器，由于冲激响应是有限长的，因而可以用快速傅里叶变换算法，这样运算速度可以快得多，IIR 滤波器则不能这样运算。

5. 从设计上看，IIR 滤波器可以利用模拟滤波器设计的现成闭合公式、数据和表格，因而计算工作量较小，对计算工具要求不高。FIR 滤波器则一般没有现成的设计公式，窗函数法只给出窗函数的计算工式，但计算通带、阻带衰减仍无显示表达式。一般 FIR 滤波器设计只有计算机程序可资利用，因而要借助于计算机。

6. IIR 滤波器主要是设计规格化的、频率特性为分段常数的标准低通、高通、带通、带阻、全通滤波器，而 FIR 滤波器则要灵活得多，例如频率抽样设计法，可适应各种幅度特性的要求，因而 FIR 滤波器则要灵活得多，例如频率器可设计出理想正交变换器、理想微分器、线性调频器等各种网络，适应性较广。而且，目前已有许多 FIR 滤波器的计算机程序可供使用。

课程思政：IIR 数字滤波器设计有双线性变换法和脉冲响应不变法，而 FIR 数字滤波器有窗函数法和频率采样法。不同的设计方法又有不同的优缺点，在实际应用中，我们应具体问题，具体分析，具体对待，将其引申至理论之外，甚至是课堂之外，也就是日常生活中，在解决问题时，一种方法行不通，我们可以换个角度来看问题和分析问题，懂得变通。 从一个视角去看问题，或者只从个人角度看问题，往往不全面，是处理不好一件事的，而应该从多角度思考问题， 或站在更高的角度重新审视同一件事情，也许会得到不一样的解决方案，培养学生解决问题和分析问题的科学思维方式。

讲到滤波器设计时，可以结合学科前沿，以 5G 移动通信中使用的滤波器——毫米波滤波器为例引入滤波器知识点。 而 5G 移动通信技术标准是华为制定的，我国在移动通信方面的发展终于紧跟世界步伐，华为、中兴等企业的全球移动通信市场份额也位于世界前列， 移动通信产业已成为我国极具竞争力的高科技产业之

	一。作为当代的大学生， 应该有足够的民族自豪感，有足够的自信心，通过奋斗，一样可以做得很好，可以引领世界，生活也会更加幸福。 引导学生在科技强国道路上，要有一定的责任感和使命感，要有担当，只有认真学习、脚踏实地和不断地拼搏奋斗，才能使得祖国越来越强大。
分析评价	该案例通过 IIR 滤波器与 FIR 滤波器的对比培养学生解决问题和分析问题的科学思维方式。思政点衔接自然，可行性好。
评 价 者	贾慧琴、教授、西安石油大学

案例编号	20042115-050
案例标题	简单 ECG 信号分析与处理系统设计
案例来源	原创案例
内容简介	通过分组完成简单 ECG 信号分析与处理系统设计，该设计要求完成报告完成答辩，为综合知识应用，提升学生工程实践能力，合作精神。
关 键 词	信号分析，系统设计，工程实践
编写时间	2023-12-08
编 著 者	王园园，副教授，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	提升学生工程实践能力，合作精神。
素材长度	1097 个字符
案例正文	课程内容： 主要内容： 在信号采集时，身体的任一微小运动都会产生“基线漂移”，这是一种低频干扰，同时，由于肌电的存在又产生了高频的肌电噪声，由于空间电磁场的存在又使心电信号中混有 50Hz 的工频干扰。这些噪声不去除，就会影响下一步的信号处理。 综合运用数字信号处理的理论知识进行生物医学信号分析与处理，实现 ECG 信号的频谱分析，基线漂移检测等，设计滤波器实现心电信号的滤波，滤去高频和低频干扰，加深理解信号预处理的原理、方法和步骤。本设计的主要内容是设计一个 ECG 信号频谱分析与处理系统，实现 ECG 信号的增强，得到相对纯净的 ECG 信号。 基本要求 （1）掌握用 DFT 和 STFT 进行频谱分析的基本原理和实现方法；（2）掌握滤波器设计、信号滤波的方法步骤；（3）实现用

	matlab 构建 ECG 信号；（4）设计系统，画出框图，编写程序实现 ECG 信号的频谱分析与增强，进行仿真，记录仿真结果；（5）对结果进行分析，写出设计报告。 主要参考资料 [1]高西全,丁玉美. 数字信号处理(第三版). 西安电子科技大学出版社. 2009.01 [2]A.V.奥本海姆, R.W.谢弗. 离散时间数字信号处理.(第二版). 西安交通大学出版社. 2004.09 [3]胡广书. 数字信号处理. 清华大学出版社. [4] 陈后金. 数字信号处理. 高等教育出版社.2005 [5] 周伟. 基于 matlab 的小波分析应用. 西安电子科技大学出版社. 2010 思政要素：该案例为数字信号处理知识的综合运用。通过实践提升学生利用数字信号相关知识解决问题的能力。 要求团队成员紧密合作、精诚团结，要相互信任，相互尊重和理解。在设计中由于分工的原因，可能就会只看得见自己做的努力和贡献，没有从客观的角度、别人的立场分析及思考问题。这样的话设计很难完成。因此，在选拔队员时，我们特别强调在设计过程中要求每位队员要学会换位思考，从他人角度、他人立场分析及思考问题，要尊重和理解队友。撰写综合设计项目报告写作过程中，杜绝抄袭；项目成果总结中，不夸大个人贡献、研究，不通过给同组成员打低分来提升自己成绩。
分析评价	该案例通过实验教学提升学生工程实践能力，合作精神。案例确实可行。
评 价 者	柯熙政、教授、西安理工大学

案例编号	20042115-051
案例标题	含噪语音信号的 FIR 数字滤波器设计—专题研讨
案例来源	原创案例
内容简介	通过开展基于问题驱动的研究性教学专题研讨，使学生具备将所学理论知识与具体工程实践相结合的思维方式，培养其提出问题、分析问题和解决问题的能力；通过这种方式，让每名学生都有充分发挥自己优势和展现自己能力的机会，从而调动学生的主观能动性，让他们能更加积极地投入到课堂中。通过理论联系实际，增强学生的集体荣誉感和团队协作精神。
关键词	FIR 滤波器设计，问题驱动的研究性教学，团队协作
编写时间	2023-11-14
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字，图片
育人主题	培养其提出问题、分析问题和解决问题的能力，同时也培养学生良好的团结协作精神
素材长度	1097 个字符
案例正文	知识点内容： 一、设计目的 通过该设计的训练，巩固和扩展学生所学的基本理论和专业知识，培养学生综合运用所学知识技能分析和解决实际问题的能力，培养学生实事求是的科学态度和严谨求实的工作作风。进一步训练和提高学生分析问题、解决问题的能力 and 技巧。 二、设计内容 （8）MATLAB 的使用，掌握 MATLAB 的程序设计方法； （9）利用 Windows 下的录音机，录制不超过 20s 的.wav 格式的话音； （10）在 Matlab 软件平台下，利用函数对语音信号进行采样，对语音信号进行时域、频域分析的表达式；

- (11) 在 Matlab 软件平台下，利用函数对语音信号进行采样，对语音信号进行时域、频域分析的表达式；
- (12) 添加噪声形成混合语音信号；
- (13) 设计合适的 FIR 滤波器（等波纹最佳一致逼近法、窗函数法），对混合语音信号进行滤波；
- (14) 通过时域图、频域图比较滤波前后语音信号的波形及频谱，再通过语音比较滤波前后语音。利用 MATLAB 对语音信号进行时域和频谱分析。

三、设计要求

专题研讨结合实际情况进行设计，按照内容难易程度分级设置，既有基本原理的简单应用，又有知识提升的综合应用，还包含高阶性、创新性和挑战性的内容。教师提前准备好电阻、电容、面包板等器件，课上以小组为单位分发元器件，小组成员分工进行理论分析设计和实践操作，设计不同种类的滤波器以滤除混杂着噪声的音频信号。此项成绩以小组整体水平评定，小组成员之间的分工和合作显得更加重要。

四、分组讨论



五、设计报告

六、PPT 汇报



分析评价	加强实践教学环节，通过开展基于问题驱动的研究性教学专题研讨，使学生具备将所学理论知识与具体工程实践相结合的思维方式，培养其提出问题、分析问题和解决问题的能力，同时也培养学生良好的团结协作精神。此专题综合考查学生问题分析、信息整合、团队合作等方面的能力和素质。通过这种方式，让每名学生都有充分发挥自己优势和展现自己能力的机会，从而调动学生的主观能动性，让他们能更加积极地投入到课堂中。通过理论联系实际，增强学生的集体荣誉感和团队协作精神。
评 价 者	郭琳、教授、商洛学院

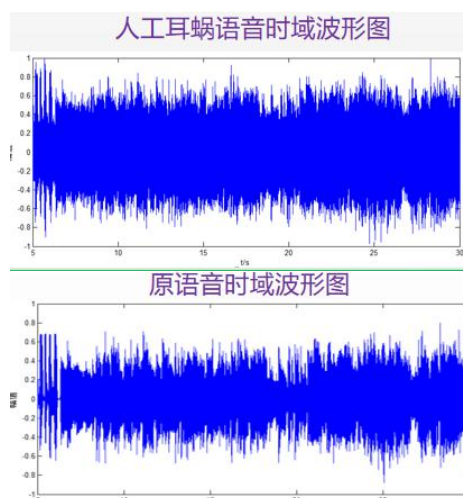
案例编号	20042115-052
案例标题	FIR 数字滤波器的设计实验
案例来源	原创案例
内容简介	通过分组完成 FIR 滤波器设计，该设计要求完成设计报告并进行答辩，为综合知识应用，提升学生工程实践能力，合作精神。
关键词	FIR 滤波器、工程实践能力、合作精神
编写时间	2023-10-28
编著者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	提升学生工程实践能力，合作精神。
素材长度	1097 个字符
案例正文	课程内容： 主要内容： FIR 滤波器在语音、图像的子带编码和压缩中都有着广泛的应用，非均匀滤波器组还构成了 Mallat 多分辨分析的算法基础，在小波变换中占有重要的地位。本设计主要内容是研究滤波器的原理，并设计一个 FIR 滤波器，实现语音信号的分解与重构。 基本要求： （1）FIR 滤波器的基本原理； （2）FIR 滤波器的原理及设计方法； （3）采集一段语音信号，时长在 20-30S 左右，加上噪音形成含噪的语音信号，设计一个 FIR 滤波器，给出设计思路及结果； （4）用设计的滤波器对含噪的语音信号进行滤波，验证滤波器的性能，对结果进行分析； （5）提交课程设计报告； （6）2-3 人一组。 主要参考资料：

	1. 胡广书. 现代信号处理教程, 数字信号处理. 清华大学出版社. 2005.06 2. 高西全. 数字信号处理. 西安电子科技大学出版社. 2009.01 3. matlab 信号处理相关书籍, 多采样率信号处理的书籍、资料。 4. 相关网络资源 思政要素: 该案例为数字信号处理知识的综合运用。要求团队成员紧密合作、精诚团结, 要相互信任, 相互尊重和理解。在设计中由于分工的原因, 可能就会只看得见自己做的努力和贡献, 没有从客观的角度、别人的立场分析及思考问题。这样的话设计很难完成。因此, 在选拔队员时, 我们特别强调在设计过程中要求每位队员要学会换位思考, 从他人角度、他人立场分析及思考问题, 要尊重和理解队友。撰写综合设计项目报告写作过程中, 杜绝抄袭; 项目成果总结中, 不夸大个人贡献、研究, 不通过给同组成员打低分来提高自己的成绩。
分析评价	该案例通过实验教学提升学生工程实践能力, 合作精神。案例确实可行。
评价者	郭琳、教授、商洛学院

案例编号	20042115-053
案例标题	重获新“声”界—数字滤波器的设计应用
案例来源	原创案例
内容简介	通过人工耳蜗中语音信号处理的原理，综合运用数字信号处理的理论知识进行频谱分析和滤波器设计，模拟人工耳蜗中语音信号处理的过程对语音信号进行处理，隐含思政引导学生关爱残障人士，尽自己的一臂之力让人工耳蜗植入者的声音感知能力更上一层楼，培养学生的科学精神及责任担当。
关键词	人工耳蜗，关爱残障人士，语音信号处理
编写时间	2023-12-08
编著者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字
育人主题	提升学生工程实践能力，引导学生关爱残障人士。
素材长度	1097 个字符
案例正文	一、引课 2023 年，《世界听力报告》指出，目前世界上超过 15 亿人听力受损，其中 4.3 亿人听力损失程度为中度或中度以上。目前我国有 2780 万听障人士，全国每年新增聋儿 2.3 万人，其中重度、极重度聋儿的比例占 74%。对于听障患者来说，轻度—中重度听力损失的患者可以借助助听器实现听觉补偿，重度以上感音神经性聋患者则主要采取人工耳蜗植入的方法来辅助听觉。那么人工耳蜗听到的声音和正常耳朵听到的声音一样么？让我们聆听一段音乐来对比。 问题一：目前，国内外的人工耳蜗设备最多只有 24 个电极，因此和正常耳朵听到的声音还是有很大的区别，通过比较，我们感受到人工耳蜗听到的音乐中夹杂着噪声，我们该如何处理？才能够

让听障人士更好地欣赏音乐呢。

首先，从时域来对比一下原声音及人工耳蜗声音。

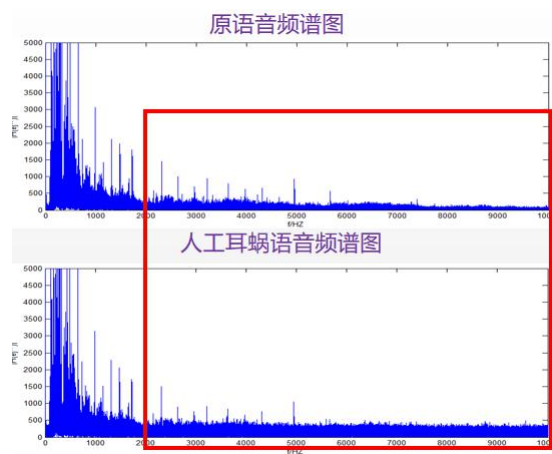


观察到这两种信号的时域波形图不一样，那么，在时域中能将噪声去除掉吗？

显然是不能的。那就需要我们全方位、多角度看问题。

问题二：从哪个域对人工耳蜗中的噪声滤除来分析？

再来看两种信号的频谱图。



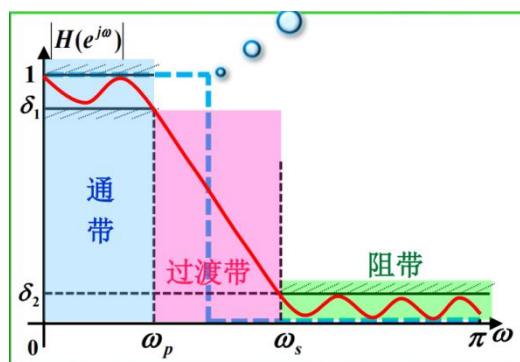
问题三：通过对频谱图观察，我们应该怎么滤除噪声呢？

人工耳蜗的频谱图中当频率大于 2000HZ 以上时其幅频值比原语音的幅频值要大，因此需滤波。引出滤波器的概念。

数字滤波器：输入、输出均为数字信号，经过一定的运算关系来滤除某些频率成分的器件。

问题四：设计一个数字滤波器有什么技术要求呢？

以低通数字滤波器为例来讲授数字滤波器的技术要求。



蓝色虚线为理想低通滤波器，在通带内其值为 1，阻带内值为 0，但理想滤波器在物理上是不可实现的。实际低通滤波器的幅频特性如红色曲线， ω_p 为通带截止频率， ω_s 为阻带截止频率， δ_1 为通带波纹系数， δ_2 为阻带波纹系数。

$|\omega| \leq \omega_p$ 为通带，在通带中 $1 - \delta_1 \leq |H(e^{j\omega})| \leq 1$
 $\omega_s \leq |\omega| \leq \pi$ 为阻带，在阻带中 $|H(e^{j\omega})| \leq \delta_2$
 $\omega_p \leq |\omega| \leq \omega_s$ 为过渡带，过渡带上的频响一般是单调下降的。

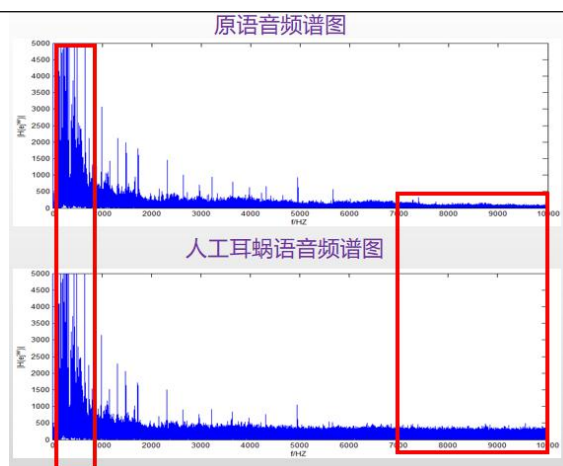
通带内和阻带内允许的衰减一般用 dB 数表示，通带内允许的最大衰减用 α_p 表示，阻带内允许的最小衰减用 α_s 表示， α_p 和 α_s 分别定义为：

$$\alpha_p = 20 \lg \frac{|H(e^{j\omega_0})|}{|H(e^{j\omega_p})|} \text{dB} = -20 \lg |H(e^{j\omega_p})| \text{dB}$$

$$\alpha_s = 20 \lg \frac{|H(e^{j\omega_0})|}{|H(e^{j\omega_s})|} \text{dB} = -20 \lg |H(e^{j\omega_s})| \text{dB}$$

上式中， $|H(e^{j\omega_0})|$ 归一化为 1。

讨论：理论知识应运用于工程应用中。那么如何设计一个合适的滤波器将人工耳蜗听到的噪声去除呢？滤波器的这四个技术指标应如何设置？



问题五：通带截止频率、阻带截止频率设置为多大呢？

通过思考、讨论得出通带截止频率设为 **700-800HZ**，阻带截止频率设为 **7000-8000HZ**。

问题六：通过理论分析，通带的衰减要足够小，而阻带的衰减要足够大，过渡带要窄，所设计出的滤波器性能较好。那么通带衰减和阻带衰减又如何设置？

学生通过查阅资料，了解到在工程应用中 a_p 要小于 **1dB**, a_s 要大于 **40dB**。

$a_p=1\text{dB}$ 时的 $|H(e^{j\omega})| = 0.897$ ，即在通带内有 0.1 的波纹振荡，当 $a_s=40\text{dB}$ ， $|H(e^{j\omega})| = 0.01$ ， $a_s=60\text{dB}$ ， $|H(e^{j\omega})| = 0.001$ 。 a_s 越大，输出信号的幅值衰减的就越小，噪声滤除的也越干净。

但指标过高，势必会导致滤波器的阶数越大，越复杂，成本也越高。因此具体问题具体分析，不可一概而论。

接下来，小组汇报展示。

我们组设计了一个椭圆低通滤波器设计，通过分析，MATLAB 中的主要语句为：

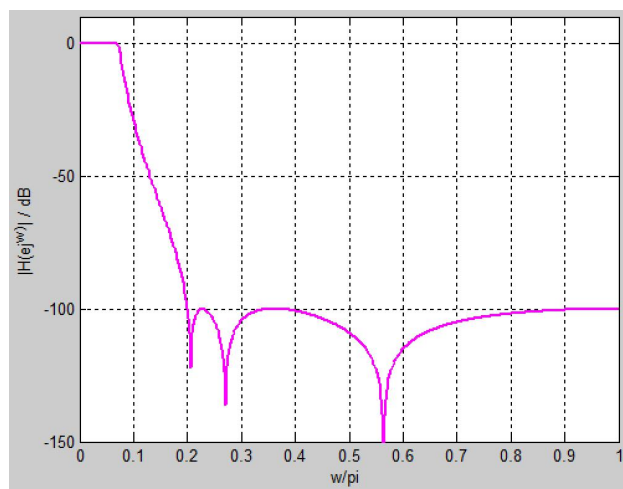
$F_s=44100;$

$f_p=700;$ $f_s=7000;$

$A_p=1;$ $A_s=80;$

$W_p=2*f_p/F_s;$ $W_s=2*f_s/F_s;$ %将模拟滤波器指标转换成数字滤波器指标

```
[N,Wc]=ellipord(Wp,Ws,Ap,As);
[B,A]=ellip(N,Ap,As,Wc);
```

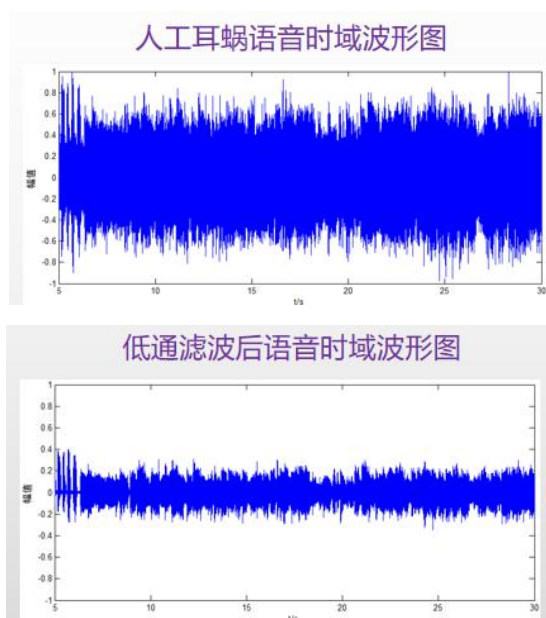


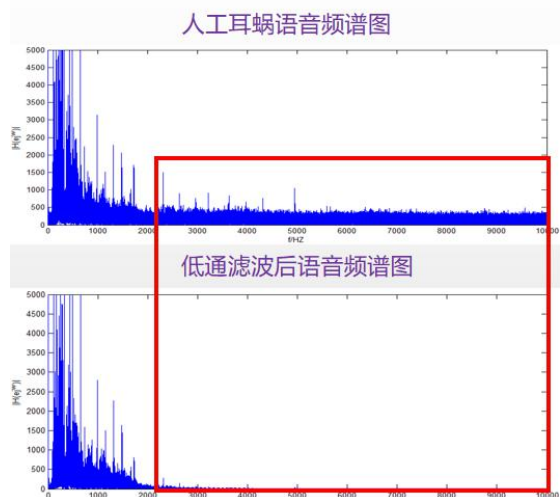
椭圆低通滤波器的幅频特性衰减曲线图

接下来采用 `filter` 函数进行滤波处理：在 MATLAB 中的主要语句为：

```
hn=ifft(H);
Bz=hn;   Az=1;
y=filter(Bz,Az,xn);
```

并绘制出人工耳蜗语音滤波之后的时域波形图及其频谱图。





对频域图进行对比，看出人工耳蜗中大于 2500HZ 的部分被滤除了，那再从音质上进行对比，滤波后的效果还是比较好。

学生提问：虽然噪声滤除了，但采用低通滤波后的声音变得沉闷了，这是为什么？

小组回答：由于低通滤波器将高频中的语音和噪声同时滤除了，导致高频的有用信息缺失，只保留了低频信息，所以声音变得低沉了。

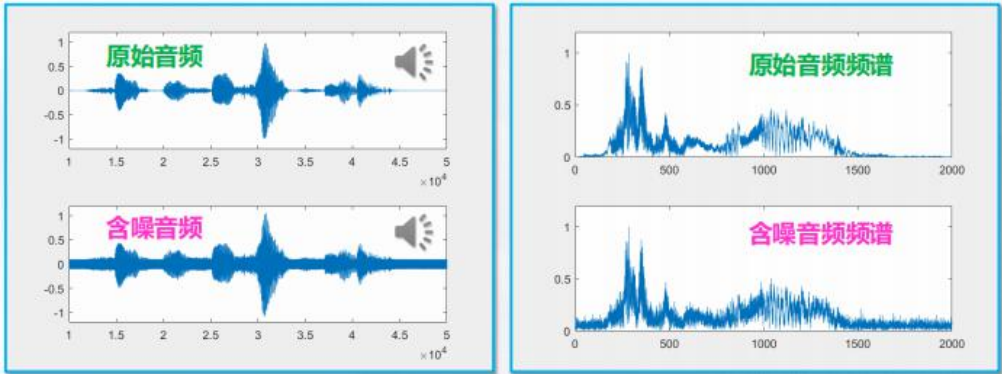
学生提问：那设计其它的滤波器能去除噪声么？

小组回答：当然也可以，高通、带通、带阻滤波器均可去除噪声，但各有优缺点。

老师点评：同学们通过查阅资料，采用 MATLAB 工具编程来实现了滤波器的设计，最终将人工耳蜗听到的声音中的噪声滤除了，并取得了一个较满意的结果。这也验证了实践是检验真理的唯一标准。

人工耳蜗技术的研究是一项非常有意义的工作，它可以帮助成千上万听力损伤的患者重新聆听世界的美好声音。虽然目前 CI 植入者还不能像正常人一样在各种环境下自如交流，欣赏音乐，但是他们已经可以获得基本的交流能力，这些都离不开科研者者的不懈努力。目前，人工耳蜗行业所面临的 2 大行业痛点是一个研究热点，相关的研究点还有很多，如音乐感知、多通道降噪算法、双侧植入者的性能探究等等，在此也给大家提供一些相关的最新研究。另

	外，CI 的研究是一个跨学科的研究，如何明显提高植入者的语音、音乐、环境声等方面的感知性能，这个问题涉及到生物医学、电子信息、声学、心理学等多个学科的应用与结合。希望大家能够用自己的知识让 CI 植入者的声音感知能力更上一层楼。 思政要素：该案例为数字信号处理知识的综合运用。加深学生对谱分析的理解。培养学生综合应用所学专业理论知识分析和解决实际问题的能力，进一步巩固、加深和拓宽所学的专业知识。（9 月 26 日）是国际聋人日。我国是世界上听力残疾人数最多的国家，约 2780 万人，占全国残疾人的 30%以上。案例使用人工耳蜗的声音分析滤波，让学生了解聋哑人的世界。过度疲劳，高度紧张，耳朵血管收缩导致缺血缺氧，导致突发性耳聋；长期遭受噪声影响，也可导致耳聋。国家职业标准规定，在 85 分贝的噪声中暴露不能超过 8 小时，而很多手机、MP3 播放器的音频输出最大功率在 115 分贝左右，使用时如不注意就有可能造成听力损失。我们要学会去帮助社会弱势群体、关爱关心他们，让他们感觉到社会的温暖，同时形成传递温暖、友爱、互助的校园文化。
分析评价	通过工耳蜗中语音信号处理的原理，综合运用数字信号处理的理论知识进行频谱分析和滤波器设计，模拟人工耳蜗中语音信号处理的过程对语音信号进行处理，案例设计巧妙。
评 价 者	程国、教授、商洛学院

案例编号	20042115-054
案例标题	现代滤波器
案例来源	原创案例
内容简介	对现代滤波器的知识进行介绍，引导学生关注领域内的前沿技术和发展，激发学生的学术探索和创新能力。
关键词	学术探索、创新能力
编写时间	2023-12-28
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	引导学生关注领域内的前沿技术和国家的科技战略，激发学生的学术探索和创新能力。
素材长度	1200 个字符
案例正文	教学内容： 现代滤波器主要研究从含有噪声的数据记录中估计出信号的某些特征或信号本身。一旦信号被估计出，那么估计出的信号将比原信号会有高的信噪比。现代滤波器理论源于维纳在 40 年代及其以后的工作，这一类滤波器的代表为维纳滤波器，此外，还有卡尔曼滤波器、线性预测器、自适应滤波器。  提出现代滤波算法的大师们美国应用数学家，控制论的创始人，在电子工程方面贡献良多。他是研究随机过程和噪声过程的前驱，同时

提出了“控制论”一词。

1935~1936年，维纳应邀到中国作访问教授，研究并设计出很好的电子滤波器，并获得了该项发明的专利权。维纳也把在中国的这一年作为自己学术生涯中的一个里程碑。

在第二次世界大战期间，维纳接受了一项与火力控制有关的研究工作。这促使他深入探索了用机器来模拟人脑的计算功能，建立预测理论并应用于防空火力控制系统的预测装置。1948年，维纳发表《控制论》，宣告了这门新兴学科的诞生。美国数学家、电气工程师。他提出了一种以其名字命名的卡尔曼滤波的新的滤波方法，以及能控性、能观性的概念，为现代控制理论作出了杰出贡献。

维纳滤波缺点在于必须使用全部的历史观测数据，存储量和计算量都很大；当获得新的观测数据时，没有合适的递推算法；很难用于非平稳过程的滤波问题。为克服上述缺点，卡尔曼提出一种递推滤波方法，即卡尔曼滤波。

卡尔曼的工作直接针对着科学理解现代工程中的创新过程。他的方法着重于基于数学概念的抽象方法对工程的实用价值。1963年，美国宇宙飞船在卡尔曼滤波器导引下登上月球。



课程思政：

现代滤波器是数字信号处理中的核心技术，广泛应用于通信、图像处理、声学等多个领域。它们能够有效地从复杂信号中提取所需信息，

	抑制不需要的噪声和干扰，从而提高系统的稳定性和可靠性。为了让学生紧跟时代步伐，在课堂上详细解析各种滤波器的设计原理，并引导他们关注这些滤波器在 5G 通信、人工智能、物联网等领域的最新应用，以拓宽他们的视野。 在这个过程中，将特别强调一些杰出科学家和工程师，他们对滤波器理论的发展做出了巨大贡献。他们的创新精神和坚持不懈的研究态度是我们学习的榜样。通过了解他们的事迹，我们可以启发学生们追求卓越，勇于挑战未知，培养他们的学术探索精神和创新能力。 鼓励学生不仅限于掌握现有知识，更要敢于突破，尝试提出自己的滤波器设计方案。通过这样的教学方式，我们期待能培育出一批具备深厚理论基础、敏锐洞察力和实践能力的未来科技人才。
分析评价	通过对现代滤波器的知识和相关科学家的介绍，引导学生关注领域内的前沿技术和发展，启发学生们追求卓越，勇于挑战未知。
评 价 者	程国，教授，商洛学院

案例编号	20042115-054
案例标题	数字滤波器设计中的窗函数选择
案例来源	原创案例
内容简介	通过数字滤波器窗函数的选择原则，引出窗函数在数字滤波器设计中就如同人生的决策指南，指导我们在不同场景下做出最优化的选择。
关键词	窗函数，人生价值
编写时间	2023-12-30
编者	张娜，讲师，电子信息与电气工程学院
素材形式	文字、图片
育人主题	引导学生如何在有限的资源和条件下，通过深思熟虑和明智选择，实现个人价值的最大化。
素材长度	1596 个字符
案例正文	教学内容： 在数字滤波器设计过程中，我们经常要从离散的频域响应设计滤波器的时域表达式。由于数字滤波器是基于有限长的输入序列，所以需要使用窗函数来对输入序列进行截断。窗函数可以视为对输入序列施加的一种加权函数，它将输入序列乘以窗函数，然后再进行频域变换，从而得到所需的频率响应。 窗函数有多种选择，每种窗函数都有其特定的频率响应特性。在数字滤波器设计中，我们希望能够实现较小的幅度波动、较快的衰减速度和较窄的过渡带宽。因此，选择合适的窗函数对于数字滤波器的设计至关重要。 一、常见的窗函数选择方法 1. 矩形窗函数 矩形窗函数是最简单的窗函数之一，其频域响应为常数。它的特点是具有最宽的主瓣宽度和最慢的衰减速度，因此在滤波器设计中很少被采

用。但在一些特定应用场景下，矩形窗函数可能有其独特的优势。

2. 汉宁窗函数

汉宁窗函数是一种常见的窗函数，其频域响应在主瓣附近具有较小的波动，适用于对频率响应精确度要求较高的滤波器设计。汉宁窗函数具有较快的衰减速度和较窄的过渡带宽，因此在许多实际应用中得到广泛应用。

3. 汉明窗函数

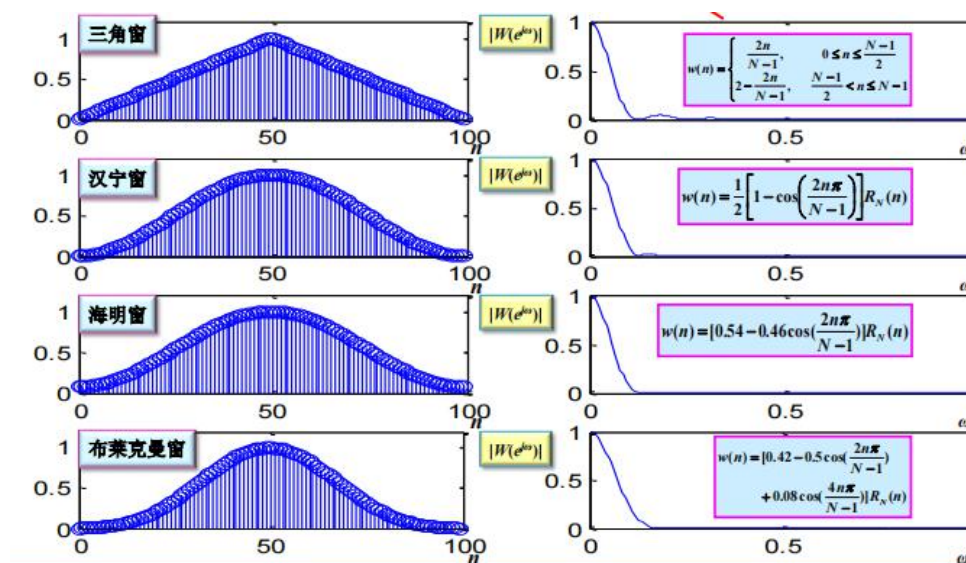
汉明窗函数是与汉宁窗函数相关的一种窗函数。与汉宁窗函数相比，汉明窗函数的主瓣下降更快，但过渡带宽稍宽一些。汉明窗函数也适用于对频率响应精确度要求较高的滤波器设计。

4. 高斯窗函数

高斯窗函数是一种具有对称性、连续可微性和较宽主瓣的窗函数。它的特点是具有较小的截止频率波动和较快的衰减速度。高斯窗函数在模糊滤波和时域滤波等应用中经常使用。

5. 升余弦窗函数

升余弦窗函数是一种具有较宽主瓣和较慢衰减速度的窗函数。与其他窗函数相比，它具有更宽的过渡带宽和较小的频谱泄漏。升余弦窗函数适用于对滤波器幅度响应要求较低的应用场景。



二、窗函数选择原则

在实际的数字滤波器设计中，根据不同的需求和应用场景选择合适的

窗函数是十分重要的。一般来说，窗函数选择应该遵循以下原则：

1. 幅度响应要求：根据滤波器的幅度响应要求选择合适的窗函数。如果对幅度响应有较高的要求，可以选择波动较小的窗函数。
2. 过渡带宽要求：根据滤波器的过渡带宽要求选择合适的窗函数。如果过渡带宽要求较窄，可以选择具有快速衰减速度的窗函数。
3. 计算复杂度：不同的窗函数对应的时域表达式不同，其计算复杂度也有所差异。在实际应用中，需要综合计算复杂度和滤波器性能进行选择。

窗函数类型	窗谱性能指标		加窗后滤波器性能指标	
	主瓣宽度 (rad)	旁瓣峰值 (dB)	过渡带宽 $\Delta\omega$ (rad)	阻带最小衰减 α_s (dB)
矩形窗	$4\pi/N$	-13	$1.8\pi / N$	-21
三角形窗	$8\pi/N$	-25	$6.1\pi / N$	-25
汉宁窗	$8\pi/N$	-31	$6.2\pi / N$	-44
海明窗	$8\pi/N$	-41	$6.6\pi / N$	-53
布拉克曼窗	$12\pi/N$	-57	$11\pi / N$	-74

总结起来，窗函数在数字滤波器设计中起着重要的作用。根据实际需求选择合适的窗函数，可以帮助我们设计出满足要求的数字滤波器。在进行窗函数选择时，我们需要考虑幅度响应要求、过渡带宽要求和计算复杂度等因素。只有充分理解窗函数的特性，并根据实际需求进行选择，才能设计出性能优良的数字滤波器。

课程思政：

在进行窗函数选择时，我们需要考虑幅度响应要求、过渡带宽要求和计算复杂度等因素。只有充分理解窗函数的特性，并根据实际需求进行选择，才能设计出性能优良的数字滤波器。窗函数在数字滤波器设计中就如同人生的决策指南，指导我们在不同场景下做出最优化的选择。每个窗函数都有其独特的"个性"，有的在频率响应上表现出色，有的在减少旁瓣泄漏方面更胜一筹，这就好比人生中的各种可能性，每一种选择都可能带来不同的结果和体验。

当我们面临生活中的抉择时，也需要像设计滤波器一样，明确目标，评估条件，权衡利弊。比如，我们是否应该接受一份高薪但工作压力大

	的工作，还是选择一份薪酬适中但工作环境舒适的工作？这就如同在设计滤波器时，我们要在幅度响应和计算复杂度之间找到平衡。 此外，窗函数的特性也告诉我们，没有完美的解决方案，每一个选择都会伴随着一定的妥协。在现实生活中，我们也必须学会接受不完美，因为每一次的取舍都是为了达到整体的最佳效果。 所以，学习窗函数在数字滤波器设计中的应用，不仅仅是技术层面的学习，更是对我们理解和应对生活的一种启示。它教会我们如何在有限的资源和条件下，通过深思熟虑和明智选择，实现个人价值的最大化，设计出属于我们自己的“理想人生”。
分析评价	该案例中通过窗函数在数字滤波器设计中就如同人生的决策指南，指导我学生如何在有限的资源和条件下，通过深思熟虑和明智选择，实现个人价值的最大化。案例切合教学内容，是一个合格的教学案例。
评 价 者	李芳，教授，西安理工大学