

线上线下混合教学在信号与系统课程中的应用

——以“抽样定理”为例

刘舒祺, 贾子彦, 俞洋, 薛波, 陶为戈, 王玉, 陆毅, 钱志文

江苏理工学院电气信息工程学院, 江苏 常州

收稿日期: 2023年7月24日; 录用日期: 2023年10月3日; 发布日期: 2023年10月13日

摘要

信号与系统课程是电子信息类一门重要的专业基础课,起承上启下的作用。根据当前我校学生学习时间、空间的灵活性,内容的多样性,课程组对该课程致力于线上线下混合式教学改革。本文以信号与系统课程中一重要知识“抽样定理”为例,从教学内容、教学手段、教学方法、工程应用、课程思政等方面详细讲述线上线下混合教学的具体实施过程。实践教学表明,混合式教学激发了学生学习热情,提高了学生自主学习能力、独立思考和分析问题能力,培养了工程思维能力和团队协作意识,取得了较好的教学效果。

关键词

信号与系统, 线上线下, 混合教学, 抽样定理

Application of Online and Offline Mixed Teaching for Signal and System Course

—A Case Study of Sampling Theorem

Shuqi Liu, Ziyang Jia, Yang Yu, Bo Xue, Weige Tao, Yu Wang, Yi Lu, Zhiwen Qian

School of Electrical Information Engineering, Jiangsu University of Technology, Changzhou Jiangsu

Received: Jul. 24th, 2023; accepted: Oct. 3rd, 2023; published: Oct. 13th, 2023

Abstract

The signal and system course is an important professional basic course of electronic information class, which plays the role of connecting the preceding and the following. According to the flexibility of students' learning time and space and the diversity of content, the curriculum team is committed to the mixed teaching reform of online and offline courses. In this paper, we take the sam-

pling theorem as an example, which is an important knowledge in signal and system course. The implementation processes of online and offline mixed teaching from the aspects of teaching content, teaching means, teaching methods, engineering application, and curriculum thought education are described in detail. Practice teaching shows that mixed teaching stimulates students' enthusiasm for learning, and improves students' ability to independent learning, independent thinking and analyzes problems. It cultivates the engineering thinking ability and teamwork consciousness of students, so it achieves a good teaching effect.

Keywords

Signal and System, Online and Offline, Mixed Teaching, Sampling Theorem

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

抽样定理是信号与系统课程中非常重要的知识点[1], 在讲解连续信号和离散信号、连续时间系统和离散时间系统分析时起到桥梁纽带的作用。深刻理解抽样定理对信号与系统课程的学习起着至关重要的作用, 同时, 对学生后续数字信号处理、通信原理、数字图像处理等专业课程的学习也是非常重要的[2]。由于我校信号与系统课程开在第四学期, 学生的专业基础相对薄弱, 对模拟和数字的概念不清楚, 而抽样定理是模拟信号变成数字信号的基础, 因此抽样定理的学习也是一次很好的专业教育, 培养学生的学习兴趣。课程组在讲授抽样定理时, 围绕为什么要抽样, 怎样抽样, 抽样信号与原连续信号之间的关系等问题, 从实际通信系统传输信号的角度采用线上线下混合的方式进行讲解[3] [4] [5]。

合理运用线上线下混合教学, 需要对课程内容及教学方法进行相应的改革, 具体为: (1) 重塑和优化课程内容; (2) 创新教学方法、增强课堂互动交流; (3) 抽象问题具体化, 提高学生内驱力; (4) 课程思政内涵的挖掘与实施。

2. 线上线下混合教学设计

根据我校学生的实际情况, 授课前教师确定线上线下授课的比例, 线下授课 64 学时, 线上 20 学时, 对于较简单的内容、已讲过的内容或与分析方法相似的内容采用线上教学, 线上教学内容具体为常用信号的傅氏变换、傅氏变换的性质、常用信号的拉氏变换、拉氏变换的性质、拉氏反变换、抽样定理、离散信号的卷积和、卷积和的性质、常用信号的 Z 变换、Z 变换的性质、Z 反变换、离散系统的时域分析和 Z 域分析。同时根据线上线下教学内容制定相应的学习目标, 包括知识目标、能力目标和素质目标。知识目标: (1) 了解抽样的必要性; (2) 理解抽样相关的概念以及抽样的内涵和本质; (3) 掌握抽样的原理以及实现的方法; (4) 掌握抽样定理。能力目标: (1) 能够从时域、频域角度分析抽样信号与连续信号之间的关系; (2) 能够理解抽样定理在工程中的应用方法; (3) 能够具有利用信号处理知识解决工程实际问题的能力。素质目标: (1) 培养自主学习能力; (2) 培养高阶思维能力与分析问题、解决问题能力; (3) 锻炼口头表达能力和辩证思维能力。依据学习目标确定了该知识的重、难点。重点为: (1) 理想抽样信号的频谱特点, 及其与连续信号频谱之间的关系; (2) 抽样定理的运用。难点为: (1) 抽样过程的数学建模; (2) 抽样过程分析的时频域转换。

依据学习目标和重难点, 对抽样定理教学内容课前、课中和课后三个阶段进行混合教学设计。具体

如图 1 所示。

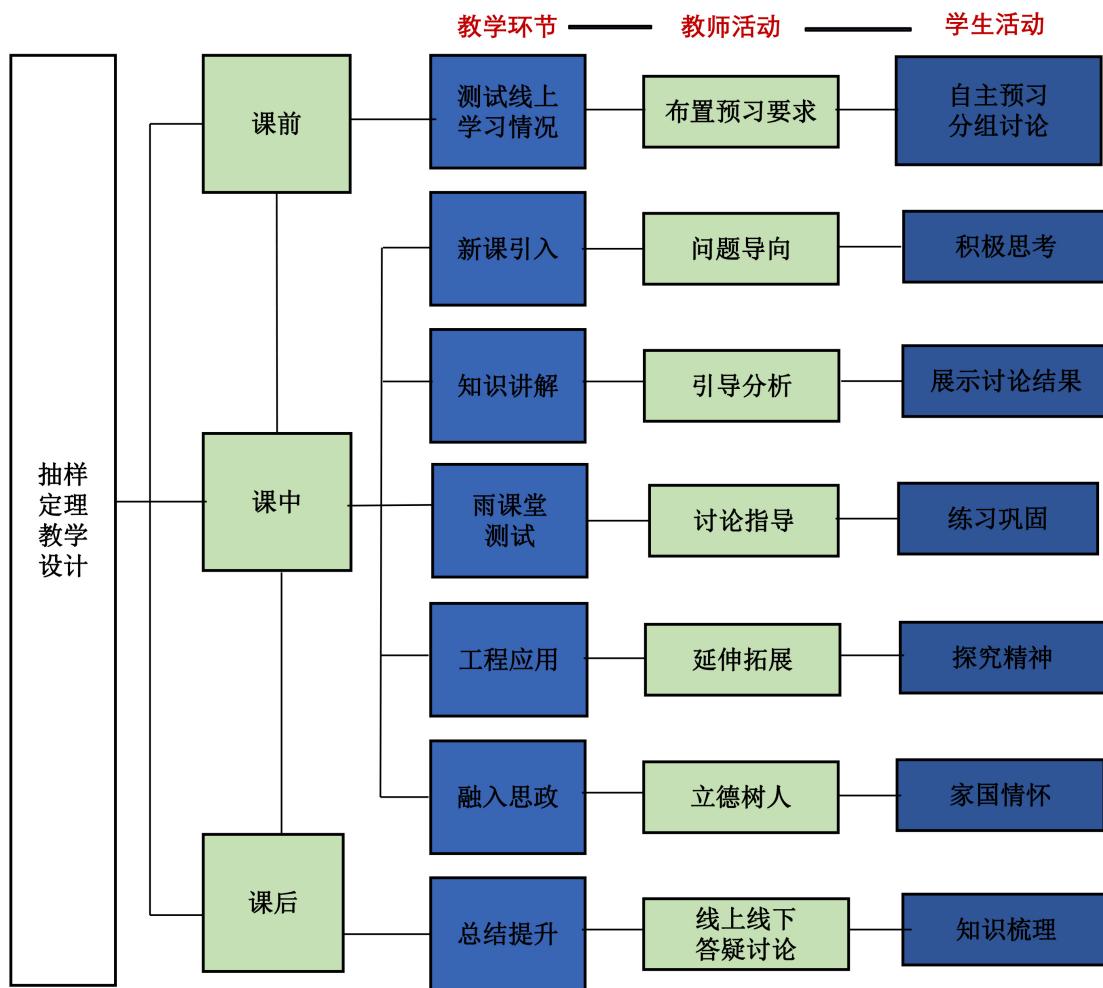


Figure 1. Online and offline mixed teaching design

图 1. 线上线下混合教学设计

3. 线上线下混合教学过程

3.1. 课前线上教学

线上运用东南大学提供的中国大学生慕课 MOOC，通过 SPOC 平台上传学习目标、重难点、线上预习学习要求、任课教师录制的抽样定理微视频以及相应的自测题，让学生根据要求，灵活合理安排时间，带着问题有目标的去学习，与课堂教学实现有效互补。

线上预习学习要求具体为：(1) 了解：科学家奈奎斯特的故事及抽样定理的发展历史。(2) 分组讨论：抽样的分类及相应的概念。(3) 思考：抽样信号与连续信号之间的关系？抽样信号能否包含原连续信号的全部信息？若包含原连续信号信息，在什么条件下可以由抽样信号恢复原连续信号？其他线上上传内容这里不再详述。

3.2. 课中课堂教学

首先根据学生线上学习情况及自测情况进行有针对性的点评和总结，然后针对第一个预习要求，抽

查同学关于奈奎斯特的故事及抽样定理的发展历史学习的情况, 让学生进一步感悟科学家坚持不懈、追求真理的科研精神。

对于新课导入, 从现实生活中的模拟信号、数字通信系统的发展和讲解抽样的必要性, 引出教学内容。接着以“创设问题情境”→“理论推导、图形分析”→“凝练科学问题”→“实验验证”→“工程应用”为主线展开教学, 以问题为导向引导学生由浅入深探究, 分析问题本质, 并得出结论, 并将结论应用于工程实践中, 最后归纳抽样定理蕴含的哲学道理。

3.2.1. 抽样的相关概念

给出抽样及抽样信号的定义, 紧接着给出一个连续信号是如何进行抽样的 PPT 动画演示, 直观说明离散样本值组成的抽样信号, 引导学生思考连续信号与抽样信号之间的关系, 提高学生思考分析问题能力。

为了把抽象问题具体化, 对抽样进行建模, 从理论上得出抽样信号等于连续信号与抽样脉冲相乘的关系, 具体实现可以用乘法器, 以便理论分析。于是根据抽样脉冲的不同, 对抽样进行分类。此时, 针对课前预习要求分组讨论的结果, 每组抽一个负责人, 由教师指定讲述讨论内容, 通过雨课堂投稿进行讲述, 具体为理想抽样、自然抽样、瞬时抽样, 最后由教师对每组的讲解从掌握熟练程度, 口头表达能力, 逻辑性、条理性、团队协作等方面进行总结点评。

3.2.2. 抽样的原理

教师以理想抽样为重点, 从时域、频域入手, 从理论分析、图形分析两方面分析抽样的原理。

1) 理论分析

根据抽样信号与连续信号在时域和频域中的关系表达式(1)和(2)的对应关系, 可知时域中抽样信号等于连续信号与周期冲激抽样函数相乘, 频域中抽样信号的频谱是连续信号频谱的周期延拓, 时域的离散化对应频域的周期化, 频域之间的关系是重点, 要多加强调让学生能看出抽样信号频谱与连续信号频谱之间的本质关系。

$$f_s(t) = f(t) \cdot \delta_{T_s}(t) = f(t) \cdot \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta(t - kT_s) \quad (1)$$

$$F_s(\omega) = \frac{1}{2\pi} F(\omega) * \Delta(\omega) = \frac{1}{T_s} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} F(\omega - k\omega_s) \quad (2)$$

2) 图形分析

为了更直观分析抽样的本质, 给出连续信号、抽样冲激函数以及抽样信号在时域的波形和在频域的频谱图, 如图 2 所示。进一步探索抽样信号在什么情况下能包含原连续信号的信息, 若包含, 用什么办法提取出来。

根据图形以及时域相乘对应频域卷积的关系, 由 PPT 图通过设问、引导、启发的方式根据需要实时动画播放 PPT, 进行讲解抽样信号与连续信号之间的关系。设问 1: 抽样信号频谱是否是原信号频谱的周期延拓? 启发学生结合理论分析回答: 是。设问 2: 冲激序列的每一根谱线是否对应抽样信号频谱的每一个周期? 启发学生结合理论分析回答: 是。设问 3: 零频附近, 抽样信号频谱中是否包含了原信号的频谱信息? 若包含, 接收端怎么取出原信号频谱, 参数怎样设置? 引导学生观察频谱图回答: 包含, 低通滤波器取出, 截止频率为 ω_s 。设问 4: 抽样信号频谱每一个周期之间是有一定间隔的, 即后一个周期的起点大于前一个周期的终点, 抽频率与连续信号最高频率之间的关系是什么? 分析推导 $\omega_s - \omega_m > \omega_m \Rightarrow \omega_s > 2\omega_m$ 进而引导学生思考 $\omega_s = 2\omega_m$ 和 $\omega_s < 2\omega_m$ 的情况会怎么样? 用类似 $\omega_s > 2\omega_m$ 的方法分析, 得出当 $\omega_s = 2\omega_m$ 时用理想低通滤波器在接收端仍然可以从抽样信号中恢复原信号。当 $\omega_s < 2\omega_m$ 时发生了频谱混叠, 设问: 接收端能否从抽样信号频谱中找到并恢复原信号频谱呢? 引导学生回答: 不可以, 因为从

频谱图中再也找不到原信号的谱信息，当然也不能用滤波器取出原信号信息频，接收端不能从抽样信号中恢复原信号。通过分析总结，与学生一起描述抽样定理，并强调抽样定理使用时要满足的条件。最后通过自然抽样进一步理解抽样的本质，说明理想抽样对于自然抽样也是合适的，拓宽学生的视野。讲解结束后，为了及时了解学生对抽样定理的掌握情况，通过与课堂推送 2 道相关题目，在规定时间内完成，针对答题情况，及时点评反馈。

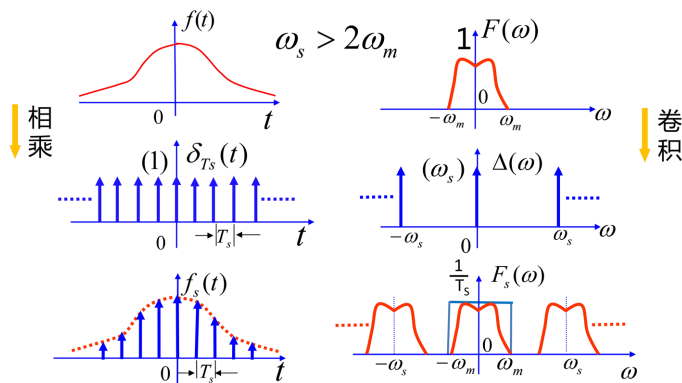


Figure 2. Graph analysis of sampling theorem
图 2. 抽样定理图形分析

3.2.3. 仿真验证

举例：已知模拟信号 $f(t) = \cos(6\pi t) + \cos(8\pi t) + \cos(12\pi t)$ 。验证抽样定理：抽样频率分别取 48 Hz、12 Hz 和 10 Hz。这里要求学生分析出模拟信号的最高频率 $f_m = 6$ Hz，进而分析抽样频率对抽样信号恢复原信号的影响。

图 3 验证抽样频率为 $f_s = 48$ Hz 时，连续信号、抽样信号以及由抽样信号恢复的信号之间的关系。

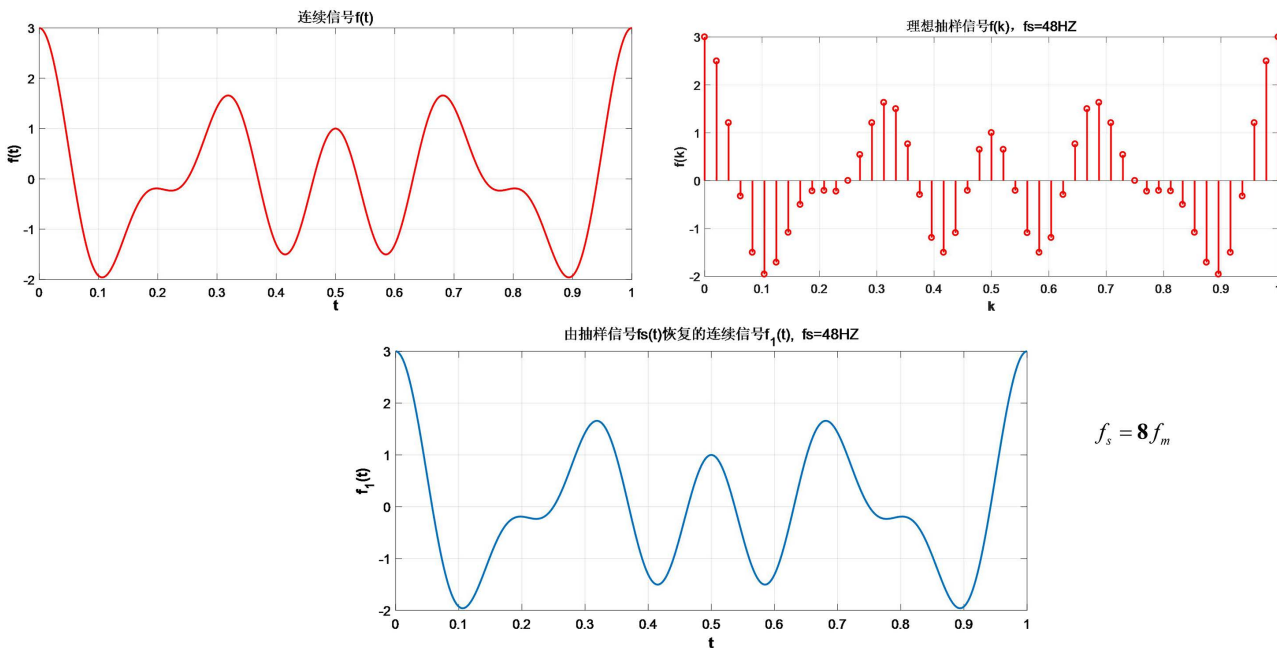


Figure 3. Relationship between continuous signals, sampled signals, and restored signals ($f_s = 48$ Hz)

图 3. 连续信号、抽样信号与恢复信号之间的关系 ($f_s = 48$ Hz)

由图3可知,当抽样频率是模拟信号最高频率的8倍时,可以从抽样信号 $f(k)$ 中无失真的恢复连续信号,因为 $f(t)$ 与 $f_1(t)$ 的波形完全一样,满足抽样定理。同样的实验方法,可以得出当 $f_s = 10\text{ Hz}$ 时,原信号和抽样信号恢复后信号波形不同,且相差比较大,这主要是抽样频率 10 Hz 小于最高频率的2倍 12 Hz ,不满足抽样定理。当 $f_s = 12\text{ Hz}$ 时,原连续信号和抽样信号恢复的连续信号波形还是有差别的,满足 $f_s = 2f_m$,波形还是有一定的不同这时提醒同学们思考,这是为什么?得出结论我们讲抽样定理, $f_s = 2f_m$ 时用理想低通滤波器可以恢复原信号,而实际中,理想滤波器是不能实现的,所以实际工程中满足 $f_s = 2f_m$ 还是不能从抽样信号中无失真的恢复原信号。至于实际中 f_s 应该取多少?从而引出抽样定理在工程中的应用。

3.2.4. 工程应用

实际工程应用中理想滤波器是不可实现的,因为实际滤波器幅度是不可能突变的,幅度的变化是缓慢的,是有过渡带的,所以对连续信号抽样,抽样频率要大于信号最高频率的2倍。一般取 $\omega_s \geq (2.5 \sim 5)\omega_m$ 。工程中对于非带限信号抽样,需要进行预滤波处理,如图4所示,使非带限信号变为带限信号,再使用抽样定理。

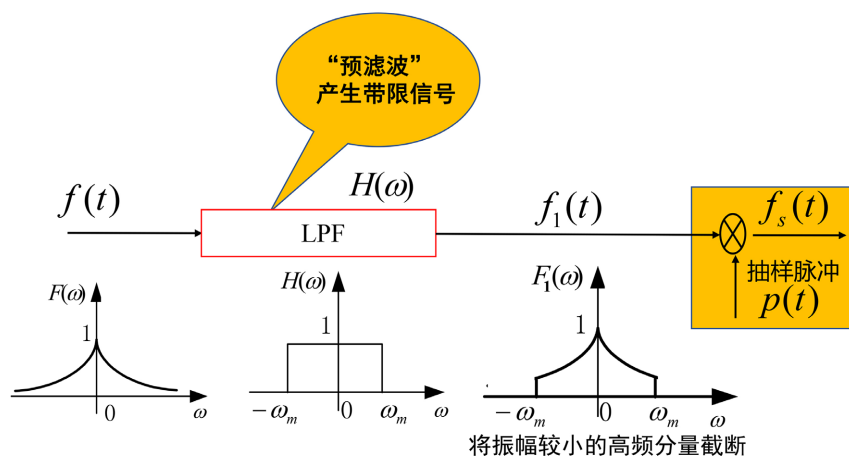


Figure 4. Non-band limited signal preprocessing
图4. 非带限信号预处理

最后总结所讲抽样定理的主要内容,并告诉学生对于一个信号进行抽样时,抽样频率要选择合适的,选择过大数据量增加,通信的有效性得不到保证,选择过小数据量过少,通信的可靠性得不到保证,所以要用辩证思维的观点看待抽样定理。

3.3. 课后线上线下教学

课后布置对应的线下课后作业,并根据需要通过 SPOC 上传对应的典型练习题,让学生加强巩固,掌握所学知识。同时开通线上答疑讨论,及时解决学生遇到的问题。

通过线上线下混合式教学,取得了较好的教学效果。以通信专业为例,通过调查问卷显示,85.8%的学生认为教学效果优于同类课程,学生对自身能力的提升高度认可。教务处组织的学生评教结果为优秀。2019级、2020级和2021级学生课程及格率稳步提升,分别为78.5%、81.3%和83.6%。

4. 总结

采用线上和线下相结合的混合教学模式,运用问题导入法、演示法、举例法、练习法、仿真实验法、

讨论法和讲授法相结合的教学方法,结合雨课堂和多媒体手段带领学生学习抽样定理。教学内容遵循“教为主导,学为主体”的设计原则,将整个教学活动一一展开。授课过程中引导学生理解抽样和抽样信号,理解抽样的工作原理、抽样定理及抽样定理在工程中的应用,培养学生思考提出问题、分析解决问题的能力。结合教学内容考虑课程思政元素,让学生了解科学家的故事,培养学生科研精神和辩证思维的观点。同时,近三年关于抽样定理知识点的考核,从实验、工程应用两方面进行,学生得分率都在稳步提高,说明学生实验能力和解决工程问题的能力均不断提升。

基金项目

协同育人项目(202102563028, 220901576094920, 202102563009),江苏理工学院教改项目(11610212120, 11610212006),江苏省教育科学“十三五”规划课题(C-b2020/03/01),江苏省高等教育教学改革项目(2019JSJG326),江苏理工学院哲社科项目(2019SJA1064),常州市重点实验室项目(CM20223015)。

参考文献

- [1] 魏坤,余秋菊.信号与系统中基于抽样定理的教学内容总结与分析[J].教育教学论坛,2019(34):255-256.
- [2] 王家成,赵发勇.“数字信号处理”重难点教学初探——以时域抽样定理教学为例[J].阜阳师范学院学报(自然科学版),2013,30(2):97-99.
- [3] 李艳丽,吴莉,杜锋.MOOC下如何实现在线学习与线下课堂教学质量实质等效探讨[J].南方农机,2021,52(3):127-128.
- [4] 吴健,艾列富.基于新工科的“信号与系统”课程混合教学模式改革[J].辽东学院学报,2021,28(2):141-146.
- [5] 张慧颖,孙洪亮,于海越,王凯.“抽样定理”混合教学方法设计研究[J].软件,2021,42(3):75-78.