



数字信号处理

任课老师：邓小玲 教授

联系方式：dengxl@scau.edu.cn

学习该课程应掌握的内容

一、基础理论

1.离散时间信号与离散时间系统；傅里叶变换；Z变换

二、核心算法与技术

1.离散傅里叶变换（DFT）与快速傅里叶变换（FFT）

2.滤波器设计：无限冲激响应（IIR）滤波器；有限冲激响应（FIR）滤波器

3.信号处理中的正交变换

4.信号处理技术：调制解调；信号编码与解码；信号压缩与恢复

三、应用与实践

- 1.信号处理软件工具：**熟悉MATLAB、Python等编程语言在信号处理中的应用，掌握相关软件包的使用，如MATLAB中的Signal Processing Toolbox。
- 2.实际案例分析：**通过分析实际案例，如语音信号处理、图像处理、雷达信号处理等，加深对数字信号处理理论和技术的理解。
- 3.实验与项目：**参与信号处理相关的实验和项目，如设计并实现一个数字滤波器、对实际信号进行频谱分析等，提升实践能力和解决问题的能力。

四、前沿技术

- 1.深度学习在信号处理中的应用：**了解深度学习技术在信号处理领域的最新进展，如卷积神经网络（CNN）在图像处理中的应用、循环神经网络（RNN）在语音信号处理中的应用等。
- 2.信号处理与人工智能的融合：**探索信号处理与人工智能技术的结合点，如利用机器学习算法优化滤波器设计、提高信号处理的准确性和效率等。

课堂内容

信号分析

- 1 数字信号处理的应用
- 2 离散时间系统与Z变换
- 3 傅里叶变换
- 4 快速离散傅里叶变换

滤波器设计

- 5 数字滤波器的结构
- 6 IIR滤波器的设计方法
- 7 FIR滤波器的设计方法

数字信号处理的定义

- 研究如何用**数字**或**符号序列**来表示**信号**，以及对这些序列作处理（**滤波**、**变换**、压缩、增强、估计、识别等）的一门学科。
- **模拟信号处理**用许多**模拟器件**（如晶体管、放大器、电阻、电容等）来实现；
- **数字信号处理**则是用**数值计算**的方法对信号进行处理。通常是进行各种数字函数的运算，如加、减、乘、除、各种逻辑运算等。



Analogue Vs Digital Signal Processing

Reliability:

Analogue system performance degrades due to:

- Long term drift (ageing)
- Short term drift (temperature?)
- Sensitivity to voltage instability.
- Batch-to-Batch component variation.



Analogue Vs Digital Signal Processing

Digital Systems:

- No short or long term drifts.
- Relative immunity to minor power supply variations.
- Virtually identical components.
- IC's have > 15 years lifetime
- Development costs
- System changes at design/development stage only software changes.
- Digital system simulation is realistic.



The **advantages** of Digital signal processing

- Noise is easy to control after initial quantization
- Highly linear (within limited dynamic range)
- Complex algorithms fit into a single chip
- Flexibility, parameters can easily be varied in software
- Digital processing is insensitive to component tolerances, aging, environmental conditions, electromagnetic interference



But

- Discrete-time processing artifacts (aliasing)
- Can require significantly more power (battery, cooling)
- Digital clock and switching cause interference



人工智能与数字信号处理的相关性

- 以数据为中心的人工智能在信号处理中的应用（25分钟）：

https://www.bilibili.com/video/BV1UZ4y1Y74m?spm_id_from=333.337.search-card.all.click

- [人工智能 | 框架互操作：MATLAB与TensorFlow/PyTorch 哔哩哔哩 bilibili](#)

机器学习中的信息论基础

- 深度学习中的语音信号处理基础&代码实现（50分钟）：

https://www.bilibili.com/video/BV1f3411C7kb?spm_id_from=333.337.search-card.all.click

- 机器学习中的信息论基础

- https://www.bilibili.com/video/BV1Hx411J7pW?spm_id_from=333.337.search-card.all.click

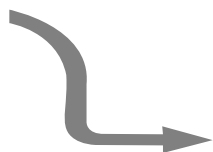
-
- 祖师爷奥本海姆讲《信号与系统》合集
（模拟与数字信号处理）-MIT麻省理工
工学院公开课引言（50分钟）：
 - https://www.bilibili.com/video/BV1NR4y157Kb?spm_id_from=333.337.search-card.all.click

教材

- 教材：邓小玲等，数字信号处理，北京理工大学出版社，2019年
- 参考资料：高西全，数字信号处理（第四版），西安电子科技大学出版社
- <http://www.txrjy.com/thread-394879-1-1.html> [原创连载]深入浅出通信原理
- <http://www.dspguide.com/ch1/1.htm>

考核方式

平时成绩



1 Attendance (10%)

2 Presentation (30%)

实验成绩



2 Experiment (30%)

期末成绩



Examination (30%)

前言目录

课程安排

- 课程介绍及教材
- 考核方式
- 课程内容一览

技术简介

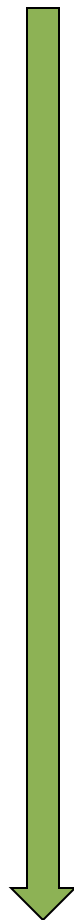
- 发展
- 应用
- 实现

常见概念

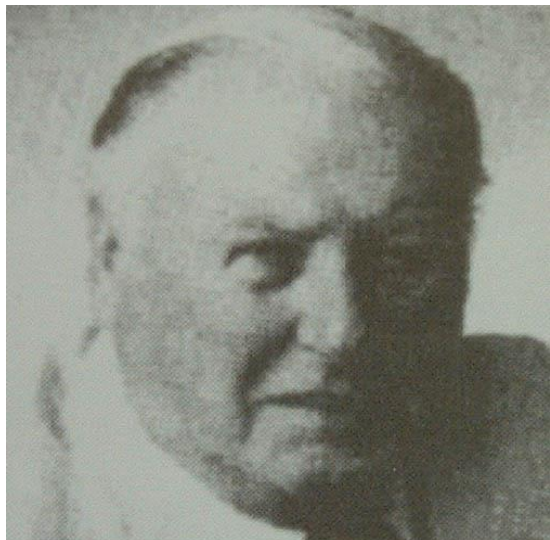
- 信号
- 系统
- 信号分析
- 信号处理

数字信号处理的发展

- 计算机的诞生，为信号的数字处理提供了实现的可能，20世纪50年代有许多前期的研究工作。
- 1965年由Tukey-Cooley提出的**Fourier变换的快速算法（FFT）**，是DSP发展的里程碑。
- 离散变换的进展：1965年FFT，70年代余弦变换，80年代中后期小波变换。
- 滤波器设计技术：IIR、FIR数字滤波器，多采样处理和滤波器组理论，专用滤波器设计。
- 统计和自适应信号处理，阵列处理等。
- 器件和系统的发展对数字信号处理有积极推动。



数字信号处理的发展



James Cooley 美国数学家，哥伦比亚大学的数学博士，以他与Tukey所创造的快速傅立叶变换 (**FFT**) 而著名，Cooley在IBM研究中心中主要从事数字信号处理的研究一直到1992年退休，同时他还是IEEE的数字信号处理委员会的成员。

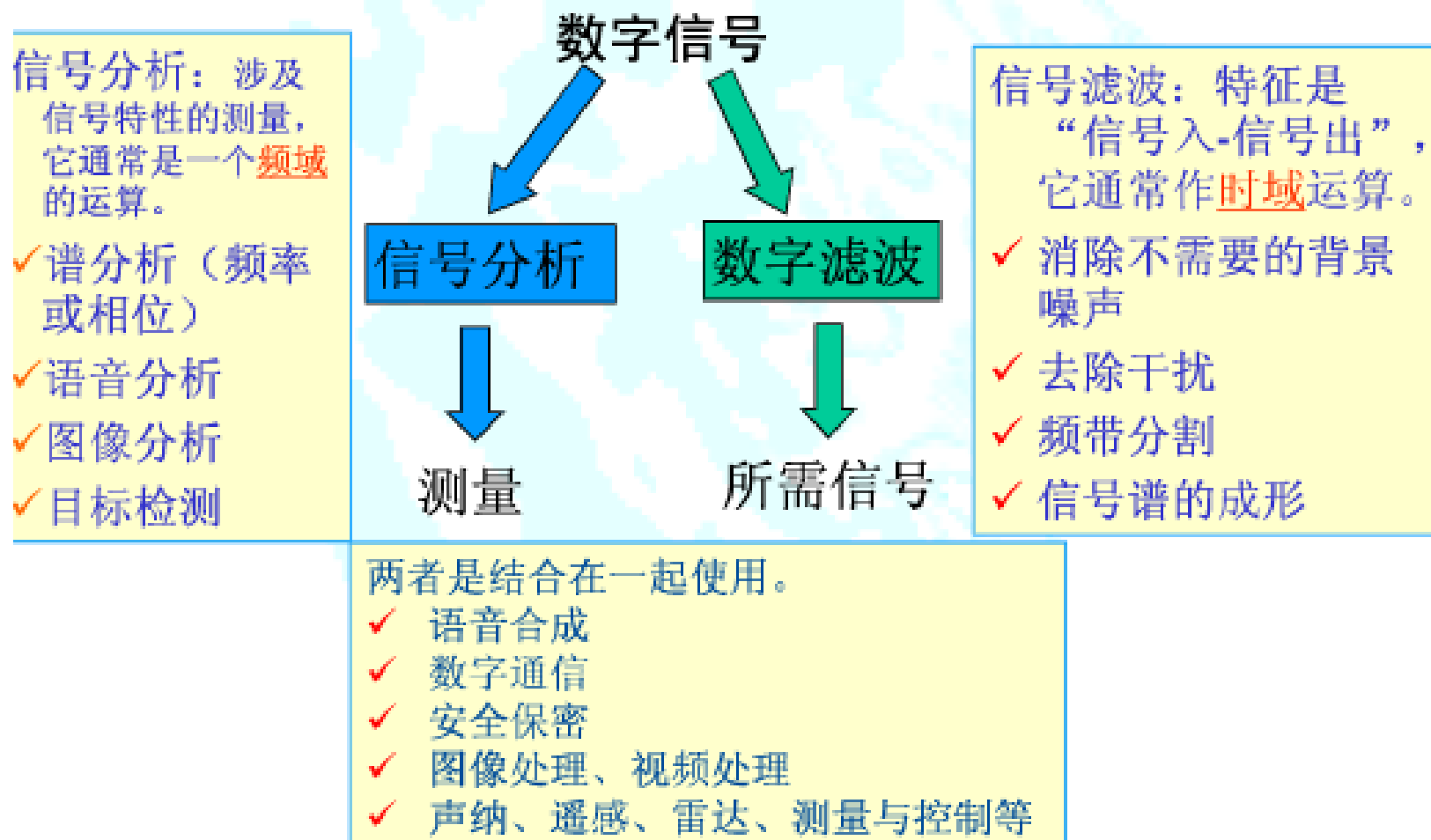
1980年获得ASSP's Meritorious Service Award, 1984年获得ASSP Society Award以及IEEE Centennial Medal。



John Wilder Tukey 先后分别取得化学硕士学位及数学博士学位。1965年与Cooley共同提出**Fast Fourier Transform**算法，发表在Mathematics of Computation。1966-1969年在普林斯顿担任系主任。获得1961年National Academy of Sciences、1973年由尼克森总统颁发的National Medal of Science、1982年IEEE 的Medal of Honor。

数字信号处理的两大重要类别

- 大部分的 DSP 运算可分为**信号分析**和**信号滤波**两类



数字信号处理的应用

DSP正在改进我们的生活方式:

- 工作: 计算机、Modem、手机、笔记本电脑、 Enhanced Gaming
- 生活: 医疗器械、保安系统、机器人、智能装置
- 学习: 电子学习机、计算机
- 存储: HDD、CD-ROM、DVD
- 娱乐: 游戏机、Internet、MP3随身听
- 旅行: 自动驾驶控制、GPS、避撞系统
- 社交: Internet、个人电脑



数字电话
Digital Media Processing



Wireless Devices:
802.11, Bluetooth, Others



Biometrics

Webpad



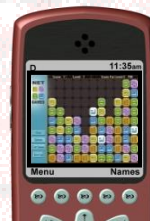
Military and Government Cellular,
Secure Connectivity



Telematics



Industry-Specific
PDAs



Medical
Devices

数字信号处理的应用

• 语音处理

- 语音信号分析
- 语音合成
- 语音识别
- 语音增强
- 语音编码



Music: synthetic instruments, audio effects,
noise reduction mp3 Talking ben

语音情感识别系统设计与实现

1. 数据采集:

- 使用麦克风或现有语音数据集（如RAVDESS、IEMOCAP等）收集包含不同情感的语音样本。
- 确保数据集的多样性和平衡性，覆盖不同性别、年龄、口音和情感类别。

2. 预处理:

- 对采集到的语音信号进行预加重、分帧、加窗等处理，以提高信号分析的准确性。
- 提取每帧的短时能量、短时平均过零率等基础特征。

3. 特征提取:

- 实现基于Mel频率倒谱系数（MFCC）的特征提取方法，MFCC是语音情感识别中常用的有效特征之一。
- 可选：探索并实现其他高级特征提取方法，如基频（F0）特征、共振峰特征、线性预测系数（LPC）等，以提高识别性能。

4. 特征选择与降维:

- 应用主成分分析（PCA）、线性判别分析（LDA）等方法对提取的特征进行选择 and 降维，以减少计算量并提高分类器的泛化能力。

5. 情感分类:

- 设计并实现一种或多种机器学习分类器（如支持向量机SVM、随机森林、神经网络等），用于将提取的特征映射到情感类别上。
- 对分类器进行训练，使用交叉验证等方法评估模型性能，并调整参数以优化识别准确率。

6. 系统测试与评估:

- 使用独立的测试集对系统进行测试，评估其在不同情感类别上的识别准确率、召回率、F1分数等指标。
- 分析系统在不同噪声环境下的鲁棒性，并尝试提出改进方案。

7. 用户界面与交互

Mel频率倒谱系数（MFCC）的特征提取步骤

1. 预处理

- 数字化**：将原始模拟音频信号转换为数字信号。
- 预滤波**：去除信号中的高频噪声和干扰。
- 预加重**：通过一个高通滤波器，补偿语音信号受到发音系统所压抑的高频部分，并突显高频的共振峰。
- 分帧**：将连续的语音信号切割成多个较短的帧，通常帧长为20-40毫秒，帧移为10毫秒左右。
- 加窗**：对每一帧信号加窗处理，以减少帧与帧之间的不连续性。

2. 快速傅里叶变换（FFT）

- 将分帧后的每一帧信号从时域转换到频域，得到频谱图。FFT是一种高效计算离散傅里叶变换（DFT）的方法。**

3. Mel滤波器组

- 设计一组Mel滤波器，这些滤波器在Mel刻度上是等距分布的，而在Hz刻度上则是非线性分布的。滤波器组通常由多个三角带通滤波器组成，能够模拟人耳对不同频率的感知特性。
- 将FFT得到的频谱通过Mel滤波器组，得到每个滤波器输出的对数能量。

4. 对数运算

- 对每个滤波器输出的对数能量进行取对数操作，目的是将乘性信号转化为加性信号，便于后续处理。

5. 离散余弦变换（DCT）

- 对上一步得到的对数能量序列进行DCT变换，以进一步压缩数据并去除相关性。DCT变换后得到的系数即为MFCC特征。

6. 动态特征提取

- 为了捕捉语音信号的动态特性，通常会计算MFCC特征的一阶差分和二阶差分，并将其与静态特征组合起来，形成最终的MFCC特征向量。

数字信号处理的应用

图像处理：恢复、增强、去噪、压缩

■ 图像滤波



数字信号处理的应用

- **通信**：信源编码，信道编码，多路复用，数据压缩
- **电视**：高清晰度电视，可视电话，视频会议
- **雷达**：对目标探测，定位，成像



数字信号处理的应用



- **声纳**：声纳利用声波在水中的传播和反射特性，通过电声转换和信息处理进行导航和测距。它可以通过主动发射声波“照射”目标，接收水中目标反射的回波以测定目标的参数，或者通过收听目标发出的噪声来判断目标的位置和某些特性。
- 声纳是各国海军进行**水下监视**的主要技术，用于对水下目标进行探测、分类、定位和跟踪，保障舰艇、反潜飞机和反潜直升机的战术机动和水中武器的使用。声纳技术还用于鱼雷制导、水雷引信，以及鱼群探测、海洋石油勘探等。

主动声纳（如雷达一样，不停地向外发射声信号，根据回波判断目标性质）

被动声纳（不主动发射信号，只接收目标自己辐射的声音信号。被动声纳因为不发射信号，所以不易被敌人发现，主要用于隐蔽侦察）

声纳系统需要用到哪些数字信号处理的技术？

1. 滤波技术

滤除信号中的噪声和干扰，提高信号的信噪比。

2. 去噪技术

进一步减少信号中的噪声，提高信号的清晰度。

3. 信号增强技术

对微弱信号进行放大或优化处理，提高信号的幅度和清晰度。

4. 信号变换技术

将信号从时域转换到频域或其他域进行分析，以揭示信号的内在特征和规律。

5. 参数估计与检测技术

对信号中的参数进行准确估计，如目标的位置、速度、方向等。

6. 数据压缩与存储技术

减少声纳系统产生的大量数据，节省存储空间和传输带宽。

7. 并行处理与高性能计算技术

提高声纳系统的实时处理能力和计算效率。

数字信号处理的应用



地球物理学：如地震勘探中，DSP技术用于处理地震波信号，包括滤波、去噪、增强等步骤，以提高地震数据的信噪比和分辨率。

通过对地震信号进行反演计算，可以构建地下地质结构的图像，揭示地下岩层的分布、构造和潜在的地质灾害等信息。

生物医学信号处理：磁共振和超声成像，X射线计算机断层扫描，心电图，脑电图，MEG，AED，听力学

心电图ECG信号处理的具体步骤和应用

1. 信号采集:

通过心电图机采集心脏电活动的微弱电信号。这些信号包含丰富的生理信息，但也常常受到噪声和干扰的影响。

2. 信号预处理:

滤波: 去除信号中的高频噪声和低频基线漂移，提高信号的信噪比。

去噪: 利用更高级的去噪算法，如小波去噪、自适应滤波等，进一步减少信号中的噪声成分。

归一化: 调整信号的幅度范围到统一的标准，便于后续处理和分析。

3. 特征提取:

提取出具有代表性的特征，如R波、P波、T波等波形的位置、幅度、时限等参数。这些特征对于心脏疾病的诊断具有重要意义。

4. 信号分析:

时域分析: 观察信号的时域波形，了解信号的幅度、周期和相位等信息。

频域分析: 通过傅里叶变换等方法，将时域信号转换为频域信号，分析信号的频率成分和分布。这有助于识别心脏的异常节律和频率变化。

相关性分析: 计算信号之间的相关性，评估信号之间的相似性和关联性。这对于分析心脏电活动的同步性和协调性具有重要意义。

5. 疾病诊断:

基于提取的特征和信号分析结果，结合临床信息和医学知识，进行心脏疾病的诊断。例如，可以检测和诊断心律失常、心肌缺血、心肌梗死等心脏疾病。

数字信号处理的应用

交通:雷达、无线电导航

安全:隐写术、数字水印、生物特征识别、
监控系统、信号智能、电子战

工程:控制系统、模式识别的特征提取、传
感器数据评估

数字信号处理的实现

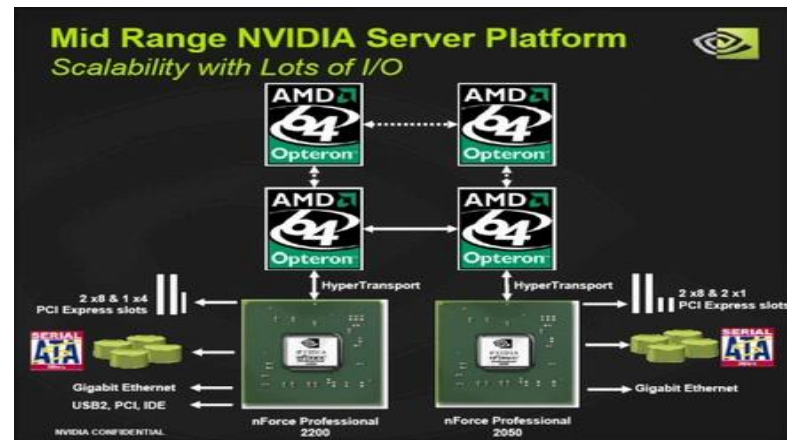
- (1) 用计算机来实现
- (2) 用单片机来实现
- (3) 利用专用芯片(ASIC)来实现
- (4) 应用DSP芯片来实现
- (5) 利用FPGA或CPLD器件实现



NVIDIA推出图
像处理专用芯
片组Pro 2200



Xilinx FPGA



思考题

- 1.什么是模拟信号？
- 2.什么是离散信号？
- 3.什么是数字信号？
- 4.如果将非电信号转成电信号？
- 5.如何将模拟信号转换成数字信号？
- 6.为什么不用真正的数字信号处理，而是用离散信号处理？
- 7.模拟信号处理和数字信号处理在实现上有什么不同？
- 8.数字信号处理的优点？可靠性、灵活性、大规模集成、复用等
- 9.数字信号处理的缺点？处理频带范围有限。Alasing
- 10.什么情况下会采用模拟信号处理？
- 11.数字信号处理的精度由谁决定？ 字长

课后作业

调研:

1. 模拟信号处理的应用案例
2. 数字信号处理的应用案例
3. 数字信号处理与人工智能的关系

分组: 3人一组

下节课安排: **Presentation**, 每组10分钟

课后作业

调研:二选一

1. **深度学习在信号处理中的应用**: 了解深度学习技术在信号处理领域的最新进展, 如卷积神经网络 (CNN) 在图像处理中的应用、循环神经网络 (RNN) 在语音信号处理中的应用等。
2. **信号处理与人工智能的融合**: 探索信号处理与人工智能技术的结合点, 如利用机器学习算法优化滤波器设计、提高信号处理的准确性和效率等。

分组: 3人一组

下节课安排: Presentation, 每组10分钟

课后作业

调研:二选一

1. 短时傅里叶变换的原理和应用
2. 小波变换的原理与应用

1. 分组: 3人一组

下节课安排: **Presentation**, 每组10分钟

课后作业

调研:二选一

1. 卡尔曼滤波的原理和应用
2. 最陡下降法的原理与应用

1. 分组: 3人一组

下节课安排: **Presentation**, 每组10分钟