

现代信号处理

Lecture 02

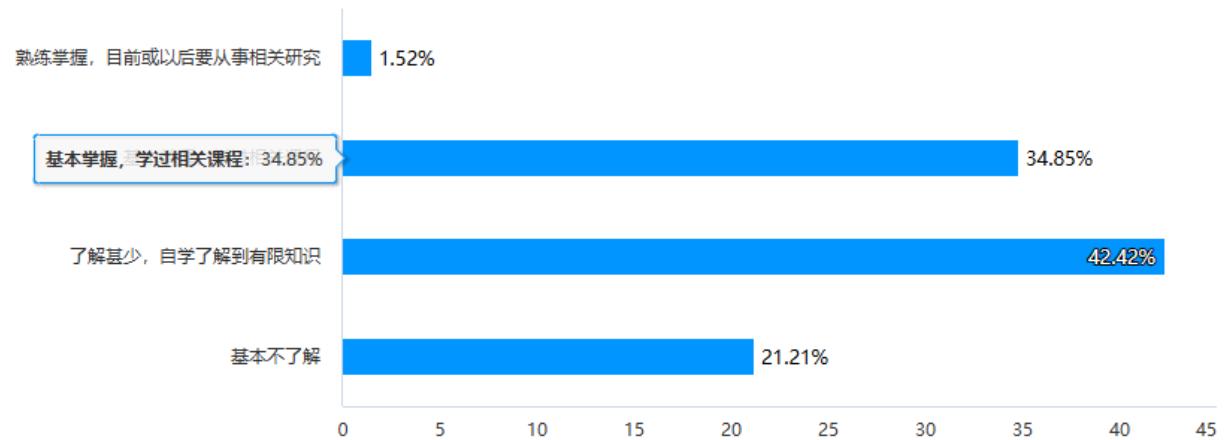
唐晓颖

电子与电气工程系
南方科技大学

September 11, 2025

第1题：你在信号处理方面的基础是 [单选题]

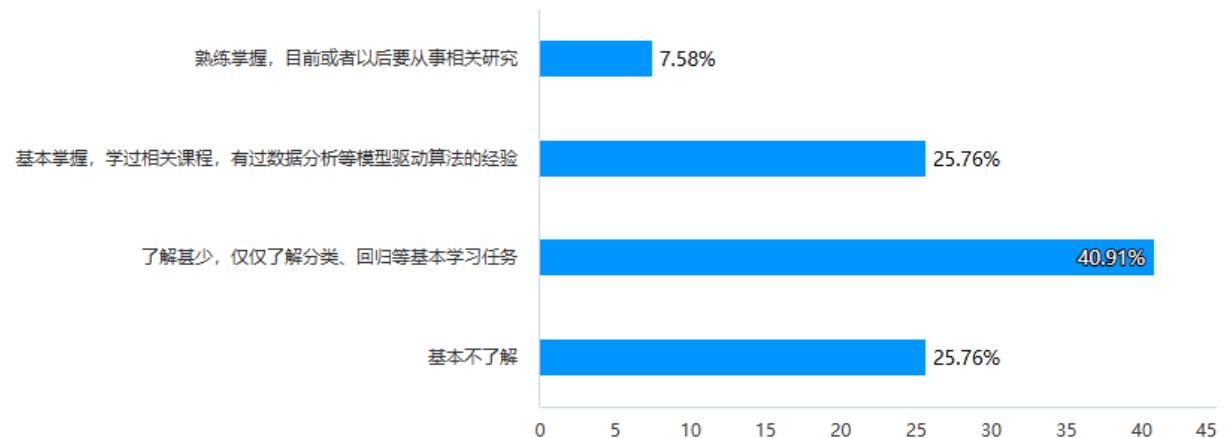
表格 饼状 圆环 柱状 条形 折线



数值 排序 放大 缩小 配色 打印 保存

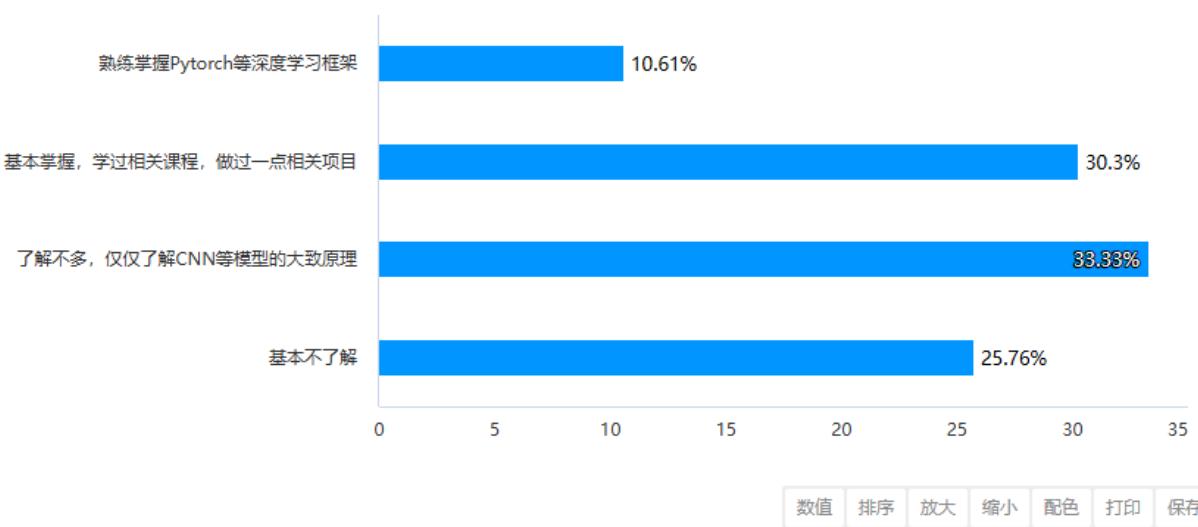
第2题：你在机器学习方面的基础是 [单选题]

表格 饼状 圆环 柱状 条形 折线



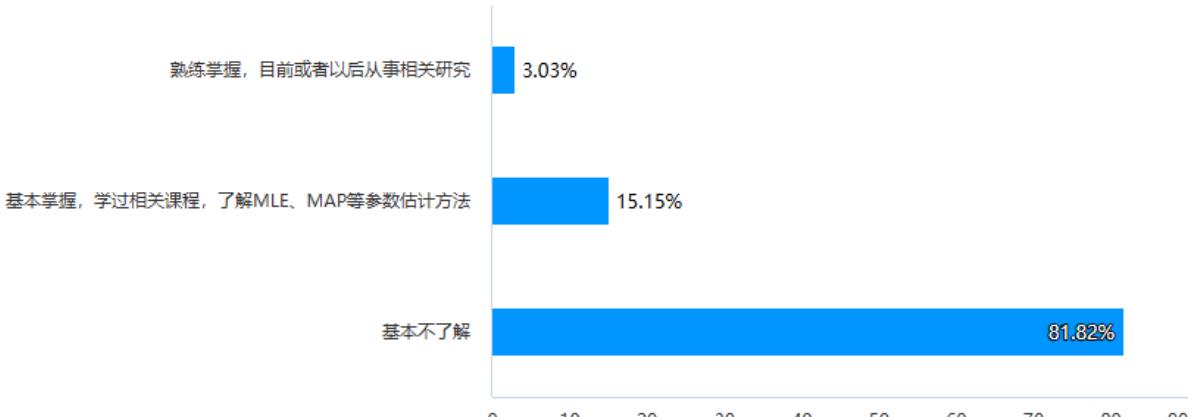
第3题：你在深度学习方向的基础是 [单选题]

表格 饼状 圆环 柱状 条形 折线



第4题：你在统计分析方向的基础是 [单选题]

表格 饼状 圆环 柱状 条形 折线

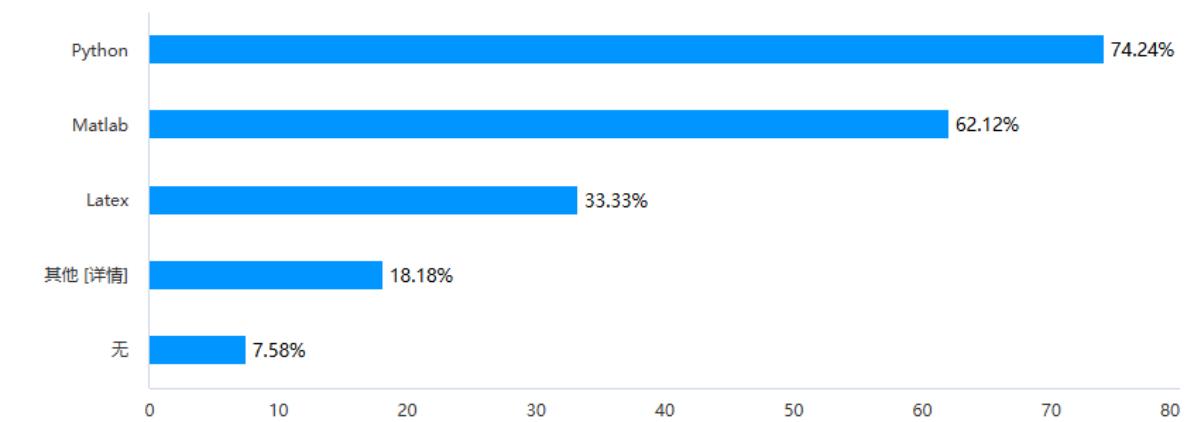


数值 排序 放大 缩小 配色 打印 保存

第5题：你在编程语言方面的基础是 [多选题]

[查看多选题百分比计算方法](#)

表格 饼状 圆环 柱状 条形 折线

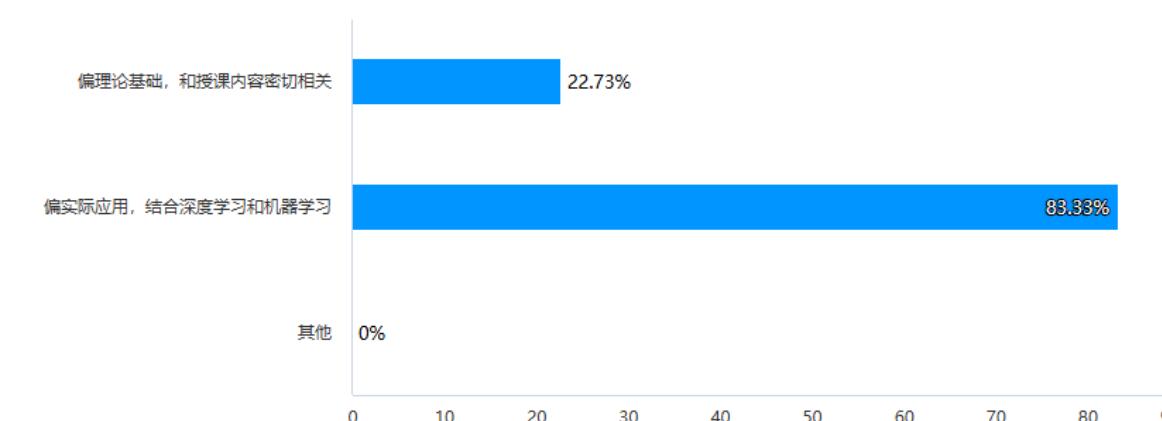


数值 排序 放大 缩小 配色 打印 保存

第6题：你希望的project内容是 [多选题]

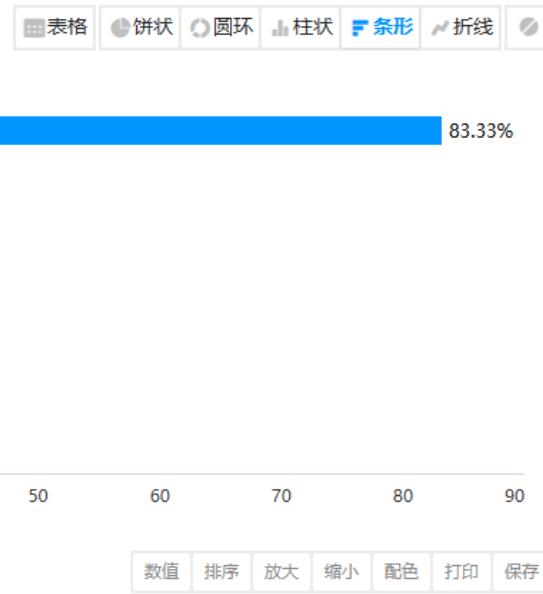
[查看多选题百分比计算方法](#)

表格 饼状 圆环 柱状 条形 折线

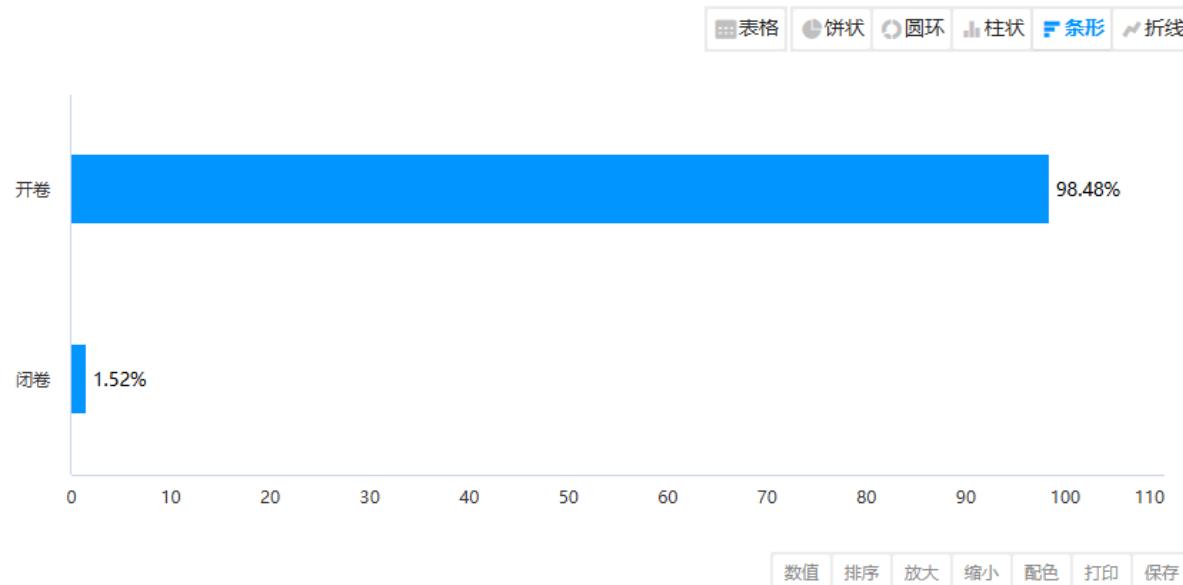


数值 排序 放大 缩小 配色 打印 保存

第7题：你希望的project个数是 [单选题]

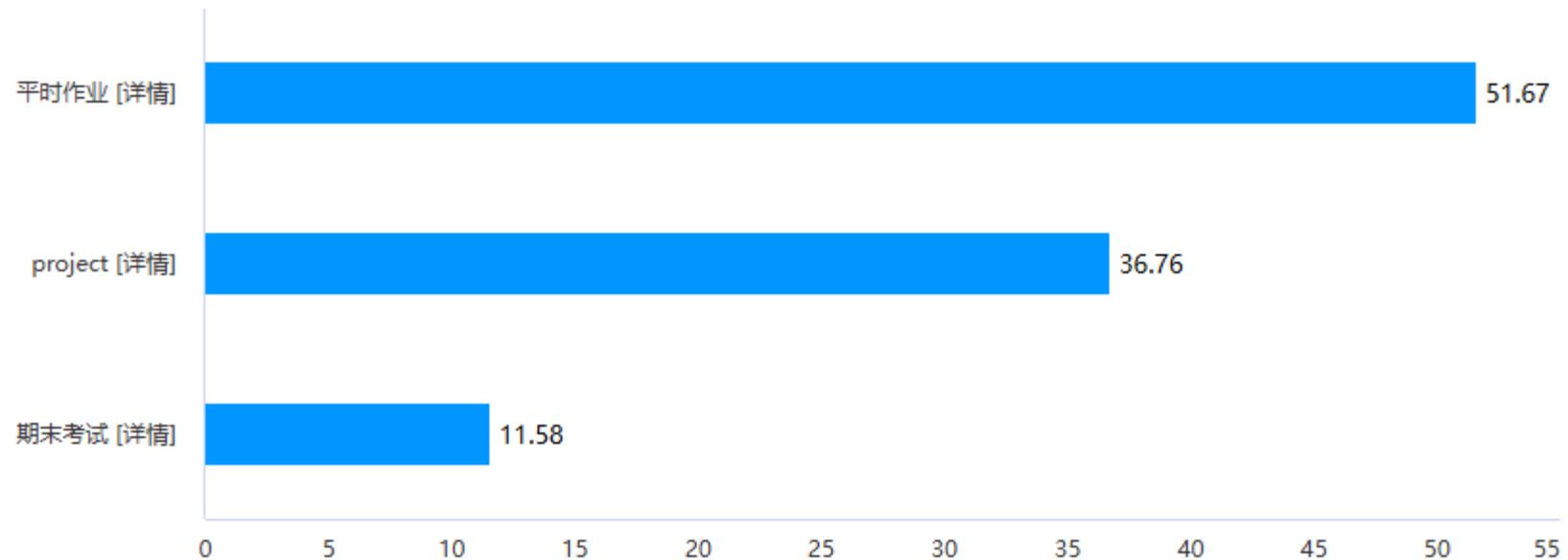


第8题：你希望的期末考试形式是 [单选题]



第9题：你希望的各项考核比重是 [比重题]

表格 饼状 圆环 柱状 条形 折线



排序 放大 缩小 配色 打印 保存

上一届分数分析

项目	平时成绩	作业	project1 + 2	期末考试	加权总分
分数占比	30	20	40	10	满分100
总分	100	100	100	100	满分100
上一届平均成绩	87.9	94.6	93.3	48.5	87.5
加权得分	26.37	18.92	37.32	4.85	

建议：

1. 上课会考quiz计算签到和quiz成绩，平时成绩包含这两样，占比30%，送分的，不来没分。
2. 作业都不难，都是课程习题要认真做，占比20%。
3. project属于团队任务要注明贡献比，可以在report中注明，防止成员摆烂。
4. 考试要复习之前做的习题，一般是对习题的延伸。

某位成绩较差的同学的成绩单

项目	平时成绩	作业	project1+2	期末考试	加权总分
分数占比	30	20	40	10	满分100
总分	100	100	100	100	满分100
成绩	62.5	95	85.6	14	73.39
加权得分	18.75	19	34	1.4	

突出特点：

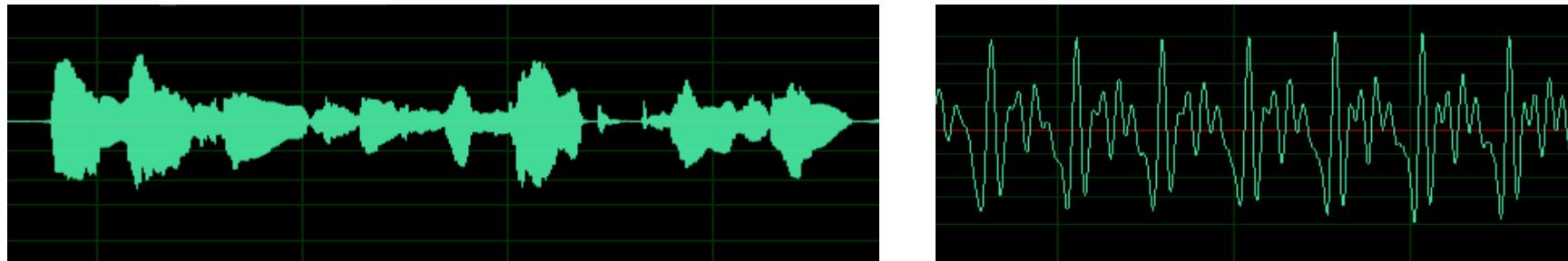
经常不来上课，quiz分和签到分极其低

期末成绩极低，平时不来上课，最后也没有复习

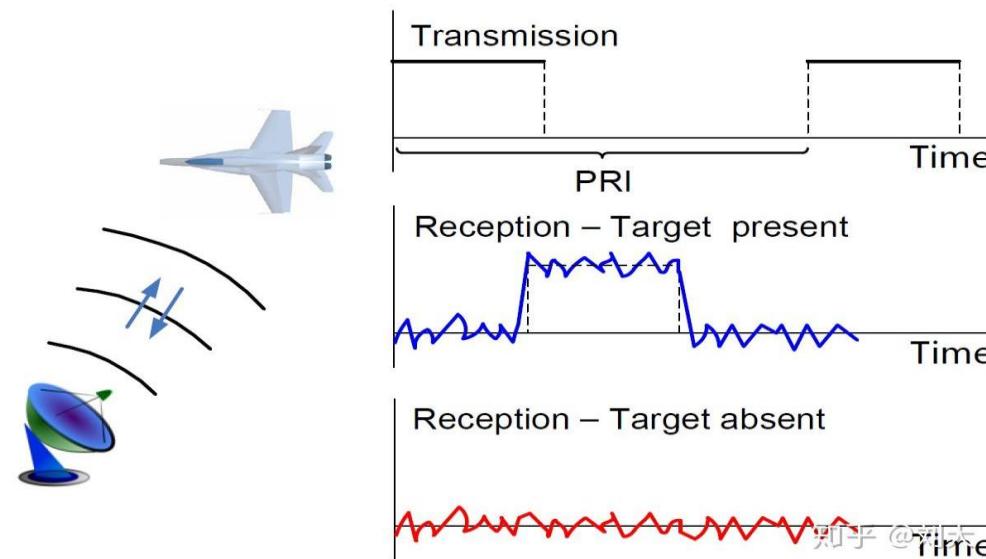
有事情一定要提前请假，不要最后统计分数时再来找助教

常见自然与工业信号

◦语音信号：时域波形（清音 / 浊音特征）、应用场景（语音识别）



◦雷达信号：脉冲波形、距离 / 速度检测原理简图



常见人体生理信号 (生物医学信号)

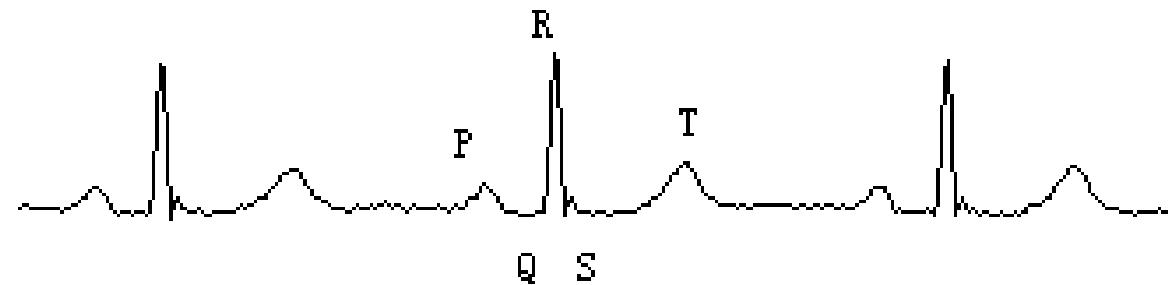
ECG(心电)

EEG(脑电)

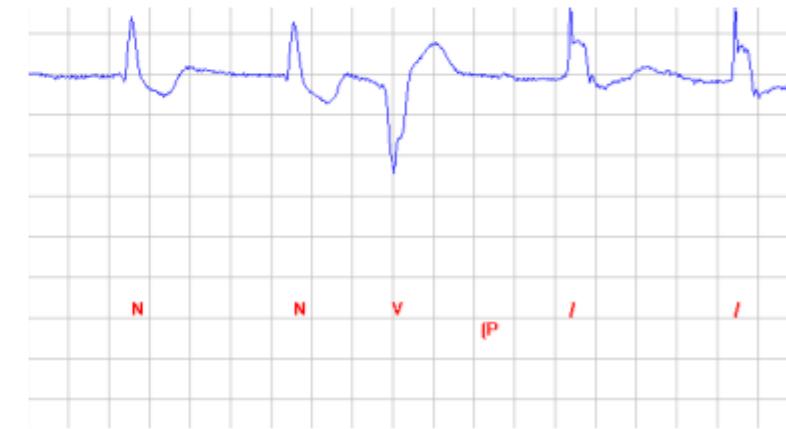
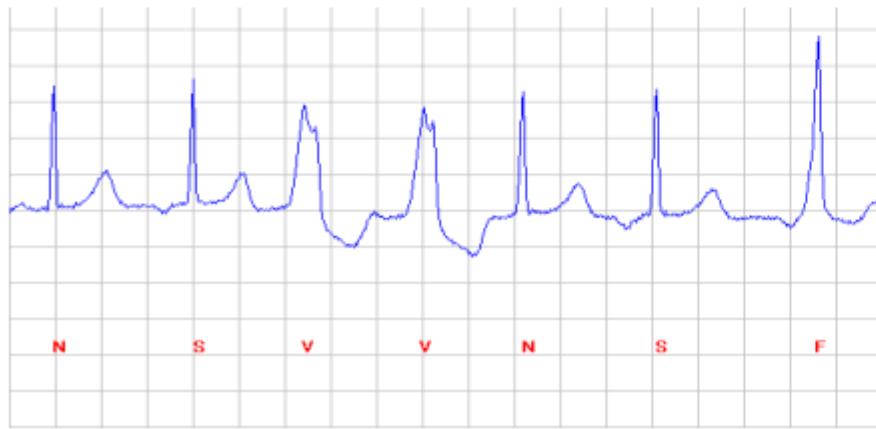
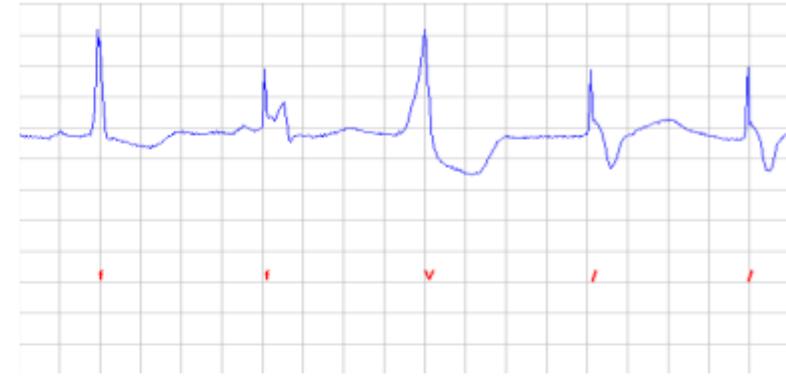
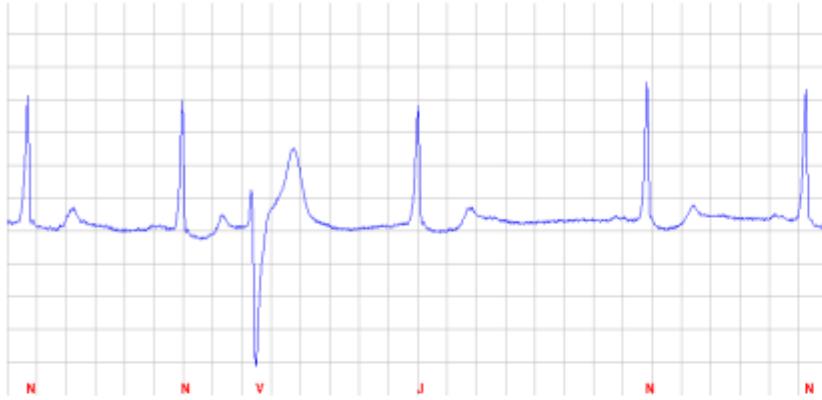
EOG(眼电)

EMG(肌电)

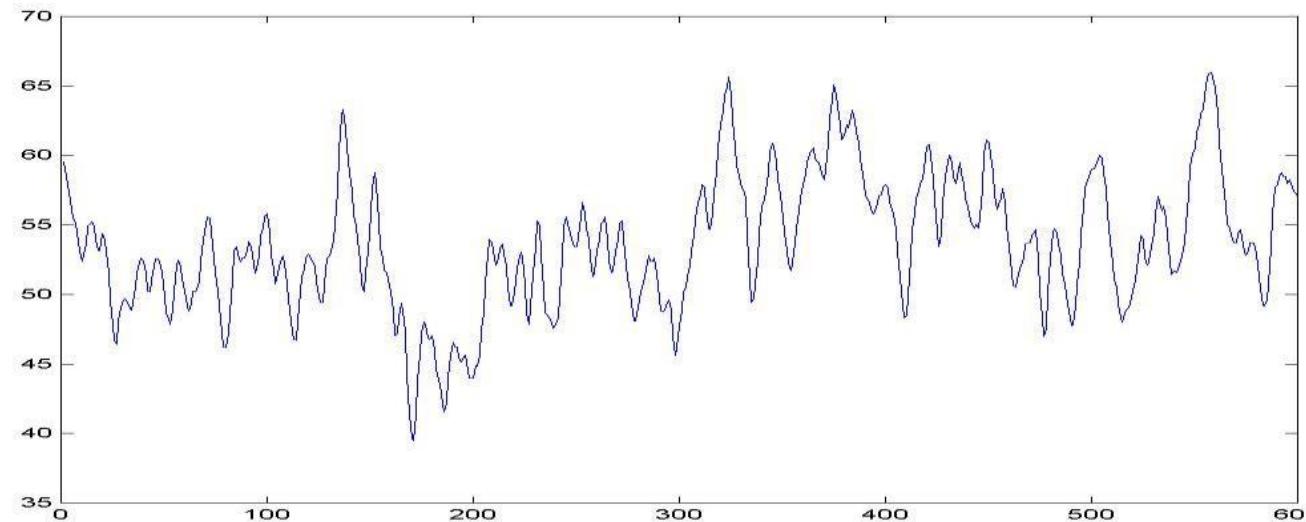
PCG(心音)



不同心脏病人心电图



脑电信号



胎儿心电信号

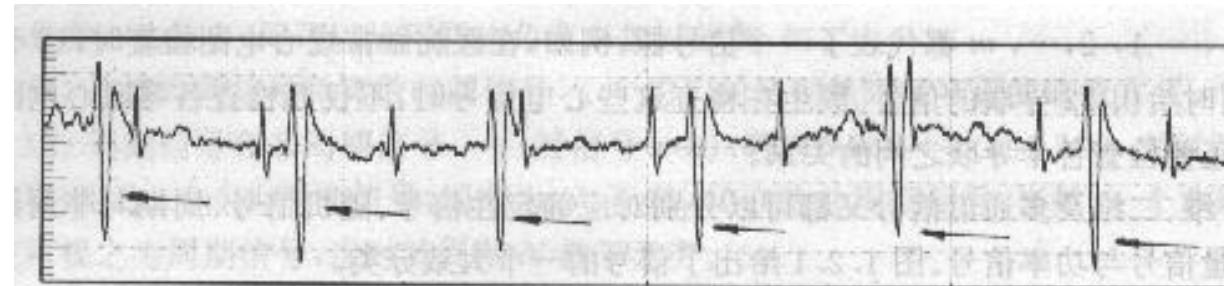
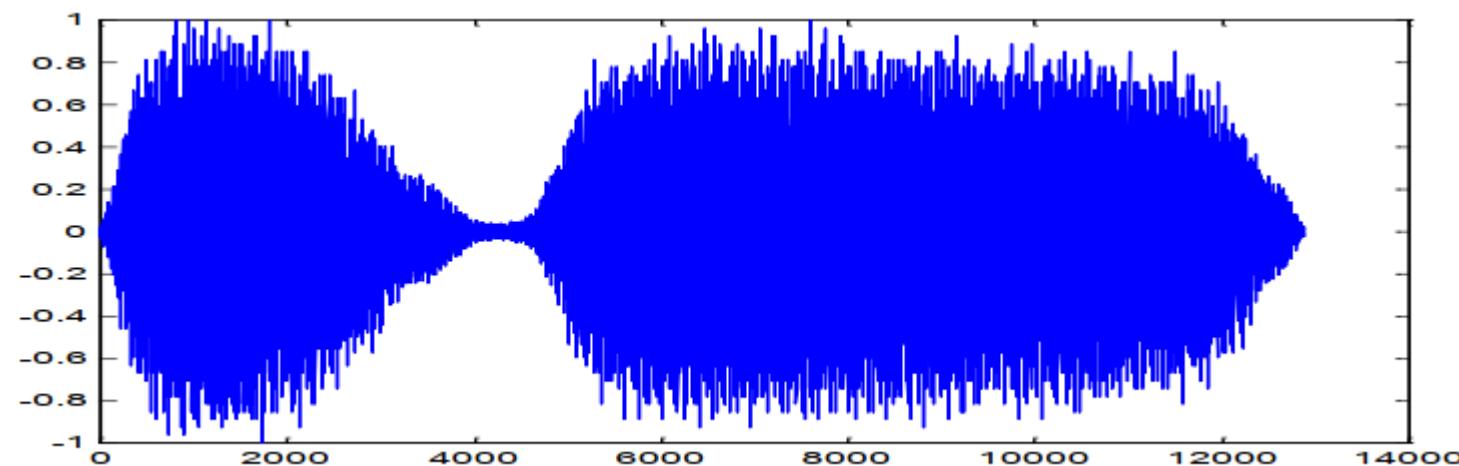


图 1.3.1 胎儿心电信号(图中箭头所指为 MECG)

火车鸣笛信号



二维信号：
视频信号：

$$f(x, y)$$

$$f(x, y; t)$$



传感器 (sensor)

作用：将非电信号转化为电信号。转化后的信号是连续时域模拟（Analog）信号，可以用 $x(t)$ 表示。模拟信号产生、处理和传输所使用的器件是：R, L, C, OP

通过把例如压力、速度、温度、声音、光线、质量等等这些非电学物理量，在经过敏感的元件处理后，转化成为可加以利用的例如电阻、电压、电流等电信号的一件器件，即为传感器。传感器的原理是测量变化之后，把所感受到的物理或化学信息，用具有某种规律的电信号来输出，从而实现显示、传输、记录、储存以及控制和处理各类信息，简单来说，就是实现了能量形式的转换，把各种非常微小的信号实现成为电信号转化的过程。在现代化社会中，传感器就像是一种用来感觉的器官，可以通过设备把人类感观表达出来，并可以自动检测及自动控制。

缺点：体积大，精度低，不灵活

传感器分类

按被测物理量分类

类型	测量对象	常见传感器
温度传感器	温度变化	热电偶、热敏电阻、红外传感器
压力传感器	压力或压强	应变片、压电传感器、MEMS压力传感器
光传感器	光强、颜色、距离	光电二极管、CCD/CMOS、ToF传感器
湿度传感器	空气湿度	电容式湿度传感器、电阻式湿度传感器
气体传感器	气体浓度（如CO ₂ 、烟雾）	电化学传感器、半导体气体传感器
加速度传感器	加速度、振动	MEMS加速度计（如手机陀螺仪）
生物传感器	生物信号（如血糖、心率）	葡萄糖传感器、心电图（ECG）传感器

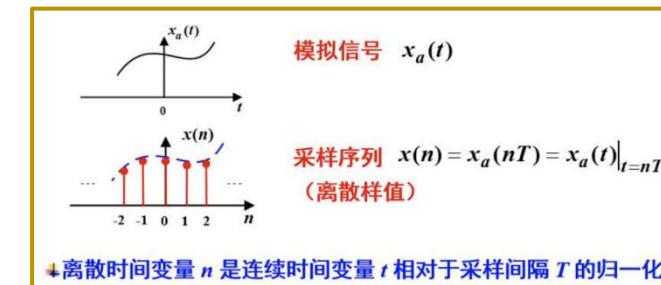
数字信号

$$x(nT_s) = x(t)|_{t=nT_s} \Rightarrow x(n) \quad n \in \mathbb{Z}$$

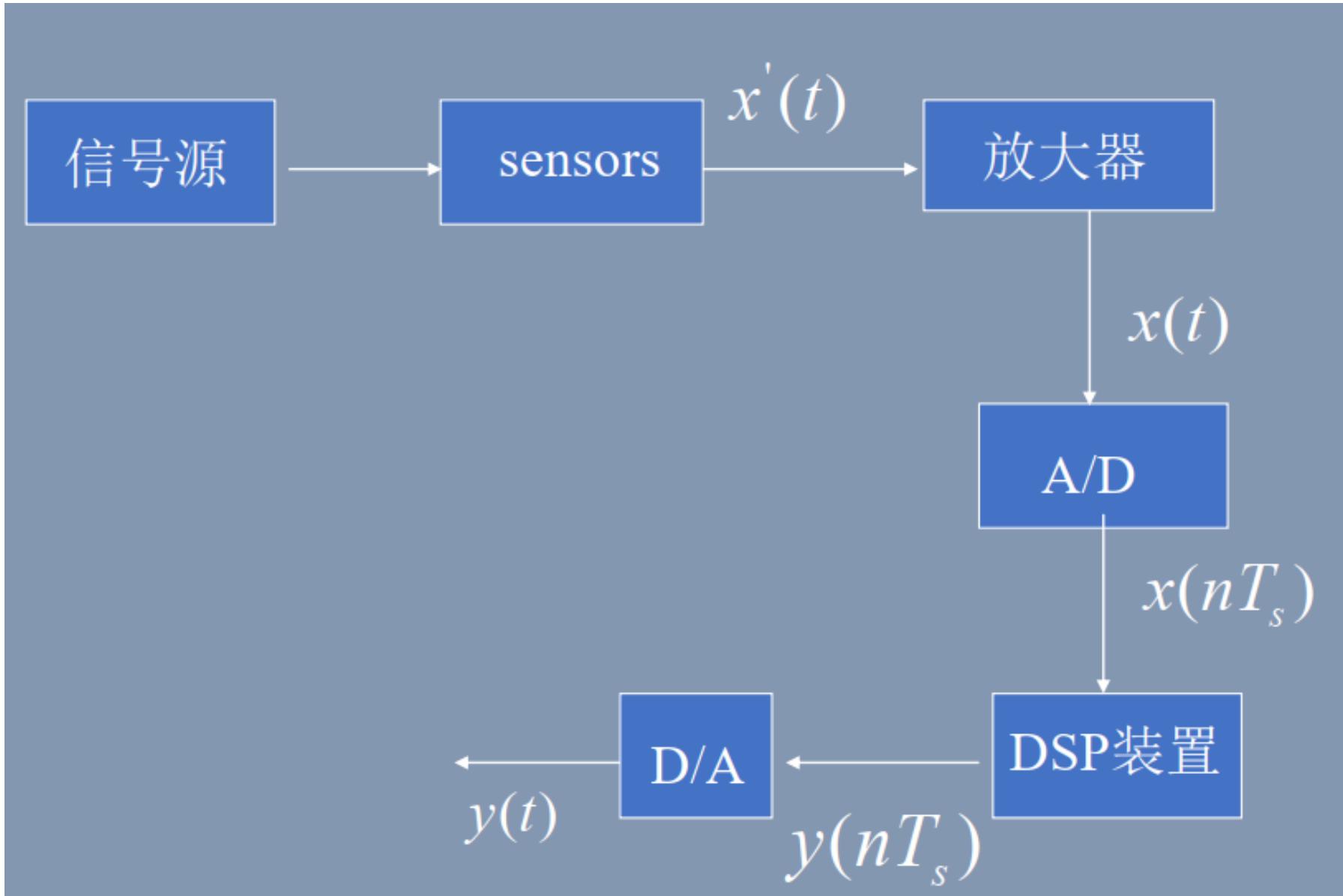
n : 所有整数 T_s : 抽样间隔, $f_s = 1/T_s$

f_s : 抽样频率 (Sampling Frequency)

归一化: $T_s=1, f_s=1$



流程图



A/D变换

自然界中的大部分信号都是模拟信号，比如通话语音，音频信号，雷达信号，声呐信号等等。

为了对这些模拟信号进行数字化处理，第一步是将模拟信号转换为数字信号。在数字信号处理中，这个转换过程称为[模数变换](#)，英文名字叫Analog-Digital，也就是A/D。实现A/D变换的器件称为[模数变换器](#)，Analog-Digital Converter，也就是ADC。

实现A/D变换主要包括三个步骤：采样、量化与编码。

1. 采样：模拟信号首先被等间隔地取样，信号在时间上不再连续，但是在幅度上仍然是连续的。经过采样处理之后，模拟信号变成了[离散时间信号](#)。
2. 量化：每个信号采样的幅度以某个最小数量单位 Δ 的整数倍来度量。信号不仅在时间上不再连续，在幅度上也不连续。经过量化处理之后，离散时间信号变成了数字信号。
3. 量化之后的信号已经变成了数字信号，但二进制字的表示方式很多。ADC需要根据精度、动态范围等多个角度选择所需要的二进制编码方式。

A/D芯片已高度集成化，将这些芯片配以一些必要的外围电路可做成不同的A/D板（又称数据采集板）。

将A/D板插入普通计算机（如PC）的扩展槽中，配以相应的软件即可实现信号的抽样。

A/D芯片有两个主要的参数，一是字长，二是转换速度。现在市售的A/D芯片的字长有8bit, 10bit, 12bit及14bit，字长越长，量化误差越小，自然，转换的精度就越高。转换速度决定了其A/D芯片的最大抽样速度，目前市售的A/D芯片的抽样速度可由几千赫至几百兆赫。当然，字长越长，速度越高，其售价也越贵，使用者应视实际需要选用。

DSP数字信号处理器详解

DSP的定义:

DSP (Digital Signal Processor) 是一种专门用于数字信号处理的微处理器，具有强大的数学运算能力和优化的指令集，能够实时处理各种数字信号。

DSP的基本作用:

- 信号处理：对模拟信号进行数字化处理
- 实时运算：高速执行复杂的数学运算
- 滤波处理：实现各种数字滤波器
- 频谱分析：进行频域分析和处理

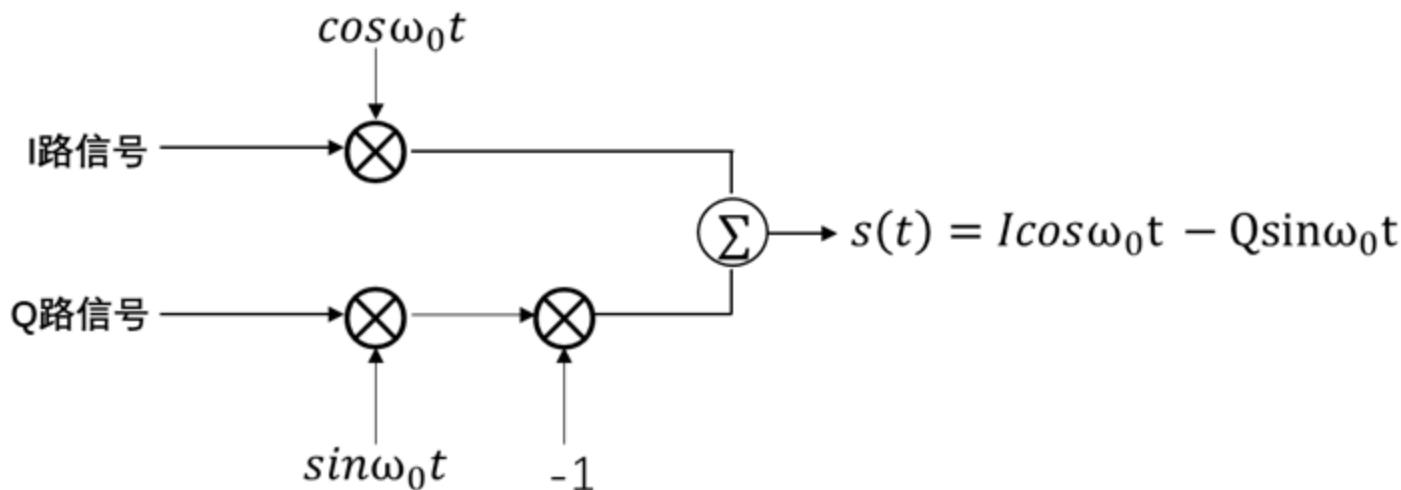
数字信号处理

以PC或专用DSP装置为硬件平台, 以数值分析为基本工具, 发展众多的信号处理算法, 实现信号自身的提取或是信号有用特征（幅度, 周期, 持续时间, 过零点个数, 上升时间, 下降时间, 自相关函数, 功率谱）的提取, 以达到认识信号, 利用信号的目的。

应用领域与前沿

1. 通信领域应用:

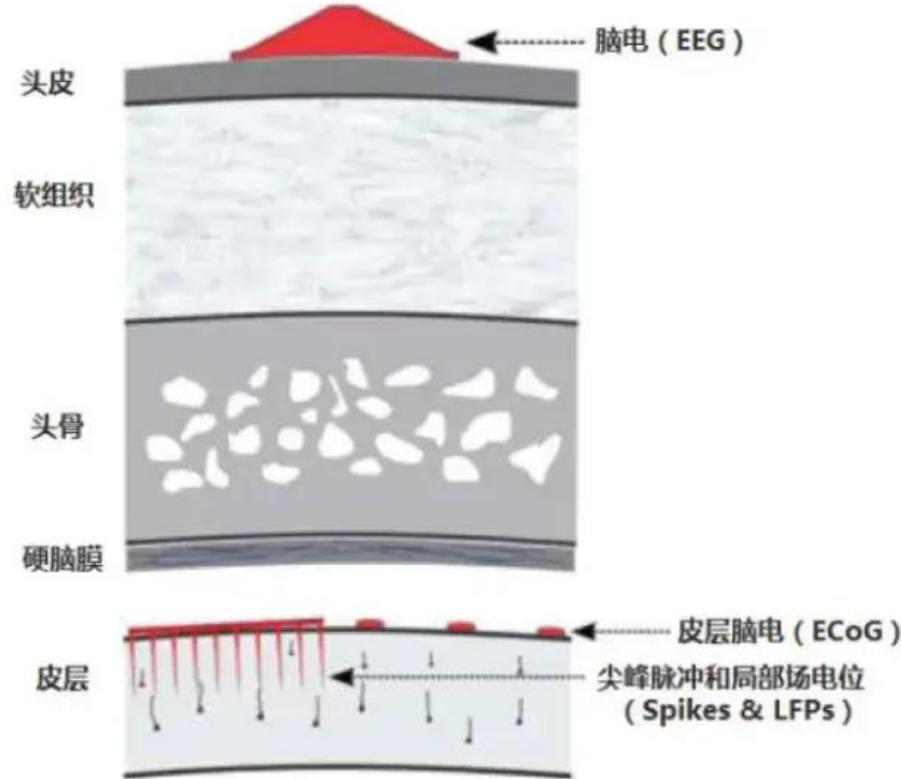
- 调制解调: 数字信号在无线通信中的频谱搬移 (IQ调制与解调)
- 信道均衡: 对抗多径效应的自适应滤波算法



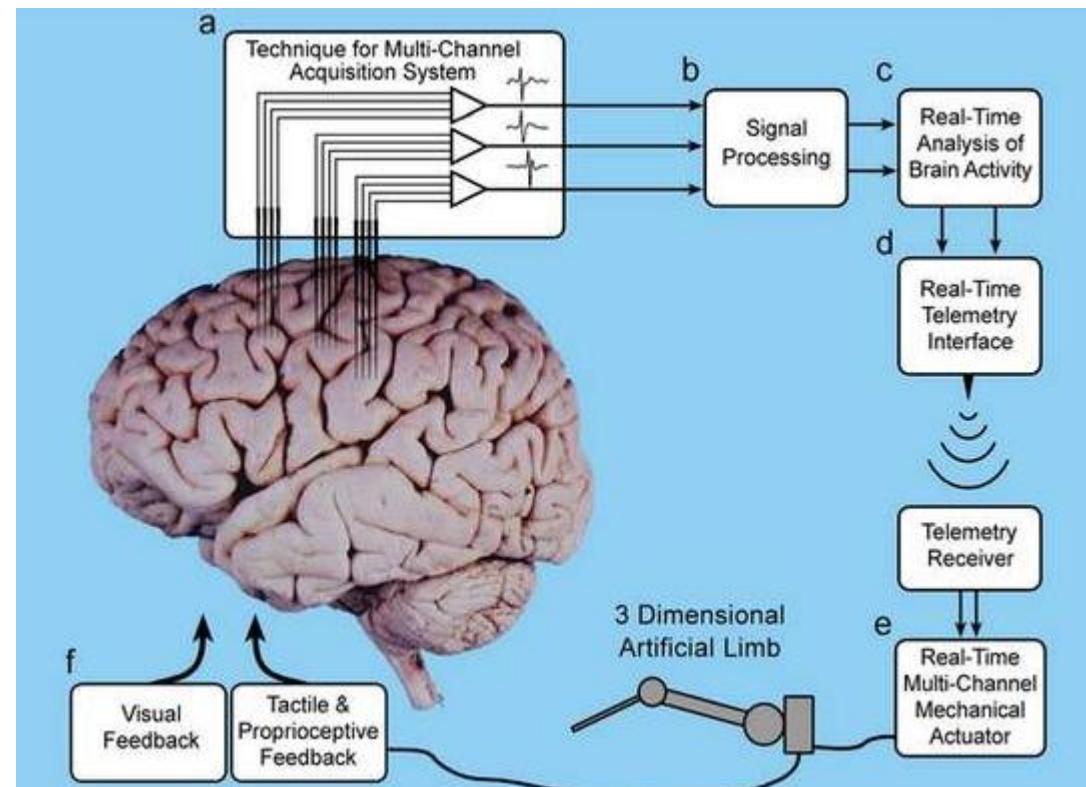
应用领域与前沿

2. 生物医学信号处理 - 脑机接口（BCI）

◦ 脑机接口系统组成图：



◦ 基于 EEG 的脑机接口实验图：



应用领域与前沿

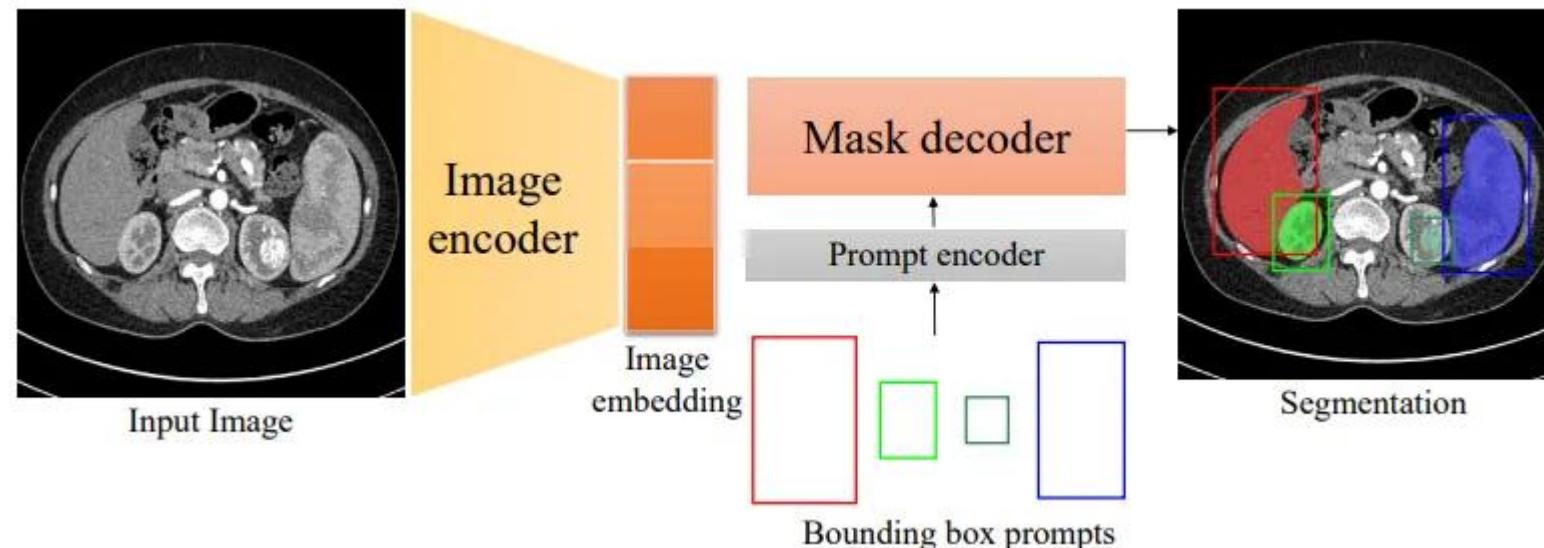
3. 深度学习在音频信号处理中的应用

- 语音识别：准确提取特征和模式识别，将语音转文本，应用于智能语音助手、输入法，提高准确率和响应速度。
- 语音合成：根据文本生成自然流畅语音，学习韵律、语调，应用于有声读物、智能客服。
- 音频分类、情感分析：根据语音特征判断情感（高兴、悲伤等）
- 音频增强与降噪：学习噪声特征，提取纯净语音，提升通信通话清晰度。

应用领域与前沿

3. 深度学习在音频信号处理中的应用

- 图像分类与目标检测：准确分类大量图像，应用于图像搜索引擎方便检索。
定位识别图像中目标，应用于安防监控监测人员、车辆活动。
- 图像分割与语义理解：精确划分图像区域，应用于医学影像分析辅助医生分割病变区域。



深度学习在信号处理中的优势

- 自动学习复杂特征，减少人工工作量和主观性，提高效率和准确性（CNN 自动学习图像边缘、纹理）
- 强大非线性建模能力，适应高维、非线性、复杂数据
- 经大量数据训练，泛化能力好，在不同数据集和场景表现佳

一. 数字信号处理的任务

任务： 从信号中提取出所需要的信息，并将其用于实际。

例：

心电监护仪：
内含CPU



用于危重病房（intensive care unit, ICU）的心电自动监护仪的作用是监护病人的心电状态（同时也包括其他生理参数，如血压、呼吸等），它应能实时地显示和存储病人的心电波形，并根据心电图的异常来自动决定是否给出报警。

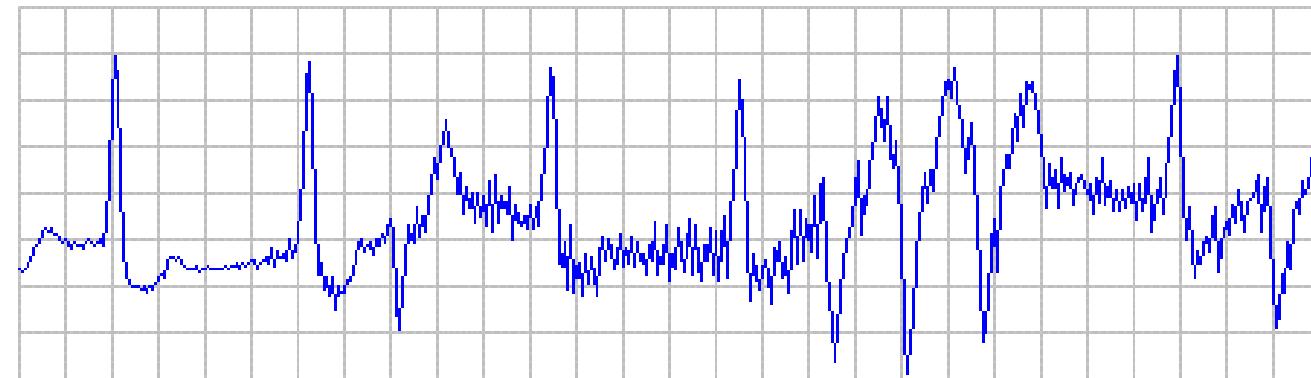
一个实际的心电监护仪由心电放大器、A/D 转换器、CPU、显示单元、存储单元、系统管理软件和心电信号处理软件所组成。

心电处理软件的功能：

- (1) 在CPU的控制下实现心电信号的采集、显示和存储；

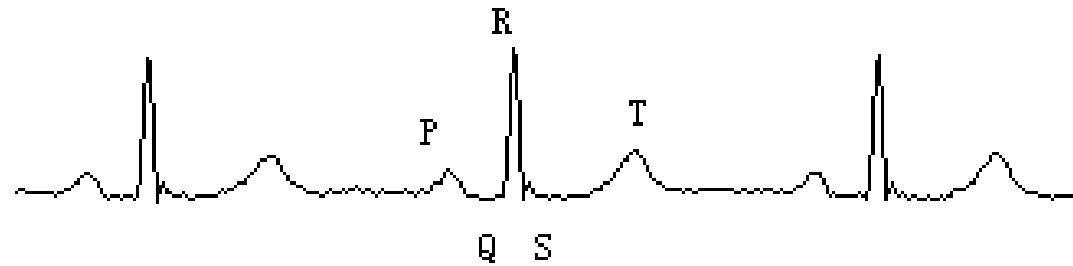
(2) 去除噪声:

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。



带有高频噪声及病态失真的心电信号

(3) 波形检测 (参数提取) :



- R波检测：要求 $>99\%$ ；
- P波检测，T波检测：幅度特别低， $>90\%$ ；
- P-Q间期测量；S-T段形态检测；
- QRS宽度检测

(4) 病类判别：根据检测出的参数、心脏疾病的原理和医生的临床经验，建立起各种心律异常的数学模型并对心电信号做出判别，决定是否异常，如异常，又属于哪一类异常。这一工作即是信号处理的应用。

以上内容虽然属于生物医学工程学科的范畴，但从中可以看出数字信号处理的内容和任务。其他学科的信号处理过程和该问题类似，即大体上也包含了去噪、特征检测（或提取）和应用于实际这三个方面。