



信号处理基础

信号分析

以连续信号分析为例

时域法分析



直观分析方法，但不深刻

频域法分析



周期信号，满足狄利赫里条件，直接求频域

非周期信号、奇异信号，用极限思维实现FT

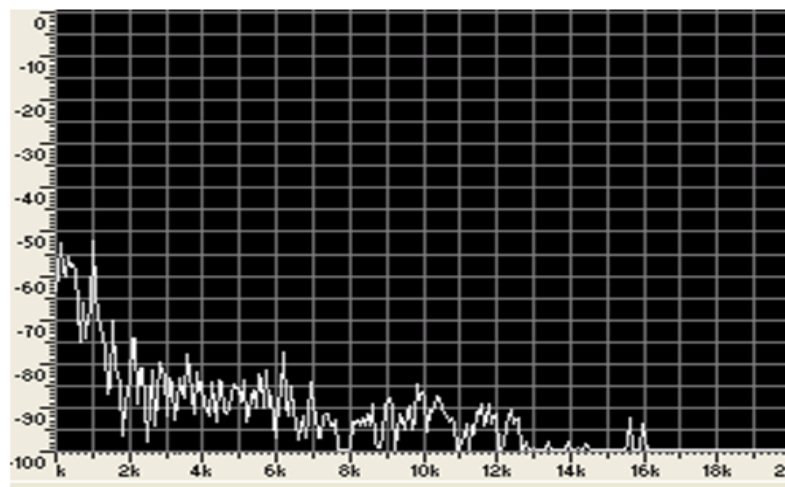
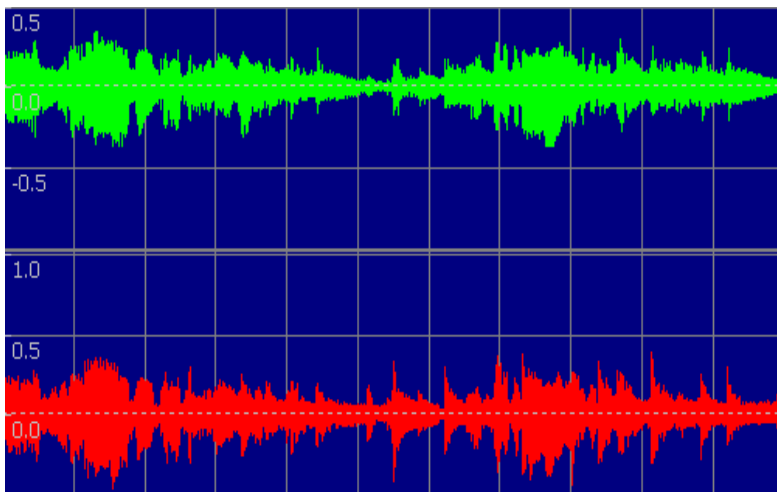
复频域分析



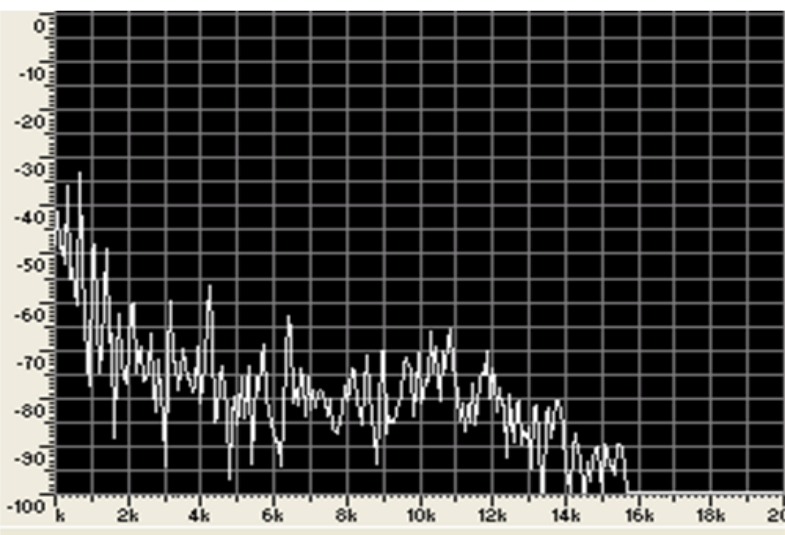
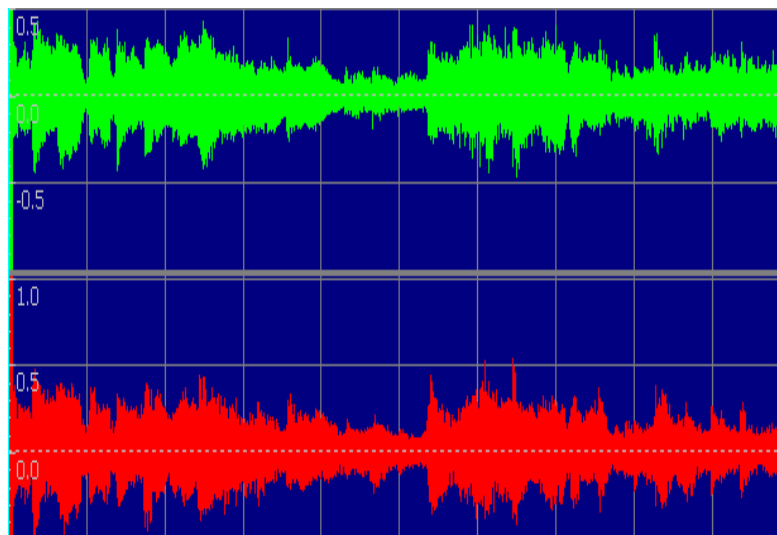
指数信号、功率非周期信号，用衰减满足可积实现FT

相比时域特性，频域更能反映信号特征

声音信号



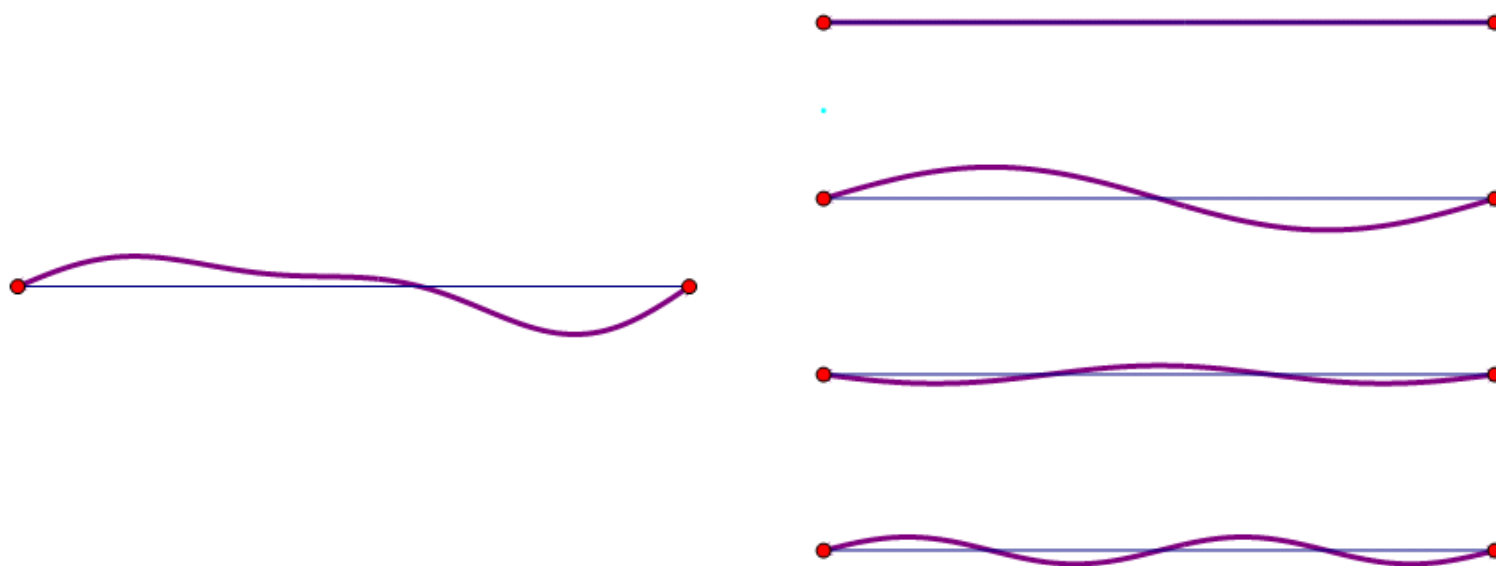
男声 🗣️



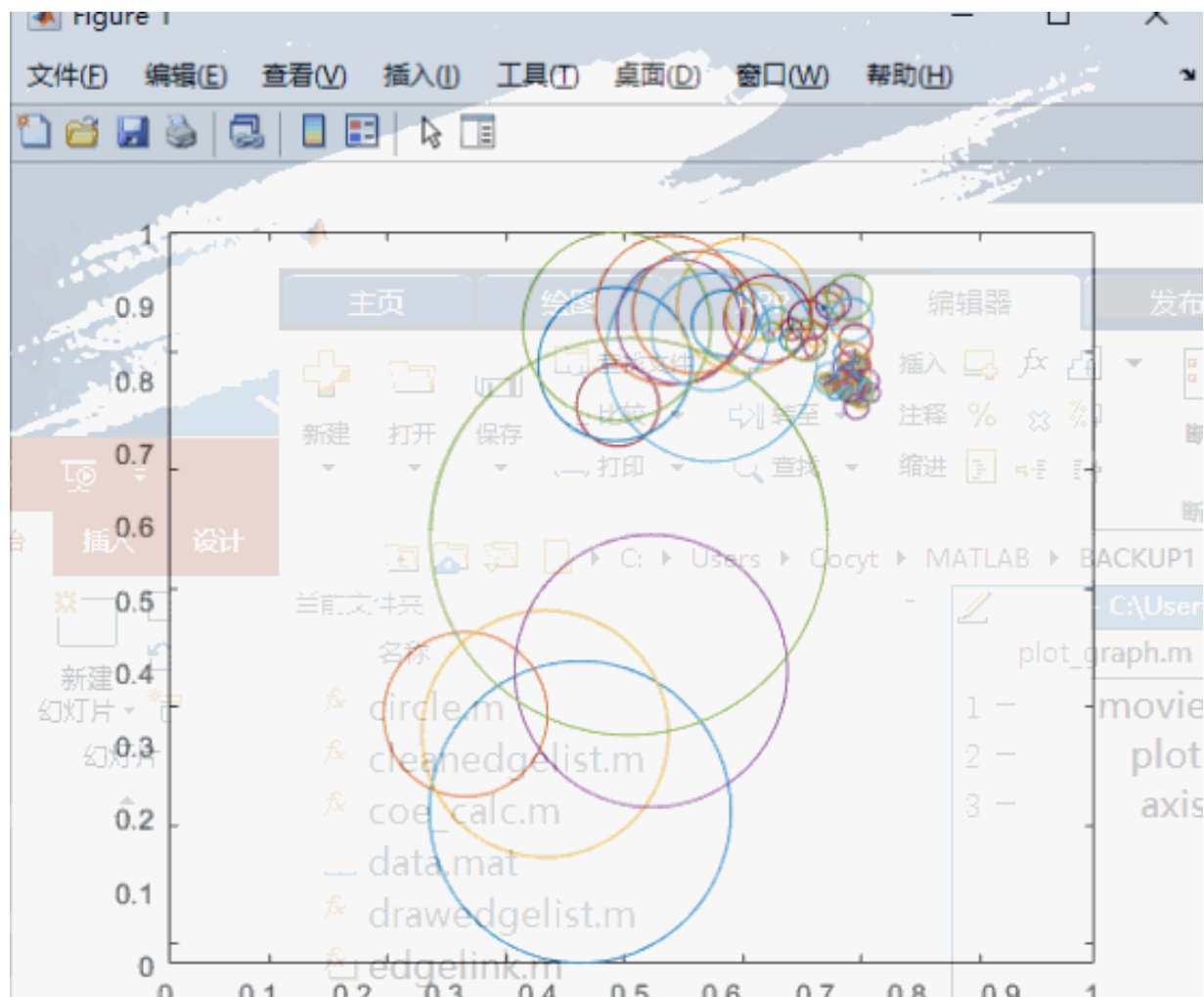
女声 🗣️

一根绳子的运动可分解成一系列三角函数的叠加

频域实现对无规律波动信号的本质分析



复杂信号的傅里叶级数表达



不同频率组合实现复杂图像的绘制

方波分解的时域和频率理解



频域让信号分析更直观更深入

信号分析

时域法分析

频域法分析

复频域分析



横看成林侧成峰，远近高低各不同。

信号处理

时域法分析

频域法分析

复频域分析

忽如一夜春风来，千树万树梨花开



本章大纲

• 系统及其性质

• 系统的描述



一般的，系统的研究往往注重信号加工处理中反映的属性变化，而较少关注具体物理组成，从而我们可以对系统进行抽象化，用能表达信号加工或变换关系的数学式子来描述系统，就是系统的数学模型。

• 系统的性质



系统的数学模型的不同，决定了系统具有不同的属性性质，据此可以实现系统的分类。

• 信号的线性系统处理

• 时域法分析

• 频域法分析



当信号的处理过程是由一个线性时不变系统完成，可以用时域和频域分析法获得信号通过处理系统后的响应及其特性。

• 复频域分析



与频域分析中信号具有明确的物理意义不同，复频域分析的物理意义不清晰，然而可以方便的求取信号的响应及系统定性分析。

本节内容

一、系统及其性质

- **系统的描述**
- **系统的性质**
 - 记忆性，瞬时系统和动态系统
 - 因果性，因果系统和非因果系统
 - 可逆性，可逆系统
 - 稳定性
 - 时不变性，时变系统与时不变系统
 - 线性，线性系统，增量线性系统

(一) 系统的描述

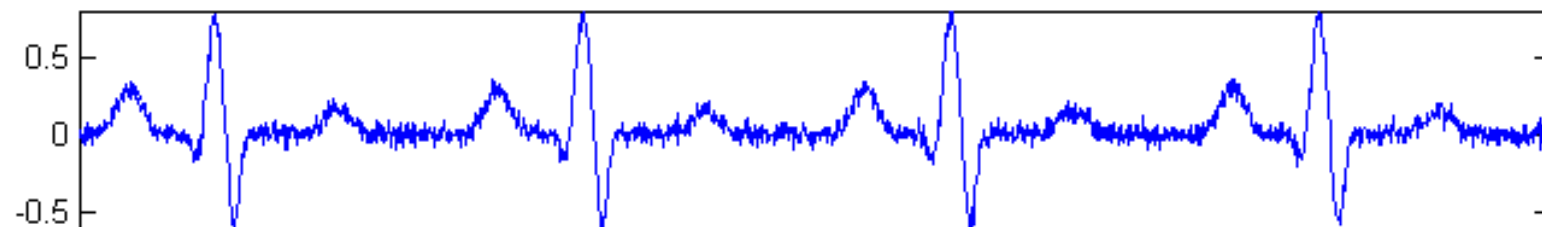
1、信号处理系统的概念

- 把为了达到传输和利用信息的目的而对信号进行处理的器件、装置、设备及其组合称为系统，如手机话筒放大器、滤波器等
- 把施加于系统的信号称为系统的输入信号，由此产生出来的信号称为系统的输出信号



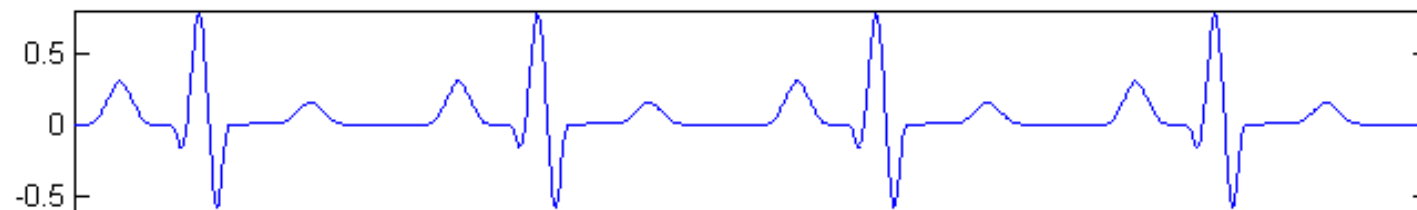
语音信号处理系统

输入信号



低通滤波器

输出信号



车牌识别系统

车牌图像



识别系统



车牌字符

边缘检测

纹理分析

区域聚类

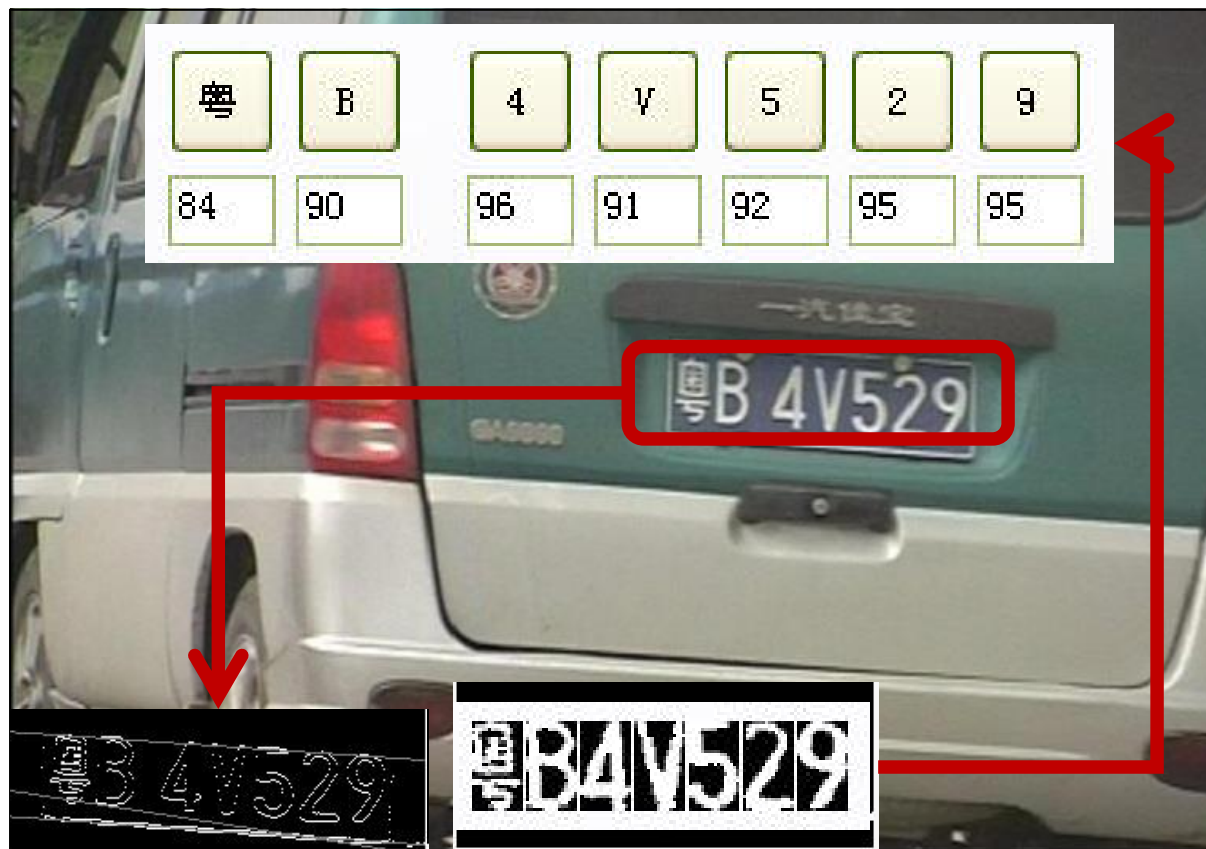
候选区域

二值化

倾斜校正

字符分割

字符识别



位移



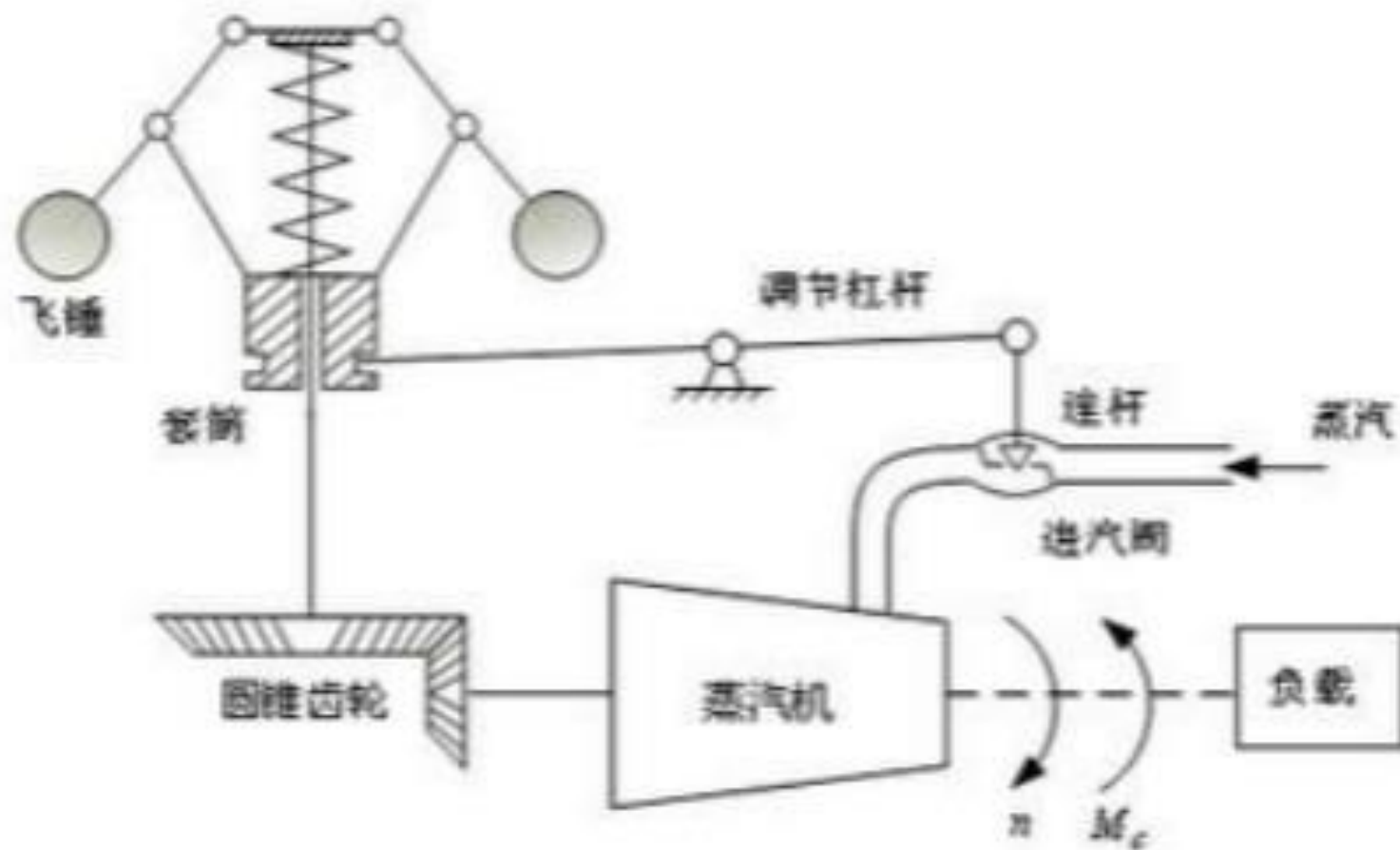
蒸汽机的飞轮调速器



转速



进气阀的开关量—蒸汽机的转速



位移 → 蒸汽机的飞轮调速器 → 转速

鱼雷的航向控制器



声呐信号

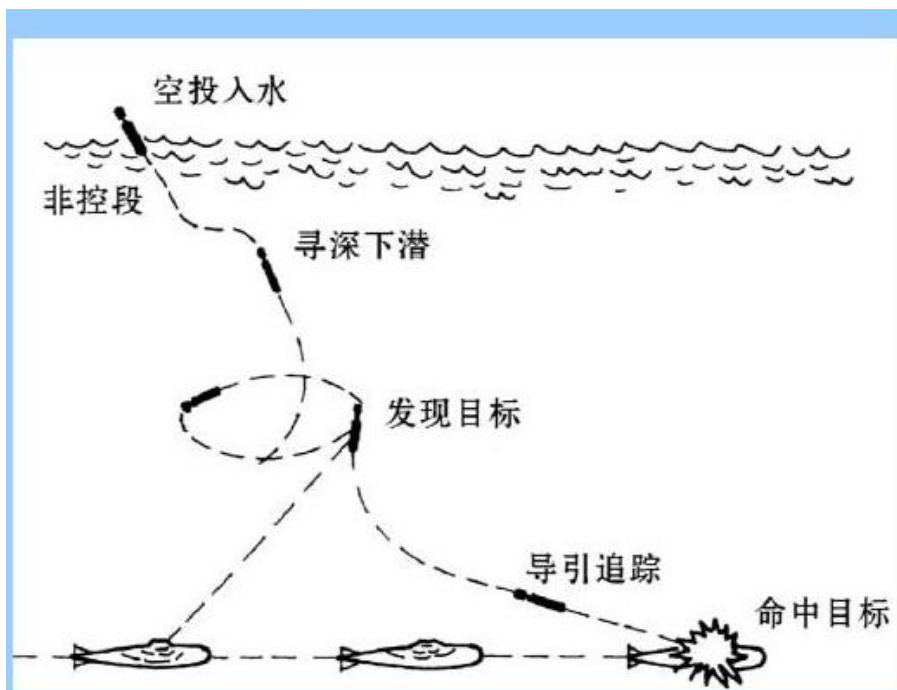


鱼雷的航向控制器



速度信号

声呐信号—潜艇的目标位置追踪



空投反潜鱼雷弹道示意图



中国深空探测计划-天问一号火星探测器登陆火星

图像
信号



登陆控
制系统



速度
信号



1950s-1960s 美国学者卡尔曼提出了卡尔曼滤波器（GPS定位项目）

速度信号



卡尔曼滤波器



位置信号



您有客人从海外过来，您需要去机场接他们。



1970s 计算机控制航天飞机的轨道

切换
曲线



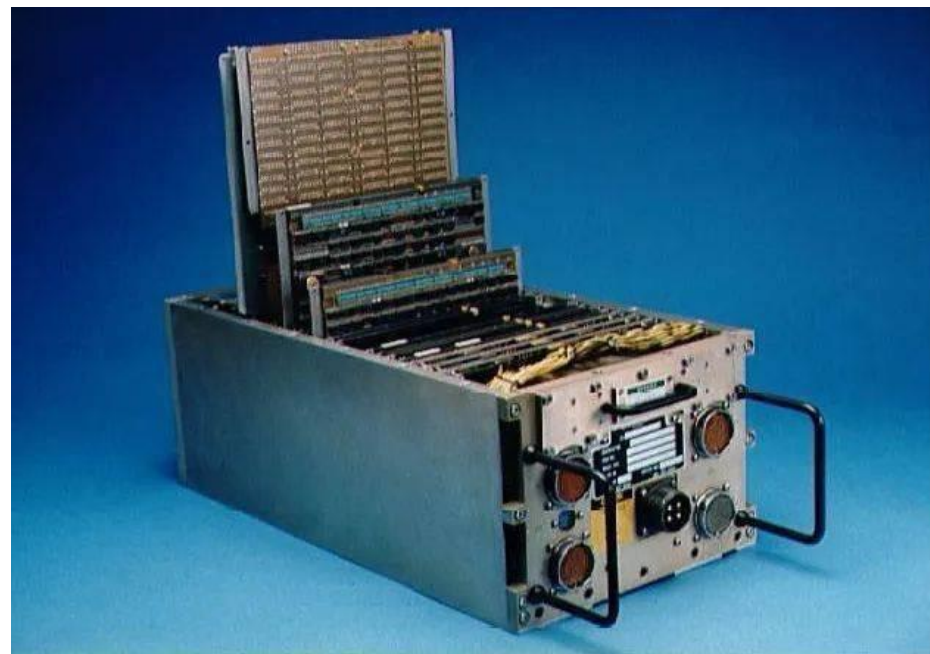
轨道飞行
控制系统



正负点火
指令信号

航天飞船装备着包括两部不同的数字自动驾驶仪的精密控制系统,其中一部驾驶仪专用以控制飞船在轨道上的上升和下降动作,另一部则控制飞船在轨道上的正常飞行。

控制和数控处理功能由五部相同的IBMAP-101计算机完成。轨道飞行控制系统用状态估计和开关控制等各种现代控制原理构成控制规律。例如,反应控制系统依靠在每个转轴上的相平面中预先规划好的切换曲线来控制推进器的正负点火指令。这一设计需要广泛研究飞行体和变动负载间所有可能的不利的动态反应。作为预防故障的手段,要设计能对转动率的极值、推进器的冲力强度给予限制的装备。除此之外,还备有一个更新试验驾驶仪,它具有一个用以选择发动机喷射器的与线性规划算法相结合的三维相空间控制规律。这个自动驾驶仪经飞行试验证明,它对飞船动态变化有很强的适应性。



1980s 药物代谢过程的非线性控制

激素
曲线



药物代谢
系统



给药速
率信号

治疗脑水肿和恶性脑瘤的方法是同时使用加压素和皮质酮两种药。

由于人体系统调节这些激素的高度非线性特性,服用这些药的相对速率是非常重要的。法国研究人员把这一问题当作是一个 2×2 非线性多变量控制问题,并基于李代数方法采用了非线性去耦和反馈线性化手段,成功地解决了给药速率控制问题。



机身
气流
信号



自动驾驶
控制系统



螺旋桨
转速

1980s 直升飞机的精确控制

NASA爱密斯实验室研制成的Feitenins直升飞机自动驾驶仪控制系统。这种直升飞机的飞行动力学由12个非线性常微分方程描绘。

直到20世纪80年代早期几何控制理论数学家建立了非线性反馈存在的充分和必要条件,由此形成了一个**与典范型线性能控系统微同胚的闭环系统**, NASA研究人员利用这一发展,以一定精度实现了直升飞机系统满足线性化反馈的条件,因而可以用一个恰当的非线性控制规律进行控制,得到成功。



2、系统与信号的关系-相互依存

(1) 系统属性决定了信号属性：任何系统都接受输入信号，产生输出信号，系统的特定功能就体现在系统接受一定输入信号情况下产生什么样的输出信号

(2) 信号变化离不开处理系统：任何信号的改变（包括物理形态以及所包含的信息内容）都是通过某种系统实现的，系统是信号处理的工具

3、系统的数学模型

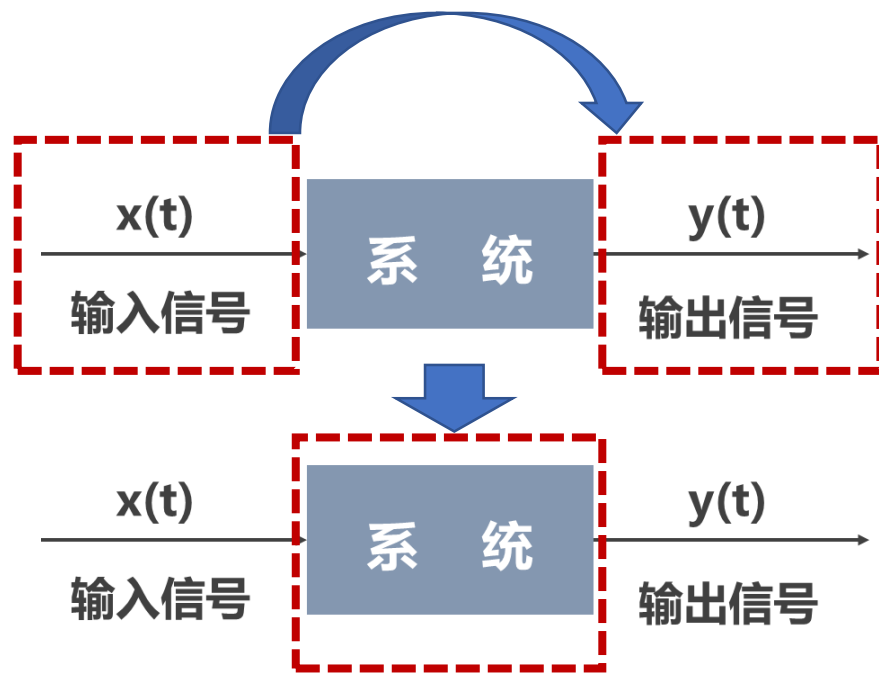
- 系统数学模型的定义

- 一般的，系统的研究往往注重信号加工处理中反映的**属性变化**，而较少关注具体物理组成，从而我们可以对系统进行抽象化，用能表达信号加工或变换关系的数学式子来描述系统，就是系统的数学模型。



- 系统数学模型分类

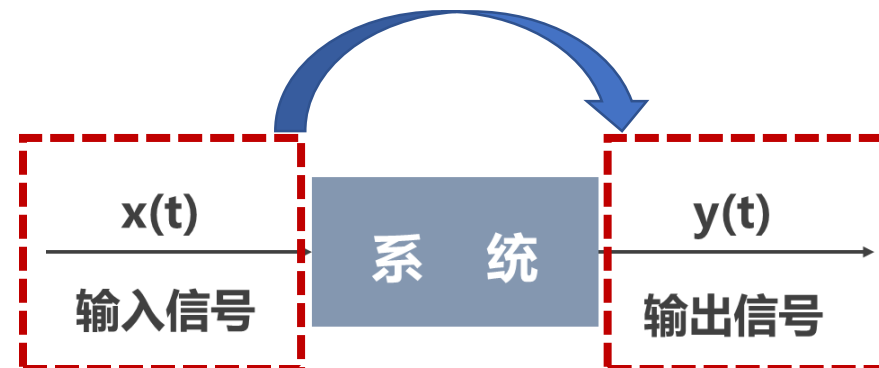
- 输入输出模型：只反映**系统输入和输出之间的关系**，或者说只反映**系统的外特性**，称为输入输出模型，通常由输入输出方程描述；**适用于SISO简单系统**
- 状态空间模型：不仅反映系统的外特性，而且更着重**反映系统的内部状态**，称之为状态空间模型，通常由状态方程和输出方程描述，**适用于MIMO或非线性系统**



4、系统的研究方法

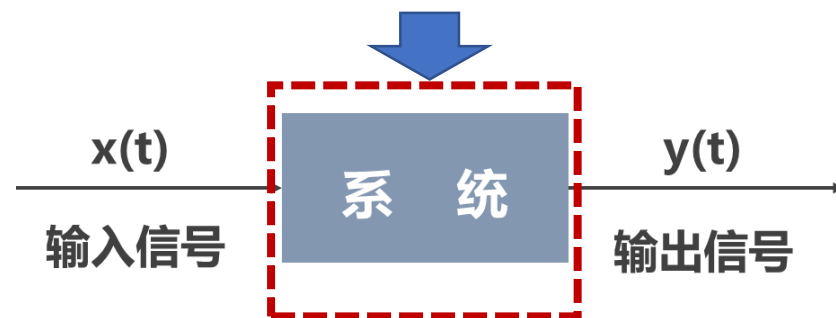
- 系统分析

- 在给定系统情况下，研究系统对输入信号所产生的响应，并由此获得对系统功能和特性的认识



- 系统综合

- 已知系统的输入信号及对输出信号要求的情况下，通过调整系统中可变动部分的结构和参数，以保证所要求的输出信号



5、系统的分类

- 连续时间系统与离散时间系统

- 如果系统的输入输出信号，或者系统的所有状态变量都是连续时间信号，则为**连续时间系统**。通常用微分方程或**连续时间状态方程**描述
- 如果系统的输入输出信号，或者系统的所有状态变量都是离散时间信号，则为**离散时间系统**。通常用差分方程或**离散时间状态方程**描述

- 单输入、单输出系统和多输入、多输出系统

- 如果系统只有一个输入信号，也只有一个输出信号，则为**单输入单输出系统**
- 如果一个系统有多个输入信号和（或）多个输出信号，就称为**多输入多输出系统**

(二) 系统的性质

- **记忆性**，瞬时系统和动态系统
- **因果性**，因果系统和非因果系统
- **可逆性**，可逆系统
- **稳定性**
- **时不变性**，时变系统与时不变系统
- **线性**，线性系统，增量线性系统

系统及其性质

1、记忆性，瞬时系统和动态系统

- 对任意的输入信号，如果每一时刻系统的输出信号值仅仅取决于该时刻的输入信号值，而与别的时刻值无关，称该系统具有**无记忆性**，否则，该系统为**有记忆的**
- 无记忆的系统称为**无记忆系统或瞬时系统**，通常由代数方程描述。如：电阻此刻端电压=此刻电流值 $\times R$
- 有记忆的系统称为**记忆系统或动态系统**，通常可用微分方程或差分方程描述。如：电容此刻端电压=此刻之前所有时刻电流的累积效应

系统及其性质

2、因果性

因果系统和非因果系统

现实世界中只存在因果系统。但非因果系统在非真实时间系统和在具有处理延时（输出信号有一定的附加延时）系统中仍具有实际意义。

- 对于任意的输入信号，如果系统在任何时刻的输出值，只取决于该时刻和该时刻以前的输入值，而与将来时刻的输入值无关，就称该系统具有因果性；否则，如果某个时刻的输出值还与将来时刻的输入值有关，则为非因果的
- 具有因果性的系统为因果系统，具有非因果性的系统为非因果系统

系统及其性质

3、可逆性与可逆系统

- 如果一个系统对不同的输入信号产生不同的输出信号，即系统的输入输出信号成一一对应的关系，则称该系统是可逆的，或称为**可逆系统**，否则就是**不可逆系统**

对于许多信号处理问题，最后都希望能从被处理或变换后的信号中恢复出原信号。其次，逆系统在自动控制系统中也有重要的应用。

系统及其性质

4、稳定性

稳定的系统才是有意义的，
不稳定的系统难以被实际应
用

- 如果一个系统对其有界的输入信号的响应也是有界的，则该系统具有稳定性，或称该系统是**稳定系统**
- 如果对有界输入产生的输出不是有界的，则是**不稳定的系统**

系统及其性质

5、时不变性，时变系统与时不变系统

- 定义：

- 对于一个系统，如果其输入信号在时间上有一个任意的平移，导致输出信号仅在时间上产生一个相同的平移，则该系统具有**时不变性**，或称系统为**时不变系统**，否则就是**时变系统**

- 时变、时不变系统的检验方法：

- 检验一个系统的时不变性，可从定义出发，对于 $x_1(t)$ ，有 $y_1(t)$ ，令 $x_2(t)=x_1(t-t_0)$ ，检验 $y_2(t)$ 是否等于 $y_1(t-t_0)$ ，若是，则系统是时不变的，否则，系统就是时变的

系统及其性质

6、线性，线性系统，增量线性系统

- 同时满足叠加性和齐次性的系统称为**线性系统**，否则为**非线性系统**
 - **叠加性**：几个输入信号同时作用于系统时，系统的响应等于每个输入信号单独作用所产生的响应之和
 - **齐次性**：当输入信号为原输入信号的 K 倍时，系统的输出响应也为原输出响应的 K 倍
- 系统输出的增量与输入增量之间成线性关系，把这一类系统称为**增量线性系统**

判断系统的线性与非线性方法：

1、给定输入与输出

$$x_1(t) \rightarrow y_1(t)$$

$$x_2(t) \rightarrow y_2(t)$$

2、判断是否同时满足齐次性和叠加性

$$x_3(t) = ax_1(t) + bx_2(t) \rightarrow \text{判断 } y_3(t) \text{ 与 } ay_1(t) + by_2(t)$$

相等则是线性

不等则是非线性

判断下列系统的线性与非线性

系统1 : $y(t)=tx(t)$

1、 $y_1(t)=tx_1(t)$

$$y_2(t)=tx_2(t)$$

2、 $x_3(t)=ax_1(t)+bx_2(t)$

$$y_3(t)=tx_3(t)=tax_1(t)+tbx_2(t)$$

=

$$y_3(t)=ay_1(t)+by_2(t)$$

系统是线性

系统2 : $y(t)=mx(t)+n$

1、 $y_1(t)=mx_1(t)+n$

$$y_2(t)=mx_2(t)+n$$

2、 $x_3(t)=ax_1(t)+bx_2(t)$

判断下列系统的线性与非线性

系统1 : $y(t)=tx(t)$

1、 $y_1(t)=tx_1(t)$

$y_2(t)=tx_2(t)$

2、 $x_3(t)=ax_1(t)+bx_2(t)$

$y_3(t)=tx_3(t)=tax_1(t)+tbx_2(t)$

=

$y_3(t)=ay_1(t)+by_2(t)$

系统是线性

系统2 : $y(t)=mx(t)+n$

1、 $y_1(t)=mx_1(t)+n$

$y_2(t)=mx_2(t)+n$

2、 $x_3(t)=ax_1(t)+bx_2(t)$

$y_3(t)=mx_3(t)+n=max_1(t)+mbx_2(t)+n$

≠

$y_3(t)=ay_1(t)+by_2(t)$

系统是非线性

本节内容小结

一、系统及其性质

- 系统的描述
- 系统的性质
 - 记忆性，瞬时系统和动态系统
 - 因果性，因果系统和非因果系统
 - 可逆性，可逆系统
 - 稳定性
 - 时不变性，时变系统与时不变系统
 - 线性，线性系统，增量线性系统