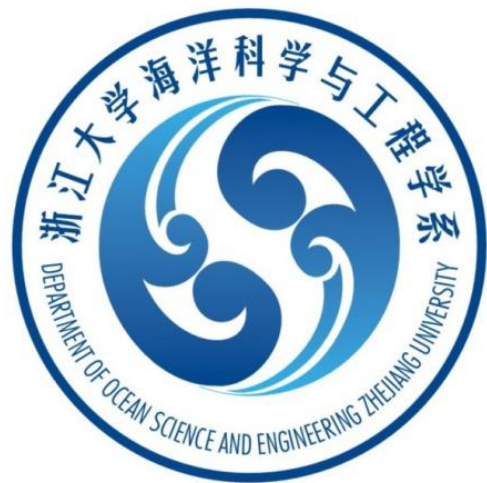


传感器与检测技术趋势

--- 《传感与检测技术》

主讲教师：黄慧

浙江大学 海洋学院



*电子邮箱： hhuangh1@126.com

办公室：海工楼420室

2019-3-6

基本内容

传感器的发展概况与趋势

检测技术的发展概况与趋势产品

一.传感器的发展概况

1. 新型敏感材料

敏感元件材料是传感器技术的重要基础，重点开发的新型敏感材料主要有以硅材料为主的半导体材料、化合物半导体材料、石英晶体和石英玻璃精密陶瓷材料、氧化锌薄膜、铁电聚合物、传感型合金材料及复合材料。

一. 传感器的发展概况

2. 微细加工技术

微细加工技术即微米加工技术，是开发新型微型传感器的工艺技术，目前大体上分为三类：

- (1) 硅微机械加工技术
- (2) 以激光精密加工为主体超精密机械加工技术
- (3) X射线深层光刻电铸成型技术

3. 新型传感器



图1.23 汽车电喷系统、空调排污和自动驾驶系统的车载传感器

3. 新型传感器



图1.24 用于水质检测、大气污染和工业排污测控传感器

3. 新型传感器



图1.25 用于检测食品卫生和诊断各种疾病的生物、化学传感器

3. 新型传感器



图1.26 用于航天系统的传感器

3. 新型传感器



图1.27 用于机器人的仿生传感器

4. 智能化传感器

智能传感器是当代高科技研究的热点，是一种带微处理器的传感器，它兼有信息检测、存贮和处理功能，并能通过软件对传感器内部行为进行调理，使传感器工作在最佳状态。

随着科学技术的发展，未来的智能传感器，将利用信息融合技术、模糊理论等更高级信息处理技术，使传感器具有分析、判断、自适应、自学习功能，可以完成特征检测、图象识别、多维检测等复杂任务。

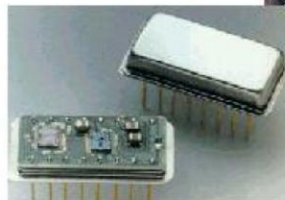
4. 智能化传感器

传感器+嵌入式计算机 = 智能传感器



嵌入式计算机

振动网络传感器



智能压力网络
传感器



智能倾角
RS232传感器



IC总线数字温度
传感器

二. 检测技术的发展概况与趋势

1. 测量信号处理方面

20世纪50年代以前: 模拟分析方法

20世纪50年代: 大型通用数字计算机在信号分析中有了实际应用。

20世纪60年代：人造卫星、宇航探测及通讯、雷达技术的发展，对信号分析的速度、分辨能力提出了更高的要求。

二. 检测技术的发展趋势

1. 测量信号处理方面

1965年，美国J . W . Cooley和J . W . Tukey提出了FFT计算方法，使DFT的复数乘法次数从 N^2 减少到 $N\log_2 N$ 次，从而大大减少了计算量.

1968年美国C.M.Rader提出数论变换FFT算法（NFFT）；

20世纪70年代以后，大规模集成电路的发展以及微型机的应用，使信号分析技术具备了广阔的发展前景，许多新的算法不断出现。

二. 检测技术的发展概况与趋势

1. 测量信号处理方面

1976年美国S.Winograd提出了Winograd Fourier Transform Algorithm (WFTA) , 计算DFT所需的乘法次数仅为FFT算法乘法次数的 $1/3$;

1977年法国H.J.Nussbaumer提出了Polynomial Fourier Transform Algorithm , (PFTA) , 结合使用FFT和WFTA方法, 在采样点数较大时, 较FFT算法快3倍左右。

二. 检测技术的发展概况

1. 测量信号处理方面

上当采样点 $N=1000$ 时，
DFT算法为200万次；
FFT算法为1.4万次；
NFFT算法为0.8万次；
WFTA算法为0.35万次；
PFTA算法为0.3万次。



二. 检测技术的发展概况与趋势

1. 测量信号处理方面

DSP的出现，对简化信号处理系统的结构，提高运算速度，加快信号处理的实时能力等，有很大影响。

美国Texas公司1986年推出的TMS320C25芯片，运算速度达每秒1000万次，用其进行1024复数点FFT运算，只需14ms便可完成。

在图像处理、语言处理、谱分析、振动噪声和生物医学信号的处理方面，展示了很宽的应用前景。

DSP（digital signal processor）是一种独特的微处理器

二. 检测技术的发展概况与趋势

目前信号分析技术的发展目标是：

- (1) 在线实时能力的进一步提高；
- (2) 分辨力和运算精度的提高；
- (3) 扩大和发展新的专用功能；
- (4) 专用机结构小型化，性能标准化，价格低廉。

二. 检测技术的发展概况与趋势

2. 计算机虚拟仪器技术

用PC机 + 仪器板卡 代替传统仪器
用计算机软件 代替硬件分析电路

虚拟仪器采用计算机开放体系结构来取代传统的单机测量仪器。将传统测量仪器中的公共部分（如电源、操作面板、显示屏幕、通信总线和CPU）集中起来用计算机共享，通过计算机仪器扩展板卡和应用软件在计算机上实现多种物理仪器

2. 计算机虚拟仪器技术



- 计算机接口总线发展：VXI、PXI；
- 软件技术发展：
- 标准：VISA、SCPI、IVI
- 开发平台：LabVIEW

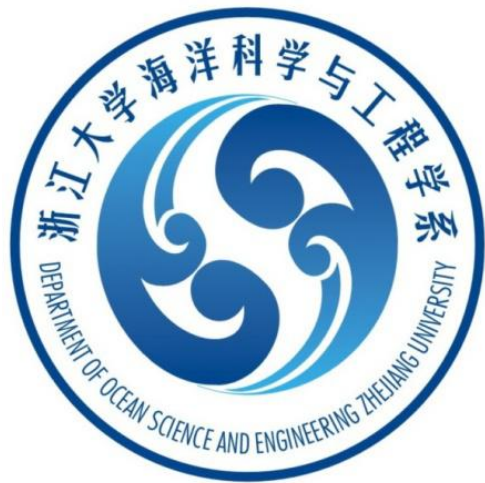
- 谢谢。

曲线拟合与测量不确定度

--- 《传感与检测技术》

主讲教师：黄慧

浙江大学 海洋学院



*电子邮箱： hhuangh1@126.com

办公室：海工楼420室

2019-3-6

内容提纲:

2.1 曲线拟合方法

2.1.1 最小二乘法拟合线性函数

2.1.2 非线性函数拟合

2.2 测量不确定度

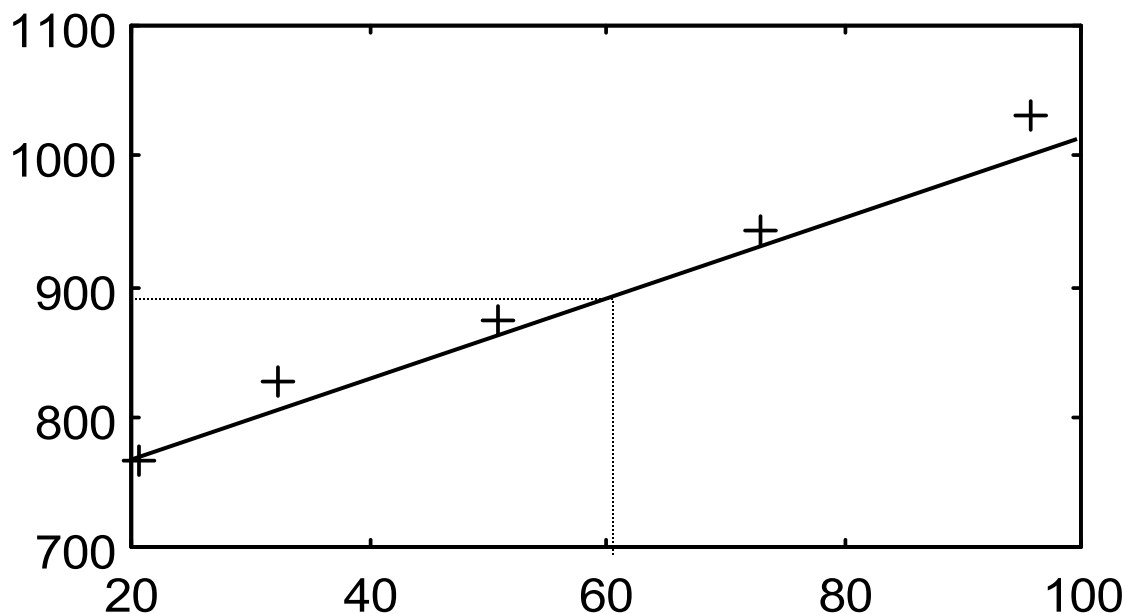
2.3 思考题

2.1.1 最小二乘法

已知热敏电阻数据：

温度 $t(^{\circ}\text{C})$	20.5	32.7	51.0	73.0	95.7
电阻 $R(\Omega)$	765	826	873	942	1032

求 60°C 时的电阻 R 。



设 $R=at+b$

a, b 为待定系数

2.1.1 最小二乘法

测量方程式为 $M_i = f_i(X_1, \dots, X_N)$

若 $M_i = f_i$ 为线性函数，即

$$M_i = k_{i1}X_1 + \dots + k_{iN}X_N, i = 1, 2, \dots, n$$

M_i 为第 i 个测量值

X_j 为第 j 个待测参数值

k_{ij} 为第 j 个待测参数值在取第 i 次测量值时的系数

只有 $n > N$ ，即重复进行等精度测量时，才能进行误差分析

2.1.1 最小二乘法

- 设待测参数的最佳估计值列矩阵:
- 方便起见, 测量值列矩阵改用:
- 系数列矩阵:

$$\hat{X} = \begin{pmatrix} \hat{X}_1 & \hat{X}_2 & \cdots & \hat{X}_N \end{pmatrix}^T$$

$$y = \begin{pmatrix} y_1 & y_2 & \cdots & y_n \end{pmatrix}^T$$

$$K = \begin{pmatrix} k_{11} & \cdots & k_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1} & \cdots & k_{nN} \end{pmatrix}$$

2.1.1 最小二乘法

- 残差列矩阵: $v = (v_1 \quad v_2 \quad \cdots \quad v_n)^T$
- 定义 $J = v^T v = \sum_{i=1}^n v_i^2$ $v = Y - K\hat{X}$
- 线性函数最小二乘法原理的矩阵形式为 $v^T v = \min$
- 令
$$\frac{\partial v^T v}{\partial \hat{X}} = \frac{\partial}{\partial \hat{X}} (Y - K\hat{X})^T (Y - K\hat{X}) = 0$$
- 得
$$\hat{X} = (K^T K)^{-1} K^T Y$$

线性最小二乘法的求解

超定方程组：方程个数大于未知量个数的方程组

$$\begin{cases} k_{11}x_1 + k_{12}x_2 + \cdots + k_{1m}x_m = y_1 \\ \dots\dots\dots \\ k_{n1}x_1 + k_{n2}x_2 + \cdots + k_{nm}x_m = y_n \end{cases} \quad (n > m) \quad \text{即 } KX=Y$$

$$\text{其中 } K = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdots & k_{1m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ k_{n1} & k_{n2} & \cdots & k_{nm} \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix}, \quad Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

超定方程一般是不存在解的矛盾方程组。

如果有向量 X 使得 $J = \| KX - Y \|_2^2$ 达到最小，则 X 为上述超定方程的最小二乘解。

线性最小二乘法的求解

所以，曲线拟合的最小二乘法要解决的问题，实际上就是求以下超定方程组的最小二乘解的问题。

$$KX=Y \quad (3)$$

$$\text{其中 } K = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdots & k_{1m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ k_{n1} & k_{n2} & \cdots & k_{nm} \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix}, \quad Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

当 K^TK 可逆时，超定方程组（3）存在最小二乘解，且即为方程组

$$K^TKX=K^TY$$

的解： $X=(K^TK)^{-1}K^TY$

2.2 非线性函数拟合

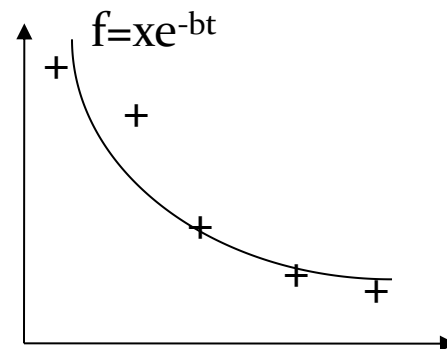
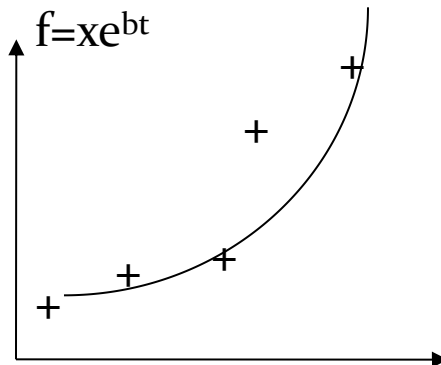
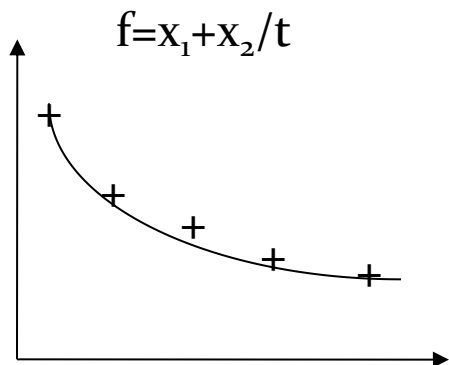
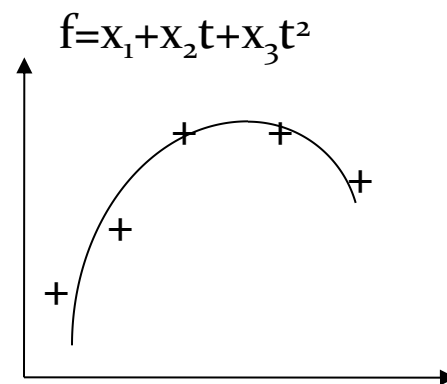
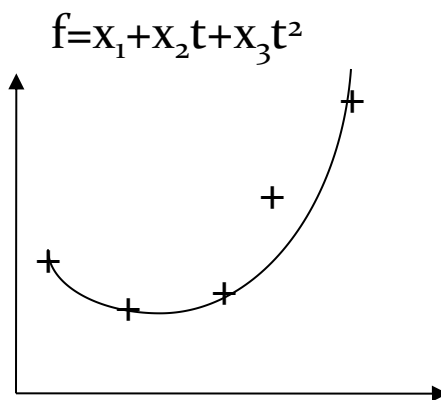
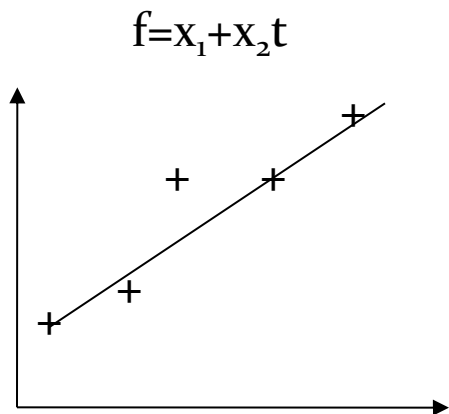
- 测量值: Y
- 非线性函数: $f(X)$
- 目标函数:
- 待测量 X 的估计值:

$$J = \|Y - f(X)\|_2^2$$

$$\hat{X} = \arg \min \|Y - f(X)\|^2$$

函数 $f(x)$ 的选取（几个经验公式）

1. 通过机理分析建立数学模型来确定 $f(x)$;
2. 将数据 $(x_i, y_i) \ i=1, \dots, n$ 作图，通过直观判断确定 $f(x)$:



其它“炫”方法

- CNN, 遗传算法, 支持向量机, etc.

内容提纲:

2.1 曲线拟合方法

2.1.1 最小二乘法拟合线性函数

2.1.2 非线性函数拟合

2.2 测量不确定度

2.3 思考题

2.2 测量不确定度的由来

- 测量误差客观存在，测量结果常常伴随有随机误差、系统误差，造成了测量的不确定性或不准确性，但真值大多数情况下未知。
- A类、B类（无主次，评定对象和方法不同）
- A类：对测量列进行统计分析来评定的标准不确定度
- B类：对测量列以外的影响因素进行分析。

• A类标准不确定度的评定方法

- 相同条件下，对被测量 X 进行 n 次重复测量得测量值 X_i ，算术平均值为

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad X_0 \text{ 为真值, 则}$$

- 总体标准偏差:
$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - X_0)^2}$$

- 实验标准偏差:
$$\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

- 算术平均值标准偏差:
$$S = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

2.2.1 测量不确定度的分类

1) 标准不确定度：用标准偏差表示， $u(x)$

$$u(x) = S = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

2.2.1 测量不确定度的分类

- 1) 标准不确定度：用标准偏差表示， $u(x)$
 - 2) 合成标准不确定度：由各不确定度分量合成的标准不确定度，
- 测量不确定度传播律：

u (为各分量的标准不确定度； u_c (为合成不确定度。

若各直接检测测量独立，则

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)$$

2.2.1 测量不确定度的分类

- 3) 扩展不确定度：用包含因子乘以合成标准不确定度，得到以一个区间的半宽度来表示的测量不确定度。

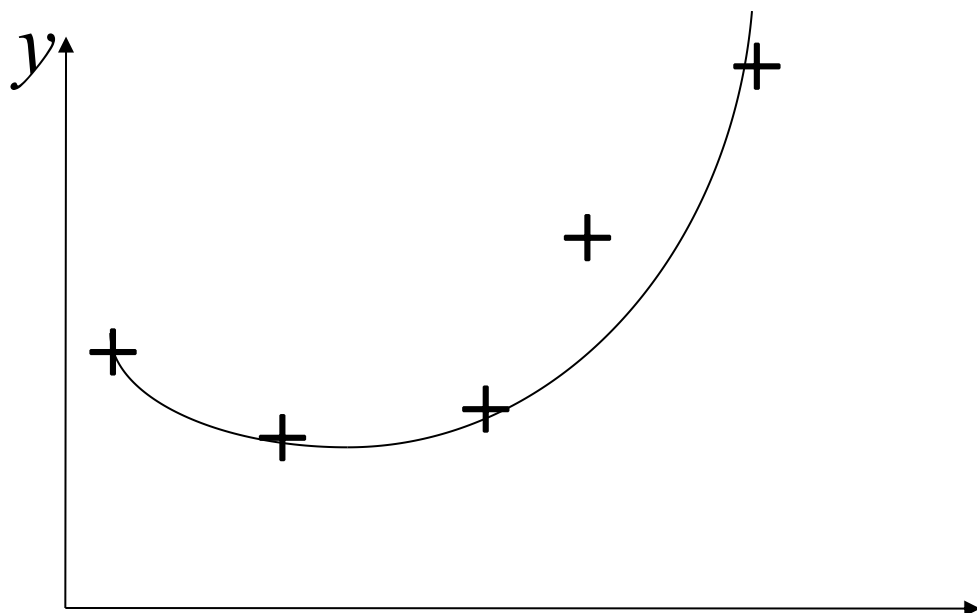
$$U = k u_C, U_p = k_p u_C, \quad X = x \pm U \quad x - U \leq X \leq x + U$$

作业2-2: 如何求出 x_1 , x_2 , x_3 ?

要求: 画流程图

设从左到右点分别为: $(1, 8)$, $(2, 5)$, $(3, 6)$, $(4, 10)$, $(5, 14)$

采用MATLAB/SPSS/PYTHON等工具求解, 列出代码和拟合结果, 计算 y 的均方根误差。



$$y = x_1 t + x_2 t + x_3 t^2$$