**本次课程目的：回顾基本的系统辨识概念、步骤、误差辨识准则以及分类，掌握基本的系统辨识方法，具备使用Matlab进行系统辨识编程的能力。**

**主要参考书：李言俊 张科 编著，《系统辨识理论及应用》，国防工业出版社**

**一、系统辨识基本概念、步骤、误差辨识准则及分类**

**1.1 辨识的定义**

**很多学者都曾给辨识下过定义，下面介绍一个比较典型的定义。**

**L.Ljung定义（1978年）：辨识有三个要素-数据、模型类和准则。辨识就是按照一个准则在一组模型类中选择一个与数据拟合得最好的模型。**

**1.2 辨识的内容和步骤**

**1）明确辨识目的**

**明确模型应用的最终目的十分重要，因为它将决定模型的类型、精度要求及所采用的辨识方法。**

**2）掌握先验知识**

**在进行系统辨识之前，要尽可能多掌握一些系统的先验知识，如系统的非线性程度、时变或非时变、截止频率、静态放大倍数等，这些先验知识对预选系统数学模型种类和辨识试验设计将起到指导性作用。**

**3）利用先验知识**

**选定和预测被辨识系统数学模型种类，确定验前假定模型。**

**4）试验设计**

**选择试验信号、采样间隔、数据长度等，记录输入和输出数据。如果系统是连续运行的，并且不允许加入试验信号，则只好使用正常的运行数据进行辨识。**

**5）数据预处理**

**输入数据中常含有直流成分或低频成分，用任何辨识方法都难以消除它们对辨识精度的影响。数据中的高频成分对辨识也有不利影响。因此，对输入和输出数据可进行零均值化和剔除成分的预处理。处理得好，能显著提高辨识精度。零均值化可采用差分法和平均法等方法，剔除高频成分可采用低通滤波器。**

**6）模型结构辨识**

**在假定模型结构的前提下，利用辨识方法确定模型结构参数，如差分方程中的阶次n和纯迟延d等。**

**7）模型参数辨识**

**在模型结构确定之后，选择估计方法，利用测量数据估计模型中的未知参数。**

**8）模型检验**

**验证所确定的模型是否恰当地表示了被辨识的系统。**

**如果所确定的系统模型合适，则辨识到此结束。否则，就必须改变系统的验前模型结构，并且执行第（4）步至第（8）步，直到获得一个满意的模型为止。**

**1.3 误差辨识准则**

**辨识时所选的误差准则是辨识问题中的3个要素之一，是用来衡量模型接近实际系统的标准。因此误差准则也称为等价准则、损失函数、准则函数、误差准则函数等。它通常被表示为误差的泛函数，记作**

****

**应广义地理解为模型与实际系统的误差，它可以是输出误差或输入误差，也可以是广义误差。选择不同的误差准则可导出不同的辨识算法，应用中用得最多的是平方函数，即**

****

**1.3.1 输出误差准则**

****

**1.3.2 输入误差准则**

****

**式中，符号表示模型是可逆的。**

**1.3.3 广义误差准则**

****

**式中，，称为广义模型，且模型是可逆的，这种误差称为广义误差。这种误差准则关于模型参数空间是线性的，求它的最优解比较方便，一般都用这种。**

**1.4 系统辨识分类**

**系统辨识分类方法很多：**

**1）线性系统和非线性系统辨识**

**2）集中参数系统和分布参数系统辨识**

**3）开环系统与闭环系统辨识**

**4）离线辨识和在线辨识**

**5）经典辨识与近代辨识**

**6）系统结构辨识与系统参数辨识**

**1.4.1 离线辨识**

**如果系统的模型结构已经选好，阶数也已确定，在获得全部记录数据之后，用最小二乘法、极大似然法或其它估计方法，对数据进行集中处理后，得到模型参数的估值，这种辨识方法称为离线辨识。**

**离线辨识的优点是参数估值的精度比较高，缺点是需要存储大量数据，要求计算机有较大的存储量，辨识时运算量也比较大。**

**1.4.1 在线辨识**

**用在线辨识时，系统的模型结构和阶数是事先确定好的。当获得一部分输入和输出数据后，马上用最小二乘法、极大似然法或其它估计方法进行处理，得到模型参数的不太准确的估值。在获得新的输入和输出数据后，用递推算法对原来的参数估值进行修正，得到参数的新估值。所以在线辨识要用到递推最小二乘法、递推极大似然法或其它递推估计算法。**

**在线辨识的优点是所要求的计算机存储量较小，辨识计算时运算量较小，适合于进行实时控制，缺点是参数估计精度差一些。**

**二、系统辨识常用输入信号及其Matlab实现**

**2.1 系统辨识输入信号选择准则**

**最优输入信号就是使Fisher信息矩阵的逆达到最小的一个标量函数。**

**当N很大时，白噪声或M序列可近似满足这一要求；当N不大时，并非所有的N都能找到这种输入信号。**

**在具体工程应用中，选择输入信号时还应考虑以下因素：**

**（1）输入信号的功率或幅值不宜过大，以免使系统工作在非线性区，但也不应过小，以致信噪比太小，直接影响辨识精度；**

**（2）输入信号对系统的“净扰动”要小，即应使正负向扰动机会几乎均等；**

**（3）工程上要便于实现，成本低。**

**2.2 白噪声及M序列的Matlab实现**

**idinput：产生信号，通常用于系统辨识的输入，典型用法**

**u = idinput(N,type)，type = 'rgs': Gives a random, Gaussian signal.**

**type = 'prbs': Gives a pseudorandom, binary signal.**

**M序列是伪随机二位式序列的一种形式，它具有近似白噪声的性质，不仅可以保证有较好的辨识效果，而且工程上又易于实现。**

**三、系统辨识常用模型形式及其Matlab实现**

**3.1 常见的多项式结构的模型**

**1）通用多项式模型**

****

**其中，e(t)为白噪声，方差为NoiseVariance；Ts为采样间隔，Ts=0代表了时间连续系统。对离散系统，A、C、D、F默认为1**

**2）armax模型**

**A(q) y(t) = B(q) u(t-nk) + C(q) e(t)**

**3）arx模型**

**A(q) y(t) = B(q) u(t-nk) + e(t)**

**4）ar模型**

**A(q) y(t) = e(t)**

**3.2多项式结构模型的Matlab实现**

**对应函数：M = IDPOLY(A,B,C,D,F,NoiseVariance,Ts)**

**问题1：A = [1 -1.5 0.7], B = [0 0.5 0 0.3; 0 0 1 0], Ts =1**

**M=idpoly(A,B,Ts)**

**对应模型为：？**

**问题2：**

**给出idpoly对应的程序**

**四、系统辨识典型辨识算法及Matlab实现**

**4.1 ARMAX模型的辨识**

**对ARMAX模型**

**A(q) y(t) = B(q) u(t-nk) + C(q) e(t)**

**matlab提供了辨识参数的函数：**

**M=ARMAX(Z,[na nb nc nk]) or**

**M = ARMAX(Z,'na',na,'nb',nb,'nc',nc,'nk',nk)**

**M =**

**ARMAX (data,orders,'Property1',Value1,...,'PropertyN',ValueN)**

**1）辨识方法由属性参数确定，默认为广义最小二乘法。**

**2）data是一个iddata对象，包含了输出-输入数据，iddata对象由iddata函数生成，用于系统辨识，其形式如下：**

**DAT = IDDATA(Y,U,Ts)**

**1）生成一个包含输出Y和输入U的data对象，其采样间隔为Ts；**

**2）默认Ts=1；**

**3）如果U=[]，或者没有定义，数据描述了一个信号或者一个时间序列；**

**4）当Y=[]时,数据仅仅描述了输入；**

**5）Y是一个N×Ny的矩阵，其中N是数据的个数，Ny是输出通道的个数，输入U也有类似结论；**

**6）Y和U必须有同样的行数。**

**7）**

****

****

**补充：**

**1）最小二乘法基本知识**

**设表示的最优估值，表示的最优估值，则有**

** （1）**

**式中，**

**，**

****

**定义残差为**

****

**最小二乘估计要求残差的平方和最小，即按照目标函数**

****

**为最小来确定估值。由**

****

**可得的最小二乘估计**

****

**为极小值的充分条件是**

****

**即矩阵为正定矩阵，或者说是非奇异的。**

**通常，当输入信号是随机序列或者伪随机序列时，上面条件成立。**

**当噪声为零均值不相关随机序列时，最小二乘法为无偏估计。**

**2）figure( )函数**

**功能：产生一个图形窗口**

**基本用法：figure或者figure(N)，这里N是自然数**

**3）step( )函数**

**功能：画出线性系统sys的阶跃响应。**

**基本用法：step(sys,T)，sys为对应模型的变量名，T为仿真起止时间，如step(M1,[0 100])，画出模型M1从0到100s的阶跃响应**

**4）sim( )函数**

**功能：运行仿真模型。**

**基本用法：sim(‘model’)或sim(‘model’,T,r,v)，T是仿真起止时间，r是参考输入，v是量测噪声**

**5）present( )函数**

**功能：该函数显示辨识模型TH，同时显示估计标准偏差、损失函数和Akaike准则的最终预测误差。**

**基本用法：present( TH)**

**Akaike信息准则（AIC，Akaike Information Creterion）：**

**AIC准则是由日本统计学家赤池弘次（Akaike）于1973年提出，是一种考评综合最优配置的指标，它是拟合精度和参数未知个数的加权函数。**

****

**式中：L是模型的似然函数；p是模型中的参数数目。**

**当AIC为最小的那个模型就是最佳模型。**

**4.2 ARX模型的辨识**

**对ARX模型**

**A(q) y(t) = B(q) u(t-nk) + e(t)**

**matlab提供了辨识参数的函数：**

**M = ARX(DATA,ORDERS)**

**把ARX模型的模型参数辨识结果返回给M；DATA为辨识用的数据，数据格式为matlab辨识专用的IDDATA；order=[na nb nk]。**

**4.3 ARX模型阶次的辨识**

**1）struc( )函数**

**功能：生成arx模型结构矩阵**

**基本用法：NN = struc(NA,NB,NK)**

**2）arxstruc( )函数**

**功能：计算一系列单输出ARX类型离散模型结构的损失函数。**

**基本用法：V = arxstruc(ze,zv,NN)**

**其中，ze为模型辨识的输入输出数据，zv为模型验证的输入输出数据，V的第一行为各个模型结构损失函数值，后面各行为模型结构参数。**

**3）selstruc( )函数**

**功能：用于选择模型阶次。**

**基本用法：[nn,vmod] = selstruc(v,c)**

**其中，v为损失函数，c为判断准则，如c=’aic’表示采用Akaike信息准则（AIC，Akaike Information Criterion）。**