廣東工業大學

课程教案

2023 – 2024 学年 第二学期

学院(部、中心) 信息工程

课 程 名 称 信号处理理论及技术

专 业 班 级 学院 2023 级硕士生

主 讲 教 师 何家峰 副教授

一、教案总体设计

1、总体思路

1.1 课程特点

信号处理理论及技术课程以现代信号处理的理论及方法为主要内容，主要具有以下三方面的特点：

（1）**学习难度大**。主要原因：学习内容多，数学基础要求高、要求广，数学概念抽象，数学推导多，学习比较枯燥，容易挫伤学生学习的信心。

（2）**实践训练难度大**。主要原因：学生在矩阵运算、最优化求解、随机过程等方面缺少编程训练，编程难以上手，因此即使布置编程仿真作业，学生完成度也较差。

（3）**创新训练不足**。主要原因：缺少前沿知识引导；缺少原始应用数据。

1.2 课程教学思路

根据“筑基础、强实践、促创新”的原则，在讲授现代信号处理的基本概念、基本原理与方法的基础上，加强学生工程应用能力（实践能力）和创新能力的培养，采用基于案例教学和项目驱动相结合的教学模式，践行知识学习、能力培养和研究探索相融合的教学理念。

2、实施方法

2.1 “筑基础”举措

（1）在概念和原理讲述时注重物理意义的分析。本课程的基本概念和方法，难于理解和记忆。而这些抽象概念和方法原理的理解是课程学习的基础，因此，教学视频讲授时必须注重抽象概念和方法的物理意义的分析，加强概念的通俗解释，让学生从具体的物理现象理解抽象概念和方法原理，加强学生对概念和方法的拓展和应用。

（2）预先引入相应的数学基础知识。在现代信号处理中，许多信号处理方法，数学基础要求高（涉及随机过程、矩阵分析、最优化方法甚至近代数学等数学知识），数学推导复杂，导致学生理解困难。因此，预先把相应的数学基础知识挂在网上，学生先学习相关基础知识，再学习教学视频，将大大降低学生的学

习难度。

（3）加强数学训练。线上布置一些基本作业训练或课堂练习，侧重于数学推导和计算。通过基本作业训练，提高学生的数学素养，增强学生课程学习的信心和课程方法的理解。

2.2 “强实践”举措

（1）在课程教学内容中，增加工程应用和仿真结果，培养学生工程应用概念。

（2）编程课件。紧密结合课程内容，每章编写配套的编程 ppt，供学生课外自学。

（3）仿真作业。布置一些现代信号处理的编程仿真作业，提高学生实践能力。

2.3 “促创新”举措

（1）启发式教学。设置一些启发式问题，促进学生创新思维。

（2）前沿知识讲座。开展前沿专题讲座，拓展学生学术视野，激发学生创新欲望。把一些前沿的信号处理方法引入教学内容，如 David-Huang 变换、经验模态分解、压缩感知理论等。

（3）案例教学。把课程组的一些现代信号处理科研成果引入课程案例，如最优信号处理、时频分析、通信信号处理、人工嗅觉信号处理等。进行案例教学，既可以避免过多理论学习引起的枯燥和厌烦，增强学生学习兴趣，又可以引导学生如何利用理论知识进行工程应用。对案例中存在的问题，组织学生讨论并提出改进思路。对案例研究领域未来发展趋势，进行总结和归纳，引导感兴趣学生进一步研究。

（4）项目作业。项目作业要求：A、进行文献综述或市场调研，梳理相关研究或市场化存在的问题； B、针对某一问题，提出解决思路； C、制定技术路线； D、制定性能评价指标； E、建议使用开放数据源进行对比实验。

2.4 成绩考核方法

本课程成绩包括平时成绩（考勤、编程作业、项目作业）和期末考试成绩。平时成绩占比 30%，其中考勤 10%，编程作业 10%，项目作业 10%。期末考试占比 70%，题型包括简答题（21%）和计算证明题（49%）。

二、教案具体设计

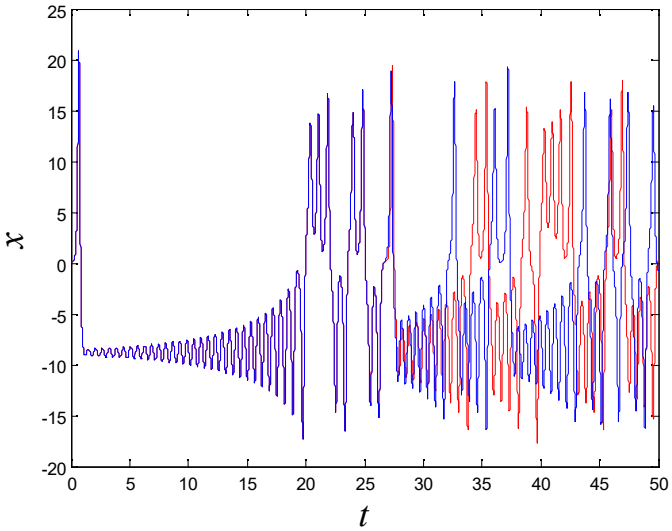
第一章 随机信号基础

<table>
<tr><td colspan="2">课题：第一章 信号处理基础</td><td>课时安排：6</td><td>课次编号：1-3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">教材分析</td><td>重点：</td><td colspan="2">平稳性和遍历性；独立、不相关和正交；具有随机输入的线性系统。</td></tr>
<tr><td>难点：</td><td colspan="2">广义平稳性；独立、不相关和正交之间的关系。</td></tr>
<tr><td colspan="2">教学目的和要求</td><td colspan="2">1、掌握信号分类；
2、掌握二阶统计量以及信号的平稳性与遍历性；
3、独立、不相关和正交之间的区别及联系；
4、具有随机输入的线性系统。</td></tr>
<tr><td colspan="2">采用教学方法和实施步骤：</td><td colspan="2">讲授、随堂练习、编程仿真</td></tr>
<tr><td>各教学环节和内容</td><td colspan="3">一、本课程的学习方法
根据课程特点，拟定如下学习方法：
1、基础：理解各种方法的数学含义（ 多推导、多做习题）和物理含义。
2、实践：多做计算机仿真。
3、创新：（1）如何在专业领域中创新应用？（2）评价各种方法的优缺点，看能否进一步改进与创新。（3）积极参与小组项目作业及相关课题研究。

二、概论
让学生了解信号处理所涵盖的内容。
1、信号处理理论及技术的内容
可从三个方面进行分类：
（1）从信号处理方法的提出时间角度，可分为：数字信号处理（本科生层次）、现代信号处理（随机信号处理，研究生层次）、信号处理新方法。其中现代信号处理和信号处理新方法具有一定的模糊性。
（2）从信号处理目的角度，可分为：信号分析和信号滤波。
（3）从参数化角度，可分为：非参数化信号处理和参数信号处理。
2、经典信号处理和现代信号处理的区别

三、随机信号基础
1、信号分类
除教材中的确定性信号、随机性信号外，补充第三类信号-混沌信号。
定义：发生在一个确定性系统中的类随机行为。
最主要特征：初值敏感性（蝴蝶效应）。
举例：洛伦兹方程</td></tr>
</table>

$$\begin{cases} dx/dt = -a(x-y) \\ dy/dt = bx - xz - y \\ dz/dt = -cz + xy \end{cases}$$



启发式问题：从本质上看，世界是随机的还是确定性的？

2、随机信号的统计量

（1）二阶统计量

重点关注：结合物理含义讲解二阶统计量；强调功率谱密度的三个性质：实的；非负的；实信号的功率谱是偶函数。后面 Cadzow 谱估计子要用到这些性质。

（2）噪声和白噪声

课堂练习：

令$c(n)$表示白噪声序列，$s(n)$表示一个与$c(n)$不相关的序列，$y(n)=s(n)c(n)$，$E(y)=m_y$。试证明序列$y(n)$是白色的，即$E[y(n)y(n+m)]=A\delta(m)$,式中A是常数。

（3）相干函数和相干信号

结合工程应用讲解：Optical Coherence Tomograpy（OCT）；相干解调。

3、随机信号的平稳性和遍历性

（1）讲清楚“时间间隔”的含义：n 个时刻中任意两个时刻的时间差值。

（2）随机信号的平稳性和遍历性的意义。

（3）解释多种平稳性：n 阶平稳性、广义平稳性、严格平稳性、循环平稳性、渐进平稳性等。

（4）为加强广义平稳性的理解，布置课堂练习。

随堂练习：

若两个随机信号$x(t)=A(t)\cos t$，$y(t)=B(t)\sin t$,其中$A(t)$、$B(t)$是各自平稳且相互独立的白噪声随机信号，试讨论$z(t)=x(t)+y(t)$的广义平稳性。

4、两个信号的比较和识别

讲清楚正交的几何意义和物理意义：

（1）几何意义：任何一个向量到另外一个向量的投影为零，或者说夹角为 90 度。

（2）物理意义：两个向量互不干扰。

5、信号变换

（1）信号变换的目的：便于信号特征的提取；提高信号处理的速度；用于非均匀采样序列的处理。

（2）回顾能量信号和功率信号的概念。

（3）提出信号变换的通用表达形式及要解决的核心问题。

（4）解释正交变换、标准正交变换、非正交变换及双正交变换所需满足的条件。

启发式问题：正交变换好，还是非正交变换好？

课堂练习：证明傅里叶变换是标准正交变换。

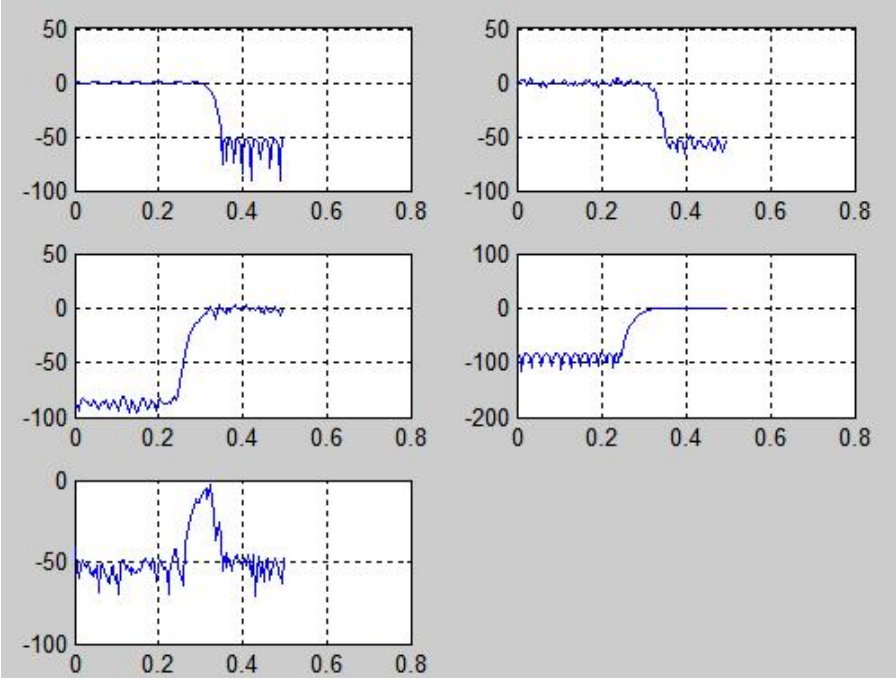
八、具有随机输入的线性系统

1、强调线性系统的输出功率谱和输入功率谱公式，在后面功率谱公式中需要用到。

$$P_{yy}(f)=P_{xx}(f)H(f)H^{*}(f)=P_{xx}(f)\left|H(f)\right|^{2}$$

2、回顾传递函数的极点和零点与系统性质之间的关系。

3、高斯白噪声分别通过高通和低通滤波器后的功率谱及互功率谱的仿真结果：



自学内容	随机信号基础 MATLAB 编程.ppt。
案例教学	无。
前沿知识讲座	无。
仿真作业	1 按如下线性概率密度产生均匀随机数的 1000 个样本值。 $f(x)=\begin{cases} x/2 & (0\le x\le 2) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases}$

	（1）计算该序列均值、方差与理想均值方差的误差大小。改变序列个数重新计算。 （2）绘出该序列的概率密度函数。 补充：若随机变量 X 具有连续分布函数 $F_X(x)$，而 r 是（0,1）均匀分布的随机变量，则有：$X = F_X^{-1}(r)$。这一定理说明：要产生服从分布 $F_X(x)$ 的随机数的方法，即先产生（0,1）均匀分布的随机数，然后按上式变换得到随机数 X。 2 设信号 $x(n) = \sin(2\pi f_1 n) + 2\cos(2\pi f_2 n) + w(n),\ n = 1,2,\cdots,N$，其中 $f_1 = 0.05$，$f_2 = 0.12$，$w(n)$ 为正态白噪声，试在 N=256 和 1024 点时，分别产生随机序列 $x(n)$，画出 $x(n)$ 的波形并估计 $x(n)$ 的相关函数和功率谱。 3 窄带高斯随机过程的产生。模拟产生一段时长为 5ms 的窄带高斯随机过程 X(t) 的样本函数。根据窄带随机过程的理论，X(t) 可表示为 $X(t) = A_C(t)\cos 2\pi f_0 t + -A_S(t)\sin 2\pi f_0 t$，其中 $A_C(t)$ 和 $A_S(t)$ 均为低频的高斯随机过程。因此，要模拟产生 X(t)，首先要产生两个相互独立的高斯随机过程 $A_C(t)$ 和 $A_S(t)$，然后用两个正交载波 $\cos 2\pi f_0 t$ 和 $\sin 2\pi f_0 t$ 进行调制。请按时域滤波法或频域法产生 5ms 的低通过程 $A_C(t)$ 和 $A_S(t)$，然后合成 X(t)，其中 $f_0 = 1000/\pi$，要求分别画出模拟产生的 $A_C(t)$、$A_S(t)$ 和 X(t)的波形。
项目作业	无。

第二章 参数估计理论

<table>
<tr><td colspan="2">课题：第二章 参数估计理论</td><td>课时安排：6</td><td>课次编号：4-6</td></tr>
<tr><td rowspan="2">教材分析</td><td>重点：</td><td colspan="2">Cramer- Rao 不等式；线性均方估计；最大似然估计；最小二乘估计；Bayes 估计。</td></tr>
<tr><td>难点：</td><td colspan="2">基本最小二乘估计与线性均方估计的区别；Bayes 估计。</td></tr>
<tr><td colspan="2">教学目的和要求</td><td colspan="2">1、掌握估计子性能评价方法；
2、掌握利用 Cramer- Rao 不等式求解优效估计子；
3、掌握线性均方估计、最大似然估计、最小二乘估计、Bayes 估计的原理及应用前提。</td></tr>
<tr><td colspan="2">采用教学方法和实施步骤：</td><td colspan="2">讲授、随堂练习、编程仿真</td></tr>
<tr><td>各教学环节和内容</td><td colspan="3">

一、估计子的性能

估计子性能评价：偏差、方差、均方误差

课堂练习：

考虑由 $x_i = s + v_i (i = 1,2,\cdots,N)$给定的观察样本，

其中s和v_i分别为信号和噪声，信　号的一个可能估计值　：

$$\hat{s} = (x_1 + x_2 + \cdots + x_N)/N$$

讨论估计子的性能　.

二、Fisher 信息与 Cramer-Rao 不等式

1、Fisher 信息

定义：品质函数$V(x)$的方差称为 Fisher 信息：

$$J(\theta) = E\{V^2(\theta)\} = E\left\{\left[\frac{\partial}{\partial\theta}\ln f(x\,|\,\theta)\right]^2\right\} = -E\left\{\frac{\partial^2}{\partial\theta^2}\ln f(x\,|\,\theta)\right\}$$

课堂练习：证明上述等式。

2、Cramer-Rao 不等式

重点介绍利用 Cramer- Rao 不等式求解优效估计子。

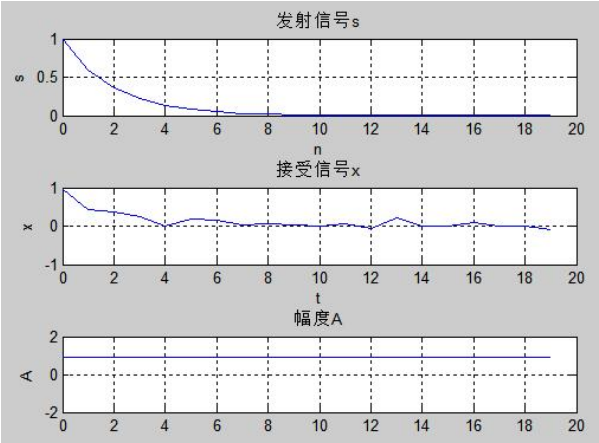
课堂练习：

观测到N个样本：$x[n] = A + w[n]\quad n = 0,1,\cdots,N-1$其中$w[n]$是方差为$\sigma^2$的高斯白噪声（$WGN$），确定$A$的$CRLB$及最小方差无偏估计（$MVU$）。

工程应用：确定信号的幅度估计问题，利用 Cramer- Rao 不等式求解优效估计子。

仿真结果： $s[n] = r^n$，$A = 1$，$r = 0.6$，$N = 20$，$\sigma = 0.04$

</td></tr>
</table>



三、线性均方估计

线性均方估计是有条件的优效估计：噪声为高斯白噪声。

启发式问题：

$\hat{\theta} \to w \to \theta$ ？，要计算估计，需要已知真实参数；而已知真实参数，估计又没有必要，这是一个内在的矛盾。如何解决这个内在矛盾？

四、最大似然估计

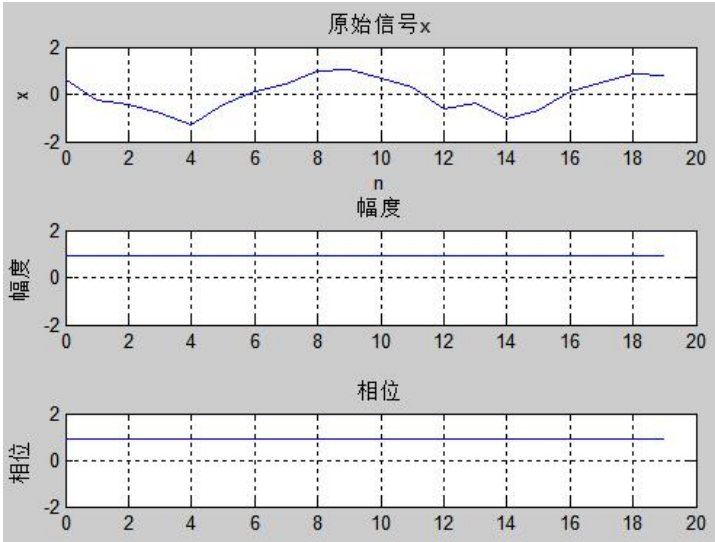
1、应用前提条件：需要已知概率密度函数的结构形式。

2、解释“似然函数”的含义：参数决定的分布和 n 个样本决定的函数之间的相似程度。

3、**工程应用**：正弦信号的幅度和相位估计。

仿真结果：

$$A=1,\ f_0=0.1,\ \phi=\pi/4,\ N=20,\ \sigma^2=1/16$$



五、最小二乘估计

1、最小二乘估计原理。

2、基本最小二乘估计与线性均方估计的区别。主要从以下 4 个方面进行区分：（1）

线性的含义；（2）误差的定义；（3）最优化目标；（4）解的形式。

3、**知识拓展**：简要介绍一些最小二乘估计改进方法（广义最小二乘、约束最小二乘、递推最小二乘、序贯最小二乘、非线性最小二乘、总体最小二乘、约束总体最小二乘、结构总体最小二乘、全局总体最小二乘）。

启发式问题：由上述最小二乘估计改进方法可以看出，前提条件改变后，估计方法也随之改变。你能否提出一种新的最小二乘估计改进方法。

六、Bayes 估计

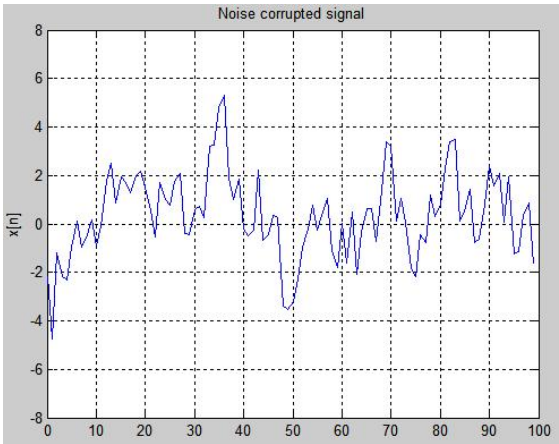
1、应用前提条件：参数是随机变量。

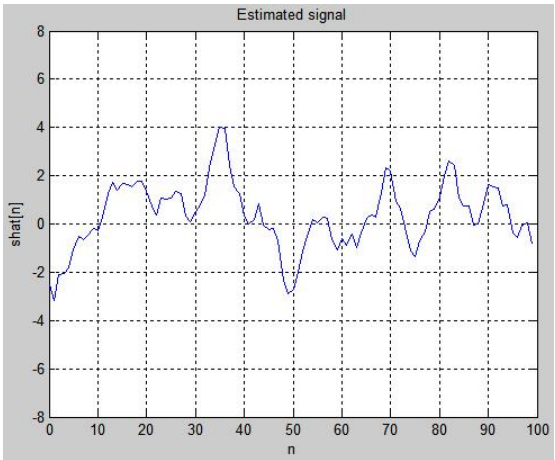
2、二次型风险函数下的 Bayes 估计（最小均方误差估计）

工程应用：噪声中随机信号的提取问题。

仿真结果：

一阶高斯AR随机过程：$a[1]=-0.9$，$\sigma_u^2=1$,高斯白噪声$\sigma^2=1$





3、均匀风险下的 Bayes 估计。等效于最大后验估计。

4、**课堂练习**：

已知 y=x+n，其中信号与噪声相互独立，信号 x~N(0,1)，噪声 n~N(0,1)。计算：（1）二次型风险下的 Bayes 估计；（2）均匀风险下的 Bayes 估计。

自学内容	信号估计 MATLAB 编程.ppt。
案例教学	无。
前沿知识讲座	多种最小二乘估计改进方法（广义最小二乘、约束最小二乘、递推最小二乘、序贯最小二乘、非线性最小二乘、总体最小二乘、约束总体最小二乘、结构总体最小二乘、全局总体最小二乘）。
仿真作业	1 编程实现习题 2.13。 2 仿真实现习题 2.9。
项目作业	无。

第四章 现代谱估计

<table>
<tr><td colspan="2">课题：第二章 参数估计理论</td><td>课时安排：6</td><td>课次编号：7-9</td></tr>
<tr><td rowspan="2">教材分析</td><td>重点：</td><td colspan="2">ARMA 建模。</td></tr>
<tr><td>难点：</td><td colspan="2">基于 SVD 的 AR 参数辨识。</td></tr>
<tr><td colspan="2">教学目的和要求</td><td colspan="2">1、掌握非参数化谱估计方法；
2、掌握 ARMA 过程及其功率谱估计；
3、掌握 ARMA 谱估计。</td></tr>
<tr><td colspan="2">采用教学方法和实施步骤：</td><td colspan="2">讲授、随堂练习、编程仿真、案例教学</td></tr>
<tr><td>各教学环节和内容</td><td colspan="3">

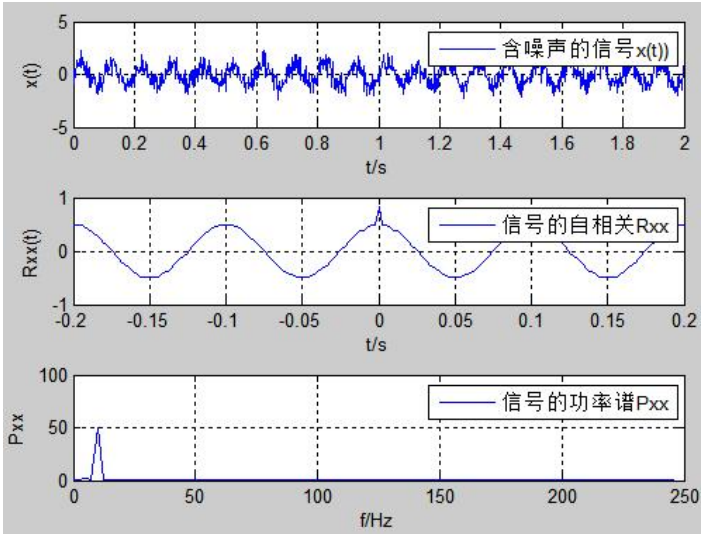
一、非参数化谱估计

1、解释经典非参数谱估计方法及其改进方法的原理。

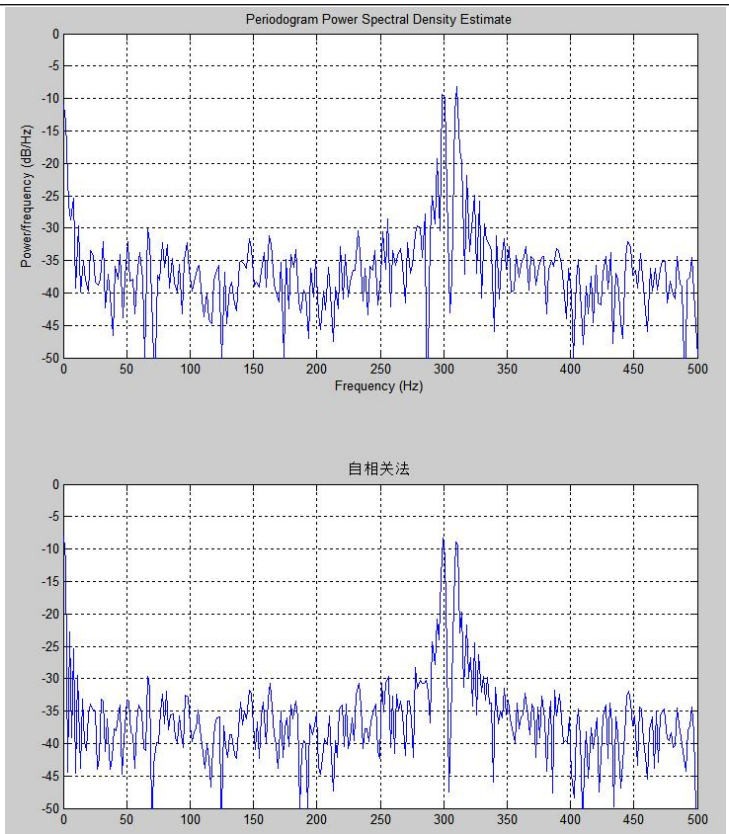
启发式问题：如何解决类似经典谱估计存在方差性能与分辨率之间的内在矛盾这样的问题？

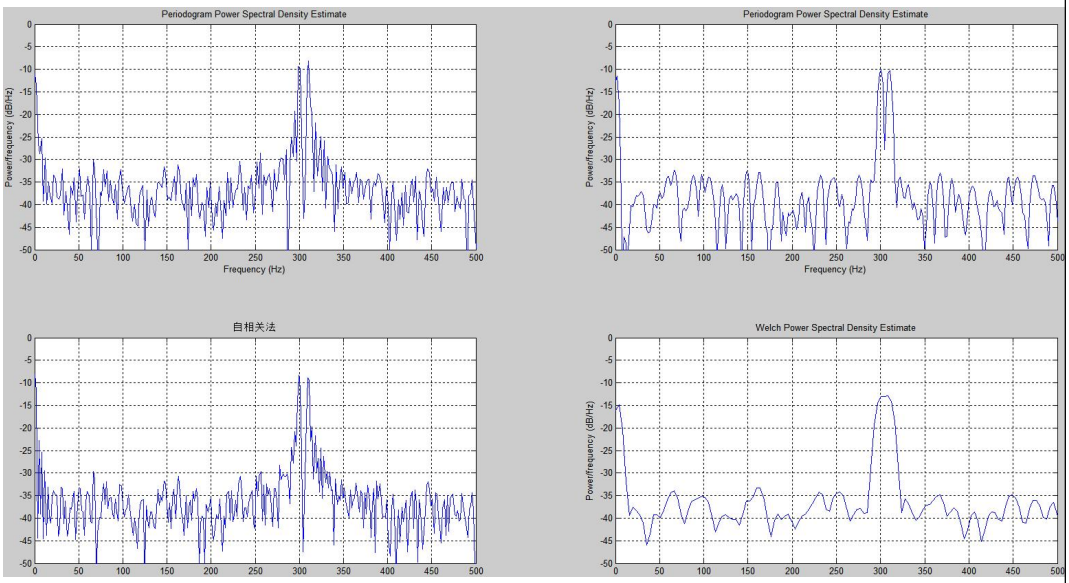
2、重点强调现代谱估计与经典（非参数化）功率谱估计的区别：（1）经典谱估计，非参数化估计；现代谱估计，参数化估计。（2）经典谱估计，存在方差性能与分辨率之间的内在矛盾。现代谱估计，在改进功率谱估计方差性能的同时，能保持高的分辨率。

3、**仿真结果**：



</td></tr>
</table>



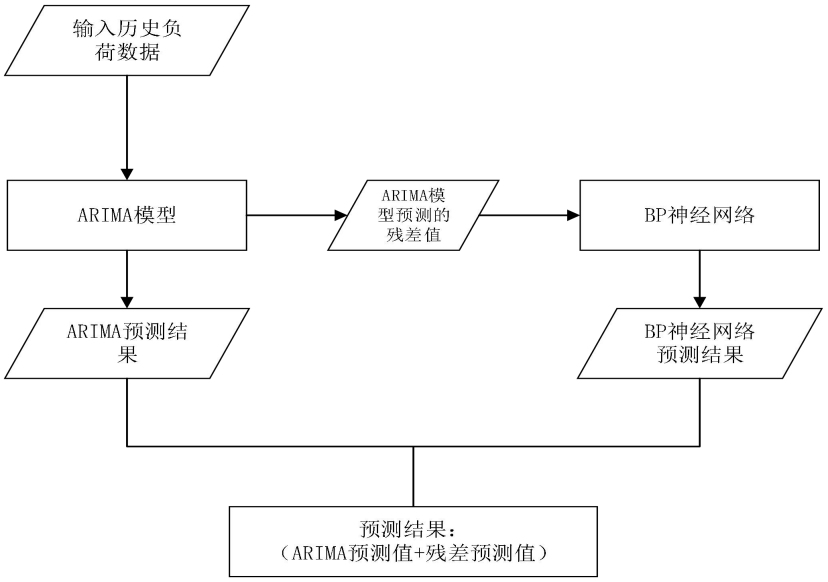


二、平稳 ARMA 过程

1、ARMA 过程及其两个特例。

2、重点介绍 ARMA 建模过程。

3、**案例教学：**基于 ARIMA-BPNN 的负荷预测方法研究与应用案例分析。



三、平稳 ARMA 过程的功率谱密度

1、重点介绍平稳 ARMA 过程的功率谱密度及其特例。

2、**课堂练习：**（1）习题 4.1。（2）与某一 ARMA 模型功率谱等价的模型有多少？

四、ARMA 谱估计

1、解释两种线性谱估计子的推导过程。

2、修正 Yuler-Walker 方程，并解释直接利用 Yuler-Walker 方程进行定阶和 AR 参数辨识所存在的问题。

3、基于 SVD-TLS 的 AR 定阶和参数辨识方法。尤其是最先提出的 AR 参数辨识方法，得到平凡解；进而对解进行正则化约束，虽然解不是平凡解，但解向量的元素个数不符合要求；最后用 SVD 分解逼近的方法，最终寻找到可行的 AR 参数辨识方法。**这个不断修正和改进的过程，对研究生科研工作很有借鉴意义。**

自学内容	功率谱估计 MATLAB 编程.ppt；ARMA 模型辨识、最大熵谱估计、Pisarenko 谐波分解法、扩展 Prony 方法。
案例教学	基于 ARIMA-BPNN 的负荷预测方法研究与应用案例分析。
前沿知识讲座	无。
仿真作业	1 设有 ARMA(2,2)模型 $X(n)+0.3X(n-1)-0.2X(n-2)=W(n)+0.5W(n-1)-0.2W(n-2)$，W(n)为正态高斯白噪声，方差为 4。 （1）模拟产生 X(n)的 500 观测点的样本函数，并绘出波形。 （2）画出理论的功率谱。 （3）估计 X(n)的相关函数和功率谱。 2 习题 4.17。
项目作业	无。

第五章 自适应滤波器

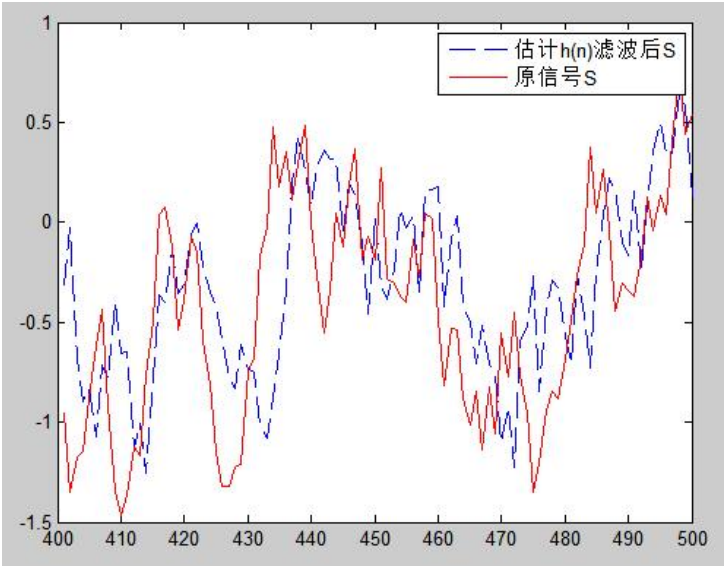
<table>
<tr><td colspan="2">课题：第五章 自适应滤波器</td><td>课时安排：10</td><td>课次编号：10-14</td></tr>
<tr><td rowspan="2">教材分析</td><td>重点：</td><td colspan="2">Kalman 滤波器；LMS 滤波器；RLS 滤波器。</td></tr>
<tr><td>难点：</td><td colspan="2">Kalman 滤波器。</td></tr>
<tr><td colspan="2">教学目的和要求</td><td colspan="2">1、掌握 Wiener 滤波器的原理；
2、掌握三种横向自适应滤波器：Kalman 滤波器、LMS 滤波器、RLS 滤波器。
3、掌握自适应滤波器的典型应用。</td></tr>
<tr><td colspan="2">采用教学方法和实施步骤：</td><td colspan="2">讲授、随堂练习、编程仿真、案例教学</td></tr>
<tr><td>各教学环节和内容</td><td colspan="3">

一、Wiener 滤波器

1、介绍 Wiener 滤波器的原理。

2、**课堂练习**：习题 5.7。

3、**仿真结果**：

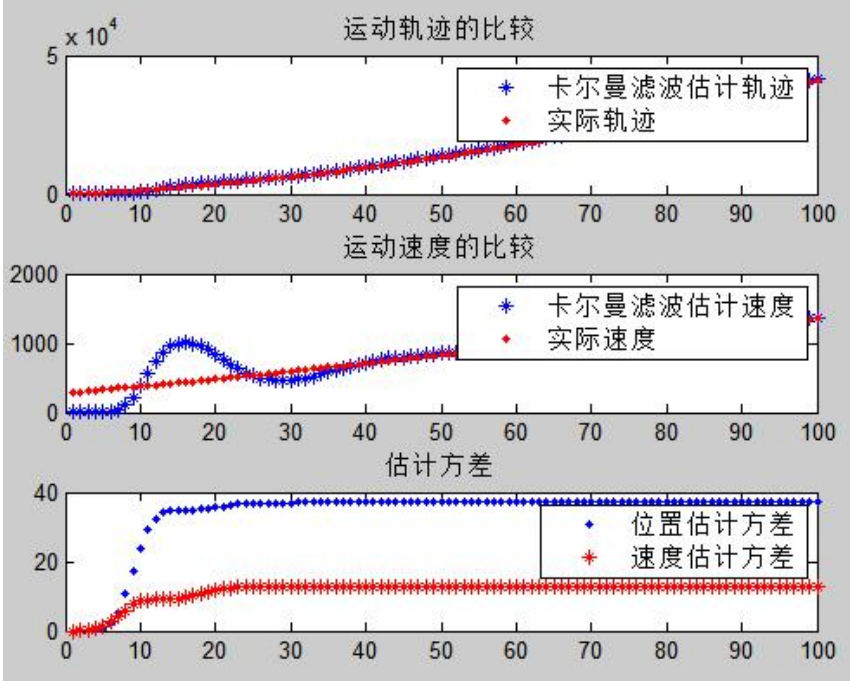


二、Kalman 滤波器

1、从状态空间方程、新息过程、Kalman 滤波器原理、Kalman 滤波器的特点等几个方面进行介绍。

2、仿真结果：

</td></tr>
</table>



3、**课堂练习**：习题 5.11。

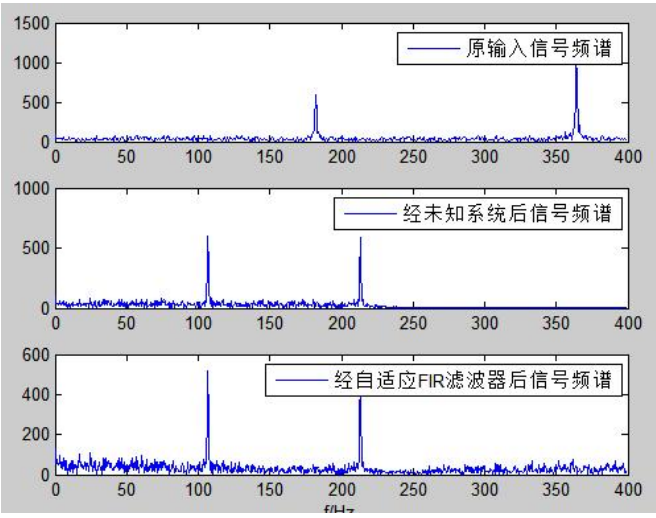
4、**案例教学**：基于卡尔曼滤波器的浊度传感器信号处理研究。讨论：（1）改案例存在哪些问题？（2）如何进行改进？

三、LMS 滤波器

1、LMS 滤波器的原理。

2、LMS 滤波器性能分析。从三个方面进行分析：瞬时梯度分析、收敛速率分析、跟踪性能分析。

3、**仿真结果**：



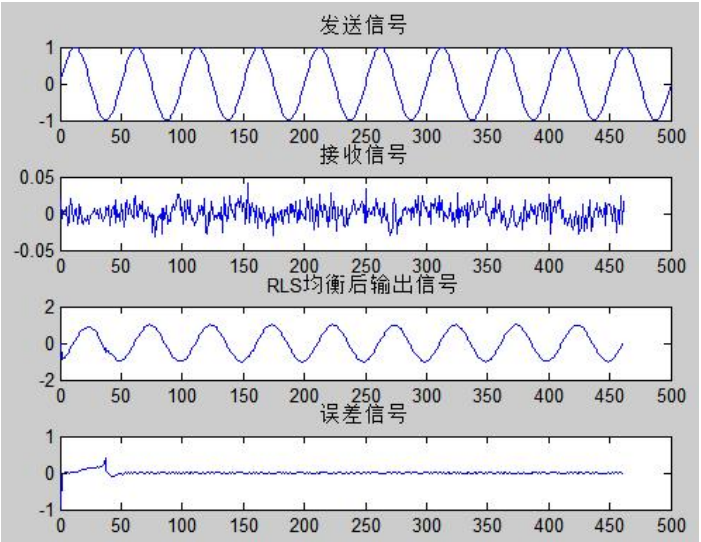
四、RLS 滤波器

1、通过与 LMS 滤波器的比较，理解 RLS 滤波器准则函数的合理性。

启发式思考题：在 RLS 滤波器准则函数中，用 w(n)取代 w(i)，一定就是合理的吗？

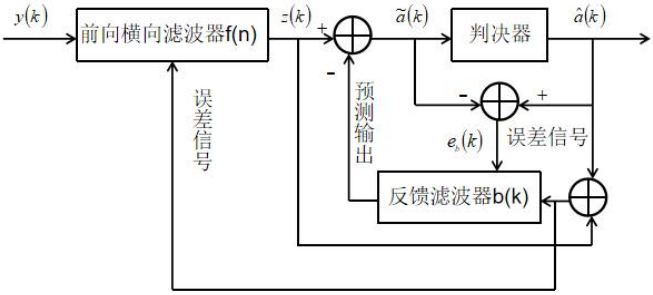
2、根据计算实时性的要求，理解 RLS 算法公式。

3、**仿真结果：**

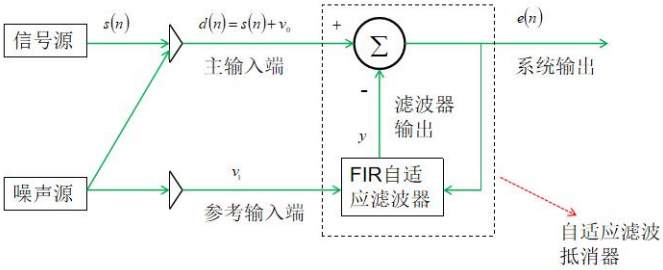


五、自适应滤波器的典型工程应用

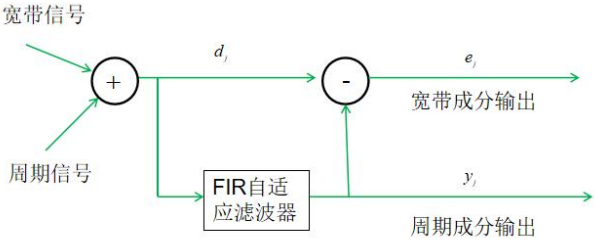
1、自适应均衡。理解于 LMS 算法的判决反馈自适应均衡的原理，尤其是两个自适应滤波器的作用。



2、自适应噪声对消



3、自适应信号分离



自学内容	自适应滤波器 MATLAB 编程.ppt；匹配滤波器。
案例教学	基于卡尔曼滤波器的浊度传感器信号处理研究。
前沿知识讲座	基于 LMS 算法的判决反馈自适应均衡。
仿真作业	1 已知信号向量为 $s[n]=[\mathrm{sgn}(\cos(2\pi 155n)),\sin(2\pi 800n),\sin(2\pi 300n+6\times\cos(2\pi 600n)),\sin(2\pi 90n),v(n)]^T$，其中 v(n)是在[-1,1]内均匀分布的噪声；sgn(x)=+1（若 x>1）或-1（若 x<1）为符号信号。矩阵 A 为信号混合矩阵，固定为 $A=\begin{bmatrix}1.000 & 0.9966 & 0.9988 & 0.9982 & 0.9985\\ 0.9966 & 1.000 & 0.9963 & 0.9995 & 0.9889\\ 0.9988 & 0.9963 & 1.000 & 0.9972 & 0.9968\\ 0.9982 & 0.9995 & 0.9972 & 1.000 & 0.9996\\ 0.9985 & 0.9889 & 0.9968 & 0.9996 & 1.000\end{bmatrix}$ 令 $x[n]=As[n]$ 为观测数据向量，采样频率取 10kHz。现希望根据观测数据自适应调整一分离矩阵 W 得到分离的信号 $\tilde{s}(n)=W(n)x(n)$，这一问题称为盲信号分离。试用 LMS 非线性主分量分析算法实现盲信号分离（参见第 9 章）。 2 设计一个 2 阶 LMS 自适应滤波器，对含噪信号进行滤波。
项目作业	胎心监护。要求：A、进行文献综述或市场调研，梳理相关研究或市场化存在的问题； B、针对某一问题，提出解决思路； C、制定技术路线； D、制定性能评价指标； E、建议使用开放数据源进行对比实验。

第七章 线性时频分析

课题：第六章 线性时频分析	课时安排：10	课次编号：15-19

教材分析	重点：	短时傅里叶变换；Gabor 变换。
	难点：	Gabor 变换。
教学目的和要求		1、掌握信号局部变换原理； 2、掌握解析信号的概念。 3、掌握短时傅里叶变换和 Gabor 变换。
采用教学方法和实施步骤：		讲授、随堂练习、编程仿真、案例教学

各教学环节和内容

一、信号局部变换

1、由 Fourier 变换的缺点引出时频分析的必要性。三个缺点：（1）傅里叶变换缺乏时间和频率的定位功能；（2）傅里叶变换对于非平稳信号的局限性；（3）傅里叶变换在分辨率上的局限性。

2、局部变换的两种途径：（1）信号取局部，核函数取全局。例如，短时 Fourier 变换、Wigner-Ville 分布。（2）信号取全局，核函数取局部。例如， Gabor 变换、小波变换。

二、解析信号与瞬时物理梁

1、解析信号表示的必要性：实信号的频谱具有共轭对称性，频谱信息冗余。

2、解析信号的构造及 Hilbert 变换。

3、基带信号与解析信号的关系：基带信号 sB(t)是解析信号 sA(t)的复包络。

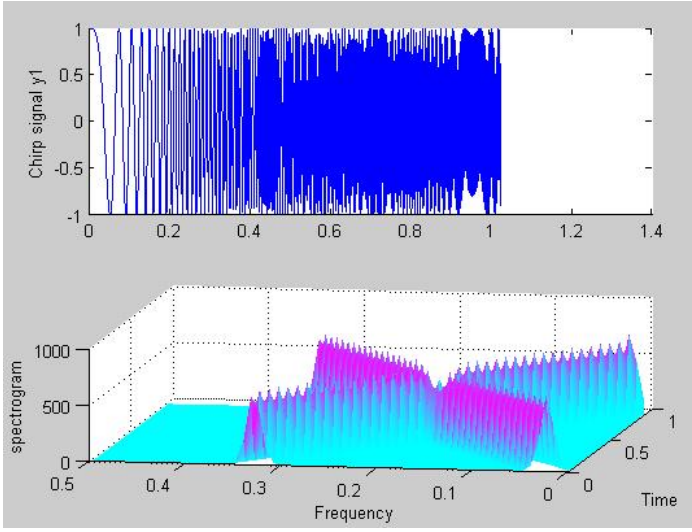
4、瞬时频率与群延迟。

5、**课堂练习**：习题 7.1。

三、短时傅里叶变换

1、短时傅里叶变换原理。

2、仿真结果：



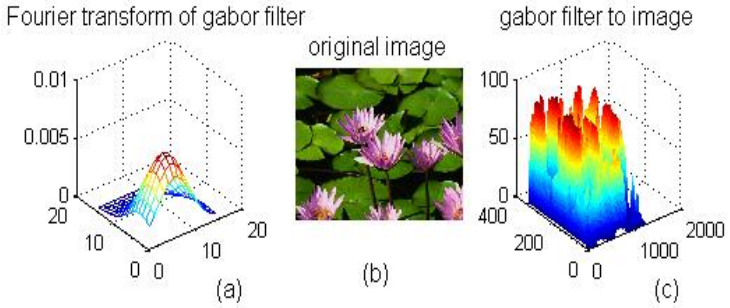
四、Gabor 变换

1、Gabor 变换原理。

启发式问题：Gabor 变换与短时傅里叶变换的异同？

2、二维 Gabor 滤波器。

仿真结果：



自学内容	时频分析 MATLAB 编程.ppt
案例教学	案例 1：分数阶 Fourier 域最优化串联二级掩模运算； 案例 2：基于改进希尔伯特-黄变换的趋势提取算法。
前沿知识讲座	讲座 1：分数阶傅里叶变换； 讲座 2：经验模态分解及 David-Huang 变换。
仿真作业	1 对于实信号 $x(t)=2\sin(k\pi t^2)$，$k=4$，$0\le T\le 5$，信号带宽 $f_c=kT=20$，采用频率 $f_s=5f_c$，采样点数 $N=Tf_s$，使用 STFT 分析其特性。
项目作业	无。

第十章 阵列信号处理

<table>
<tr><td colspan="2">课题：第七章 阵列信号处理</td><td>课时安排：6</td><td>课次编号：20-22</td></tr>
<tr><td rowspan="2">教材分析</td><td>重点：</td><td colspan="2">阵列的坐标表示；波束形成；MUSIC 方法。</td></tr>
<tr><td>难点：</td><td colspan="2">MUSIC 方法。</td></tr>
<tr><td colspan="2">教学目的和要求</td><td colspan="2">1、掌握阵列的坐标表示；
2、掌握基本的波束形成算法；
3、掌握空间谱估计 MUSIC 算法及其改进方法。</td></tr>
<tr><td colspan="2">采用教学方法和实施步骤：</td><td colspan="2">讲授、随堂练习、编程仿真、案例教学</td></tr>
<tr><td>各教学环节和内容</td><td colspan="3">

一、阵列的坐标表示

主要内容包括前提假说、等距线阵坐标系以及平面阵列坐标系。

解释清楚：波达方向的定义及取值范围；导向向量的相位符号。

二、波束形成器

1、窄带波束形成器

（1）窄带信号的定义及特性。

（2）窄带信号的阵列观测模型。

（3）窄带波束形成器结构。

（4）窄带波束形成器的方向模糊问题。

2、宽带波束形成器

（1）宽带信号的定义及特性。

（2）宽带波束形成器结构.

（3）宽带波束形成器的方向模糊问题。

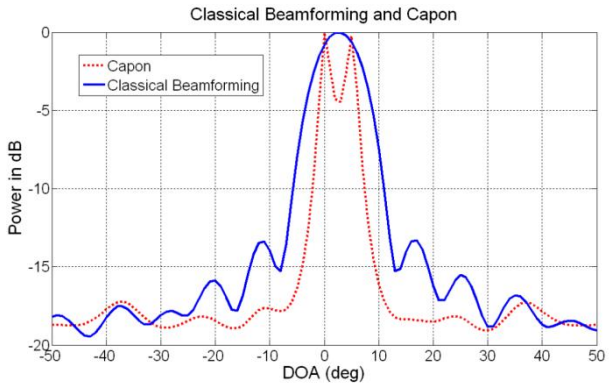
三、最优波束形成器

1、最优波束形成的一般形式。

2、最优波束形成器准则。

课堂练习：习题 10.4。

3、仿真结果：



四、自适应波束形成器

</td></tr>
</table>

1、直接实现形式。

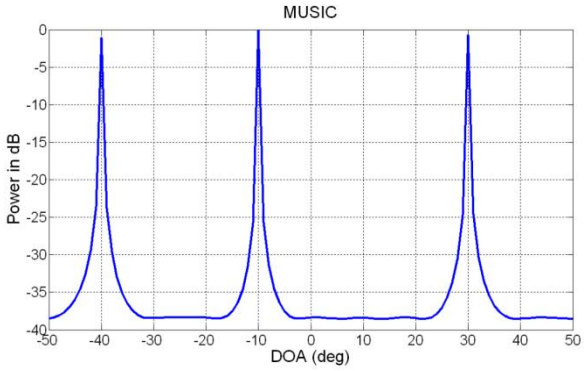
2、间接实现形式。

五、MUSIC 方法

1、子空间的概念

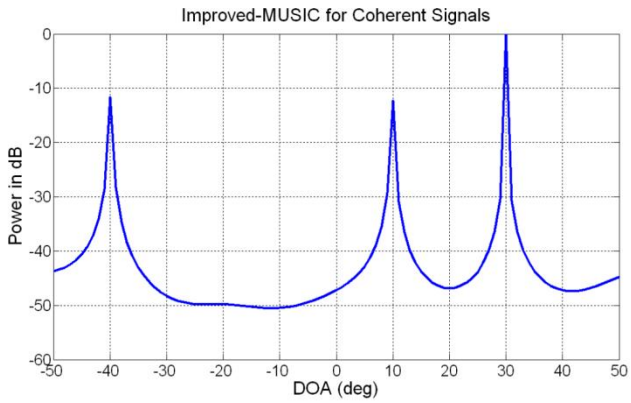
2、MUSIC 方法

仿真结果：



3、MUSIC 改进：解相干 MUSIC

仿真结果：



自学内容	阵列信号处理 MATLAB 编程.ppt
案例教学	非理想阵列导向矢量校正方法。
前沿知识讲座	无。
仿真作业	习题 10.6。
项目作业	无。

编程作业与项目作业汇报

<table>
<tr><td colspan="2">课题：编程作业与项目作业汇报</td><td>课时安排：4</td><td>课次编号：23-24</td></tr>
<tr><td colspan="2">采用教学方法和实施步骤：</td><td colspan="2">学生汇报、教师点评、学生讨论。</td></tr>
<tr><td>各教学环节和内容</td><td colspan="3">教学过程：
1、学生汇报：编程作业与项目作业。
2、针对每组汇报情况，教师进行点评，鼓励学生提问。
3、对存在的一些突出问题，引导学生讨论。</td></tr>
<tr><td colspan="2">自学内容</td><td colspan="2">信号处理数学建模.ppt</td></tr>
<tr><td colspan="2">案例教学</td><td colspan="2">无。</td></tr>
<tr><td colspan="2">前沿知识讲座</td><td colspan="2">无。</td></tr>
<tr><td colspan="2">仿真作业</td><td colspan="2">无。</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目作业</td><td colspan="2">无。</td></tr>
</table>