

# 目 录

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 0801 力学一级学科研究生核心课程指南 .....      | 1  |
| 01 连续介质力学 .....                 | 1  |
| 02 高等动力学 .....                  | 4  |
| 03 计算力学 .....                   | 6  |
| 04 实验力学 .....                   | 9  |
| 05 非线性动力学 .....                 | 11 |
| 06 高等流体力学 .....                 | 13 |
| 07 高等固体力学 .....                 | 15 |
| 08 工程力学 .....                   | 17 |
| 09 生物力学 .....                   | 19 |
| 10 数学建模 .....                   | 21 |
| 0802 机械工程一级学科研究生核心课程指南 .....    | 24 |
| 01 高等工程数学 .....                 | 24 |
| 02 现代设计理论(含高等工程力学) .....        | 27 |
| 03 先进制造理论与技术(含工程材料) .....       | 30 |
| 0803 光学工程一级学科研究生核心课程指南 .....    | 33 |
| 01 高等光学(或高等物理光学、光及电磁理论等) .....  | 33 |
| 02 光电子学(或光子学原理与应用) .....        | 35 |
| 03 激光光学(或激光物理学等) .....          | 37 |
| 04 光波导技术 .....                  | 40 |
| 05 高等光学工程实验 .....               | 41 |
| 06 虚拟现实与增强现实技术 .....            | 43 |
| 07 光学原理 .....                   | 45 |
| 08 微纳光子学及应用 .....               | 47 |
| 09 光电成像技术与系统 .....              | 50 |
| 10 现代光学设计及仪器 .....              | 52 |
| 11 先进光学制造技术 .....               | 54 |
| 0804 仪器科学与技术一级学科研究生核心课程指南 ..... | 58 |
| 01 仪器科学前沿 .....                 | 58 |
| 02 量子精密测量导论 .....               | 60 |
| 03 仪器开发与创新 .....                | 63 |
| 04 动态测试信号处理与建模 .....            | 65 |
| 05 微纳器件与系统 .....                | 67 |
| 06 微弱信号检测与处理 .....              | 70 |
| 07 机器视觉 .....                   | 73 |
| 08 超精密测量技术 .....                | 76 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 09 新型传感技术及应用 .....                 | 78  |
| 10 惯导与组合导航 .....                   | 81  |
| 11 智能测控系统设计 .....                  | 83  |
| 12 现代光学测试技术 .....                  | 84  |
| 13 成像技术 .....                      | 87  |
| 14 智能感知与自主系统 .....                 | 90  |
| 0805 材料科学与工程一级学科研究生核心课程指南 .....    | 95  |
| 01 固态相变 .....                      | 95  |
| 02 晶体结构与缺陷 .....                   | 97  |
| 03 固体物理 .....                      | 99  |
| 04 固体化学 .....                      | 100 |
| 05 材料热力学与动力学 .....                 | 103 |
| 06 计算材料学 .....                     | 104 |
| 07 材料力学性能 .....                    | 106 |
| 08 材料物理性能 .....                    | 108 |
| 09 材料分析方法原理 .....                  | 110 |
| 10 材料表面与界面 .....                   | 112 |
| 11 功能材料 .....                      | 115 |
| 12 粉末冶金及粉体材料制备技术 .....             | 117 |
| 13 材料合成与制备 .....                   | 118 |
| 14 材料加工力学基础 .....                  | 120 |
| 15 聚合物成型加工原理 .....                 | 122 |
| 16 空间材料科学与技术 .....                 | 123 |
| 0806 冶金工程一级学科研究生核心课程指南 .....       | 126 |
| 01 冶金物理化学高级课程 .....                | 126 |
| 02 钢铁冶金高级课程 .....                  | 128 |
| 03 有色金属冶金高级课程 .....                | 130 |
| 04 现代冶金新技术 .....                   | 133 |
| 0807 动力工程及工程热物理一级学科研究生核心课程指南 ..... | 136 |
| 01 高等热力学 .....                     | 136 |
| 02 高等传热学 .....                     | 138 |
| 03 高等流体力学 .....                    | 139 |
| 04 高等燃烧学 .....                     | 141 |
| 0808 电气工程一级学科研究生核心课程指南 .....       | 145 |
| 01 矩阵论 .....                       | 145 |
| 02 数值分析 .....                      | 146 |
| 03 数学物理方法 .....                    | 149 |
| 04 现代数字信号处理 .....                  | 151 |
| 05 现代控制理论 .....                    | 153 |
| 06 高等电路与网络分析 .....                 | 155 |
| 07 高等电磁场 .....                     | 157 |

### 01 仪器科学前沿

#### 一、课程概述

仪器科学与技术的发展,一直与物理学、化学、生物学和医学等基础及交叉科学的发展以及重大前沿科学问题的突破紧密相连。每次科学技术的突破都会推动仪器科学与技术的发展,而每次仪器科学与技术的进步也会对科学技术的发展有新的贡献。作为仪器科学与技术学科的研究生,应当对学科发展的历史、现状与前沿技术有深入的了解。一方面,通过对学科发展历史的了解,能够更全面地理解仪器科学与技术的内涵与外延,对于理解学科的历史地位和作用具有重要的支撑作用。另一方面,通过对仪器科学与技术发展前沿的了解,能够更进一步地明确学科在现代科技发展中的重要支撑作用,对于研究方向和研究兴趣的选择也有指导作用。

仪器科学前沿属于研究生必修学位课程。

#### 二、先修课程

无。

#### 三、课程目标

仪器科学前沿课程的设计,旨在通过介绍仪器科学与技术发展的历史、现状与前沿技术,帮助学生在全面理解学科内涵与外延的基础上,提升本学科的专业素养以及跨学科思考能力。

通过学习,期望能够达到的目标如下:

- (1) 培养科学理念,全面理解仪器科学与技术的内涵与外延,以及仪器科学与技术发展中的创新思维、科学方法;
- (2) 能够理解学科发展方向和趋势,对于驱动学科发展的源动力能够有所思考和感悟;
- (3) 提升在仪器科学与技术领域提炼科学问题以及开展深入系统研究的能力。

#### 四、适用对象

仪器科学与技术学科的博士研究生和硕士研究生。

#### 五、授课方式

授课方式以课堂讲授为主,教学方法以研讨式教学为主,建议积极开展课堂讨论,充分激发学生主观能动性,启发学生积极主动地思考相关问题。有条件的学校,建议适当加入现场参观、

专题研讨等环节,便于更深入、直观地理解课程内容。

此外,建议学科评议组组织全国仪器科学与技术学科的力量,一方面研制核心内容的教具、编制亮点内容的演示软件,另一方面选取有示范作用的内容,请专家录制视频,便于推广。另外,建议组织精品课程和教材的撰写和申报工作。

## 六、课程内容

课程总学分 2.0,按照 32 个学时进行安排。建议仪器科学历史部分 10 个学时,现状与前沿部分 22 个学时。历史发展部分为规定讲授内容,各个学校相同。现状与前沿部分均由规定和自选内容组成,其中自选内容由学校根据自己学科的特点和特色进行安排,以兼顾不同学校的培养要求。

### 第一部分 历史发展

10 学时,5 次课

- 1.1 标准溯源体系中的仪器科学
- 1.2 科学(物理/化学/生物/医学等)及工程技术突破与仪器科学进步
- 1.3 社会发展(智慧生活、网络、人工智能等)与仪器科学进步
- 1.4 仪器科学发展历程中科学理念、创新思维和科学方法
- 1.5 仪器学科分布及发展特点(对国外学科发展可结合观察、测量(计量)和分析仪器等进行介绍)

### 第二部分 现状与前沿

22 学时,11 次课,采用专题方式,重点介绍仪器科学领域突破性进展及科学前沿。其中,8 次课是规定讲授内容,3 次课由各个学校自己安排。

- 2.1 MEMS 技术与仪器科学
- 2.2 光纤(诺贝尔奖)
- 2.3 巨磁阻(诺贝尔奖)
- 2.4 质谱(诺贝尔奖)
- 2.5 光频梳(计量)
- 2.6 量子传感与量子计量
- 2.7 深度学习与人工智能
- 2.8 工业 4.0 中的仪器科学
- 2.9 各学校结合本学科特点与研究优势安排

## 七、考核要求

课程考核以完成论文的方式进行。要求完成 2 篇论文,一篇是课程内容的总结和启示,要求不少于 3000 字,占 40%;另外一篇是课程内容在所从事科学研究中的应用,占 60%。

## 八、编写成员名单

尤政(清华大学)、钱政(北京航空航天大学)、董永贵(清华大学)、王鹏(清华大学)、李玉和(清华大学)、王鹏(天津大学)等

## 02 量子精密测量导论

### 一、课程概述

随着量子科学和量子技术的发展,量子物理学与其他学科的交叉研究方向也已逐渐从理论研究走向技术应用。其中,量子精密测量技术作为量子科学和仪器科学与技术两个学科的融合领域,已成为量子技术走向应用的典型代表。量子精密测量使用量子力学系统作为各种物理量的传感器,充分利用了量子系统对外部干扰的强烈敏感性。目前的量子传感器很大一部分是以原子的量子物理特性(量子化能级、自旋磁矩、物质波、相干态、不确定性等)为基本原理的,包括原子钟、原子磁强计、原子陀螺仪等在内的原子精密测量仪器。

近年来很多国家都已经开始大力支持量子科学仪器的发展,量子精密测量是其中很重要的一部分,该方向已成为国际精密测量领域的重要发展方向。量子精密测量是涉及前沿物理理论和工程技术应用的交叉学科,需要的基础知识覆盖面很广,而本科阶段的讲授一般只能侧重其中某一方面,因此,研究生阶段的教学是培养该领域人才的重要组成部分。

本课程的教授内容应可以适应仪器学科、物理学科等众多学科本科生跨专业进入量子精密测量领域学习研究,针对研究生未来研究内容涉及的具体仪器介绍相关国内外进展、基本物理原理、仪器构造及仪器各组成部分的特点,为研究生的进一步科研打下基础。本课程建立在学生已对传感器、光学或原子物理学及量子力学等具有一定了解的基础上,以磁场测量和角速度测量仪器为例系统介绍相关基础知识及整体仪器搭建的各个关键点,学生能够与自身的本科所学知识相结合同时有目的地补充其他相关课程。

本课程分为理论课程与实验课程两部分,培养学生从理论到实践对仪器的整体了解。理论课程部分介绍量子精密测量的内容及基础知识,并针对所教学的研究生对象未来的研究内容介绍相关国内外进展、基本物理原理、仪器构造及仪器各组成部分的特点。实验课程部分将结合演示介绍和实验操作整体介绍量子精密测量仪器的搭建并让学生实践基本操作。此外,教师还应指导学生如何补充相关先修课程缺失部分,使学生能够针对性地学习知识以便高效率地修习本课程内容。(本提纲以磁场测量仪器和角速度测量仪器为主要内容,各学校可以根据具体研究背景调整。)

### 二、先修课程

传感器技术及应用,控制理论(本科),精密仪器设计,光学,原子物理,量子力学等。

(作为交叉学科的研究生基础课,本课程需要学生在学习过程中根据教师讲授和指导自行补充相关欠缺课程内容。)

### 三、课程目标

通过本课程的学习,使学生掌握量子精密测量相关的基本概念和基本理论,了解目前几种典型量子科学仪器的基本原理和最新技术进展。通过实例讲解,使学生理解精密仪器设计的整

体思路和共性问题,了解针对不同仪器设备的一些特殊设计,并能够通过使用所学知识探索科研实际问题。通过实验课程为学生从事该领域的科学研究和技术研发工作打下必要的基础,培养学生思辨能力和基本的科研素养。通过指导学生如何补充相关先修课程缺失部分,使学生能够学会针对性地学习知识,既能提高修习本课程的效率也培养学生的自主学习能力。

#### 四、适用对象

仪器科学与技术一级学科中量子科学仪器部分学科方向的博士研究生和硕士研究生。

#### 五、授课方式

本课程采取教授、交流(思考题)相结合的方式,同时针对性地指导学生补充相关先修课程缺失的部分。学生课下必须自己收集、查阅量子传感、量子仪器相关资料。教学中既要照顾到整体课程内容,又要考虑学生在研究过程中所需知识的对应关系,针对不同知识背景、研究方向的学生,设置多角度的思考题,提供深入钻研的线索,激发学生自主学习的兴趣。

#### 六、课程内容

本课程可以研究内容为依托设立具体量子精密测量仪器部分内容。以磁场测量仪器和角速度测量仪器为主的课程设置内容涵盖以下部分:

##### 第一讲 绪论

- 1.1 量子精密测量仪器现状及发展趋势
- 1.2 量子精密测量仪器的分类
- 1.3 超高灵敏原子磁强计与原子陀螺仪技术国内外研究进展
- 1.4 本门课程的安排

分配学时:3 学时

##### 第二讲 量子精密测量基础

- 2.1 量子精密测量物理基础
  - 2.1.1 量子物理学基础
  - 2.1.2 量子测量原理
  - 2.1.3 典型的原子(原子、分子结构)与能级
  - 2.1.4 光与原子相互作用
  - 2.1.5 原子间相互作用
  - 2.1.6 磁场中的原子
- 2.2 量子精密测量仪器设计基础
  - 2.2.1 量子精密仪器的基本组成与总体设计
  - 2.2.2 量子精密测量仪器的精确度分析
  - 2.2.3 机械系统与控制系统
  - 2.2.4 光学系统与控制
  - 2.2.5 电磁系统与控制
  - 2.2.6 温度控制与力、热、电磁耦合分析

## 2.3 几种精密测量仪器理论

### 2.3.1 SERF 测量仪器

### 2.3.2 核磁共振角速度测量仪器

### 2.3.3 金刚石氮-空位色心共振磁测量仪器

### 2.3.4 冷原子干涉惯性测量仪器

分配学时:12 学时

## 第三讲 SERF 原子磁强计

### 3.1 基本原理和组成

### 3.2 气室制备

### 3.3 加热系统与温度控制

### 3.4 磁屏蔽器件与磁补偿线圈系统

### 3.5 泵浦光系统

### 3.6 检测光系统

### 3.7 数据收集及处理系统

### 3.8 综合设计及控制部分

分配学时:3 学时

## 第四讲 SERF 原子角速度测量仪器

### 4.1 基本原理和组成

### 4.2 气室制备

### 4.3 加热系统与温度控制

### 4.4 磁屏蔽器件、磁补偿线圈系统

### 4.5 泵浦光系统与自旋交换碰撞极化

### 4.6 检测光系统

### 4.7 数据收集及处理系统

### 4.8 综合设计及控制部分

分配学时:3 学时

## 第五讲 核磁共振陀螺仪

### 5.1 基本原理和组成

### 5.2 气室制备

### 5.3 加热系统与温度控制

### 5.4 磁屏蔽器件与磁补偿线圈系统

### 5.5 激光系统

### 5.6 数据收集及处理系统

### 5.7 综合设计及控制部分

分配学时:3 学时

## 第六讲 金刚石色心磁强计

### 6.1 金刚石 NV 色心样品

### 6.2 极化与检测系统

## 6.3 微波操控系统

## 6.4 系统控制与数据收集及处理系统

## 6.5 金刚石色心陀螺仪

分配学时:3 学时

## 第七讲 其他量子科学仪器及应用

## 7.1 原子钟

## 7.2 原子重力仪

## 7.3 原子干涉陀螺仪

## 7.4 量子科学仪器在物理学、化学及医学中的应用

## 7.5 量子科学仪器在国防领域中的应用

分配学时:3 学时

实验课一:SERF 原子磁强计原理验证试验

分配学时:2 学时

实验课二:SERF 原子陀螺仪原理验证试验

分配学时:2 学时

本课程的重点在于:

- (1) 对量子和量子测量的理解和应用;
- (2) 对量子精密测量仪器结构的整体理解和应用。

本课程的难点在于:教师应指导学生如何补充相关先修课程缺失部分,同时学生在教师的指导下应该针对性地学习知识以便能高效率地修习本课程内容。

## 七、考核要求

出勤 20%,课后作业 20%,考试 60%。

## 八、编写成员名单

房建成(北京航空航天大学)、刘刚(北京航空航天大学)、全伟(北京航空航天大学)、袁珩(北京航空航天大学)、胡朝晖(北京航空航天大学)、李海容(北京航空航天大学)等

# 03 仪器开发与创新

## 一、课程概述

仪器开发与创新是仪器科学与技术专业研究生课程体系的一门专业核心课。仪器开发与创新是融合仪器科学与技术各门专业知识,综合仪器开发过程中的技术与非技术因素,提升学生仪器开发与创新综合能力的课程。

## 二、先修课程

电路原理,工程光学,模拟电子技术,数字电子技术,信号与系统,精密机械理论,误差理论。

## 三、课程目标

通过“仪器开发与创新”课程,将原理、方法与仪器开发案例相结合,使学生掌握仪器产品开发流程、原理、创新方法及技术等,培养学生把学到的技术理论运用到实践中的能力,全面提升研究生的创新意识和综合素质。

## 四、适用对象

仪器科学与技术专业博士研究生和硕士研究生。

## 五、授课方式

通过讲授式、课件式、项目式、案例式教学法的结合,建立“以学生为中心,以综合能力培养为目标”的混合式教学模式,实现从遵循教科书的被动学习到系统性自主学习的转变,从单纯的知识技能学习到综合知识和复合技能学习的转变。

## 六、课程内容

### 第一章 仪器产品开发流程

- 1.1 市场与用户研究
- 1.2 概念草图与模型
- 1.3 闭环式设计开发

■重点:开发流程的科学性与高效性方法。

### 第二章 仪器产品开发的非技术因素

- 2.1 非技术因素的重要性
- 2.2 开发过程管理
- 2.3 准入资质
- 2.4 知识产权
- 2.5 政策法规

■重点:非技术因素的重要性。

### 第三章 仪器产品创新概论

- 3.1 仪器产品创新的概念(意义、指标)
- 3.2 仪器产品创新的必要性与复杂性
- 3.3 仪器产品创新策略及其过程

■重点:创新策略。

### 第四章 仪器产品创新方法

- 4.1 仪器产品创新方法的概念和组成
- 4.2 创新方法的产生

#### 4.3 创新方法的评价与选择

- 重点:创新方法。

### 第五章 计算机辅助创新技术(CAI)

#### 5.1 CAI 的概念

#### 5.2 TRIZ 理论

#### 5.3 现代设计方法学

#### 5.4 人工智能技术和多学科原理

- 重点:计算机辅助创新设计的原理与方法。

### 第六章 仪器产品性能测试与评价

#### 6.1 性能测试的必要性与指标

#### 6.2 性能测试原理与方法

#### 6.3 不确定度分析与评价

- 重点:不确定度分析及量值溯源。

### 第七章 仪器产品开发案例

#### 7.1 视觉检测系统开发案例

#### 7.2 动叶片振动测试系统开发案例

- 重点:将理论与方法与案例结合的能力。

## 七、考核要求

出勤 20%+课后作业 20%+综合报告 60%。

## 八、编写成员名单

吴斌(天津大学)、钱政(北京航空航天大学)、黄强先(合肥工业大学)、段发阶(天津大学)等

## 04 动态测试信号处理与建模

### 一、课程概述

结合仪器科学与技术学科领域技术发展的实际,从动态信号处理技术的理论、实现、应用几个方面着手,介绍动态信号处理技术的共性知识,讨论信息获取、处理及利用过程中动态信号处理的基本理论,介绍动态信号处理方法的应用和实现技术,包括时间序列分析、谱分析、自适应信号处理、小波分析等。

### 二、先修课程

信号与系统,数字信号处理。

### 三、课程目标

了解仪器科学与技术学科动态测试发展趋势,掌握动态测试信号典型的处理方法,能对实际动态测试信号进行初步分析。

### 四、适用对象

仪器科学与技术专业博士研究生和硕士研究生。

### 五、授课方式

讲授、综合设计、讨论。

### 六、课程内容

#### 第一章 测量中的动态信号

##### 1.1 动态测试问题

##### 1.2 动态测试信号

#### 第二章 随机信号分析

##### 2.1 随机信号及其特征描述

##### 2.2 平稳随机信号

##### 2.3 平稳随机信号的各态遍历性

##### 2.4 平稳随机信号应用举例

##### 2.5 参数估计及质量评价

#### 第三章 动态测试信号频域分析法

##### 3.1 傅里叶变换

##### 3.2 随机信号的功率谱估计

##### 3.3 随机信号通过线性系统的频域分析方法

##### 3.4 系统频响函数估计

##### 3.5 线性系统传递函数的频域辨识法

#### 第四章 动态测试信号时域分析法

##### 4.1 AR 模型

##### 4.2 MA 模型

##### 4.3 ARMA 模型

##### 4.4 利用模型的功率谱估计

#### 第五章 动态测试信号的时频联合分析

##### 5.1 短时傅里叶变换

##### 5.2 Wigner 分布

##### 5.3 小波变换基础

#### 第六章 现代滤波技术

##### 6.1 最优线性滤波器

## 6.2 自适应滤波器

## 第七章 动态测试信号处理新技术

### 7.1 Hilbert-Huang 变换

### 7.2 分形特征分析

### 7.3 混沌信号分析

## 第八章 典型动态测量案例

### 8.1 导弹控制系统动态测试中的信号处理

### 8.2 基于时变参数模型的飞行器遥测速变信号特征提取方法

### 8.3 浅海多波束测深回波信号建模及波达时间

### 8.4 陀螺仪随机漂移的时间序列建模

## 七、考核要求

结合作业、综合训练、考试进行考核。

## 八、编写成员名单

曾周末(天津大学)、段发阶(天津大学)、张福民(天津大学)、李健(天津大学)

## 05 微纳器件与系统

### 一、课程概述

本课程是仪器科学与技术学科的专业基础课程。微纳器件与系统是指器件特征尺寸从微米到纳米量级的器件与系统,具有多学科交叉的特点,集微电子、微机械、微光学、微流体力学、微热力学、微摩擦学等于一体的智能传感器、执行器与微系统,是仪器科学与技术领域的前沿,对仪器科学与技术的发展带来了革命性的深远影响。

本课程从微纳器件与系统的基本概念与内涵、应用基础出发,系统讲授相关的基础理论、材料特性、加工工艺、典型器件及其在仪器科学等领域的应用等。本课程强调对微纳器件与系统的物理理论与技术的理解和综合运用,并深入分析典型器件及系统在仪器科学相关领域的应用,特别是让学生把握微纳器件与系统在信息科学和国防安全等领域的前沿发展方向。通过本课程的学习,使研究生掌握本技术领域的理论、设计、制造和应用方法,同时培养提高研究生的系统设计和创新性思维能力。

### 二、先修课程

大学物理,机械制图,模拟/数字电子技术,工程力学,工程光学,传感器技术,微电子技术等。

### 三、课程目标

通过本课程的学习,了解和掌握微纳器件与系统的概念与内涵、技术现状及发展趋势;掌握微纳器件与系统所涉及的理论、材料、设计、制造等关键技术;掌握典型微纳器件的原理、结构、特性及应用方法,具备微纳器件的系统设计能力;了解微纳器件与系统在军民相关领域的应用,促使学生对仪器科学与技术领域发展新方向的了解,提高创新性思维能力。

### 四、适用对象

仪器科学与技术学科的博士研究生和硕士研究生。

### 五、授课方式

集中讲授,穿插实例分析,专题讨论,辅以实验室参观。其中,集中讲授讲解知识点;实例分析着重典型器件与系统的介绍;专题讨论介绍前沿发展方向;实验室参观让学生对器件加工、封装和测试有更直观的理解。多授课方式强调理论与实践相结合,培养学生的自主思考与创新能力。

### 六、课程内容

#### 第一章 微纳器件与系统概述(2 学时)

- 1.1 微纳器件与系统的概念与内涵
- 1.2 微纳器件与系统的分类与特性
- 1.3 发展历程与发展趋势

- 重点:微纳器件与系统的概念与内涵。
- 难点:微纳器件与系统发展趋势。

#### 第二章 微纳器件与系统的技术基础(8 学时)

- 2.1 尺度效应
  - 2.1.1 尺度效应对材料性能的影响
  - 2.1.2 尺度效应对电学特性的影响
  - 2.1.3 尺度效应对流体特性的影响
  - 2.1.4 尺度效应对热传导的影响
- 2.2 常用材料及其特性
  - 2.2.1 硅
  - 2.2.2 硅化合物
  - 2.2.3 有机材料
  - 2.2.4 智能材料
- 2.3 设计方法与仿真
- 2.4 器件的封装与测试

- 重点:微纳器件与系统涉及的物理规律、常用材料、设计和仿真的方法。
- 难点:微纳器件与系统涉及的物理规律的微观效应。

### 第三章 微纳器件的加工工艺(8 学时)

- 3.1 光刻工艺
- 3.2 薄膜制备工艺
  - 3.2.1 氧化
  - 3.2.2 化学气相淀积
  - 3.2.3 物理气相沉积
- 3.3 刻蚀工艺
  - 3.3.1 湿法腐蚀
  - 3.3.2 干法腐蚀
- 3.4 纳米加工工艺
  - 3.4.1 纳米压印
  - 3.4.2 电子/离子束直写
- 3.5 其他常用工艺
  - 3.5.1 掺杂技术
  - 3.5.2 键合技术
  - 3.5.3 LIGA 工艺
  - 3.5.4 三维集成

■ 重点:不同工艺的原理、设备和流程。

■ 难点:组合工艺的运用。

### 第四章 典型微纳器件(10 学时)

- 4.1 微传感器
  - 4.1.1 微力学传感器
  - 4.1.2 微电学传感器
  - 4.1.3 微声波传感器
- 4.2 微执行器
  - 4.2.1 微马达
  - 4.2.2 微齿轮
  - 4.2.3 微开关
  - 4.2.4 扬声器
- 4.3 微光学器件
  - 4.3.1 微镜阵列
  - 4.3.2 微光扫描器
  - 4.3.3 微光开关
  - 4.3.4 微透镜
- 4.4 微能源器件
  - 4.4.1 微纳能源
  - 4.4.2 化学能电池
  - 4.4.3 微能源采集器件

#### 4.4.4 微储能器件

### 4.5 微流控芯片

#### 4.5.1 微流控的概念与特点

#### 4.5.2 微液滴芯片

#### 4.5.3 微阵列芯片

■ 重点:典型微纳器件(力学传感器、微光学器件、微流控芯片和微能源器件等)的原理和结构。

■ 难点:高性能微纳器件的原理和设计方法。

### 第五章 微纳器件与系统的应用(4学时)

#### 5.1 微纳器件与系统的应用领域

#### 5.2 微纳器件与系统的前沿

■ 重点:结合工程实际问题讲解微纳器件与系统的应用。

■ 难点:微纳器件与系统前沿发展方向的把握。

课程实验:设计与仿真、版图设计与工艺、封装与测试(若缺少实验条件,建议通过网上视频学习完成)。

## 七、考核要求

结合基础知识和设计案例考试、专题口头报告和结课论文等形式综合考查学生对知识的掌握程度和对前沿方向的了解。基础知识针对课程的核心知识点采用选择题和填空题的题型考查学生;设计案例考试针对某一种器件在结构设计和制备中的实际问题考查学生对器件设计与制备知识的掌握,通过问答题的方式考查;专题口头报告组织学生通过小组的方式查找最新的微纳器件与系统方面的研究进展,设计PPT并在课堂上展示;结课论文针对某一器件或系统的应用方向进行调研并撰写综述性的论文。

## 八、编写成员名单

李顺波(重庆大学)、贺学锋(重庆大学)、温中泉(重庆大学)、温志渝(重庆大学)

## 06 微弱信号检测与处理

### 一、课程概述

微弱信号检测与处理是仪器科学与技术专业研究生课程体系的一门专业核心课。微弱信号检测与处理技术在众多测量领域具有广泛应用,其主要任务是运用数学、电子学、光学、信息学等理论和方法,实现噪声中微弱信号的有效提取和处理。本课程从应用角度出发介绍微弱信号检测与处理的相关理论、方法和应用,使学生了解微弱信号检测与处理技术的概念、主要内容

和运用领域,理解微弱信号检测的基本原理,掌握微弱信号检测的基本理论和一般方法。

## 二、先修课程

模拟电子技术基础,信号与系统,数字信号处理。

## 三、课程目标

(1) 了解微弱信号检测的基本概念与常规方法,熟悉微弱信号的定义与特征,熟悉常见微弱信号传感方法,熟悉微弱信号检测与处理的分类;

(2) 熟悉随机噪声及其统计特征,熟悉随机噪声通过电路系统的响应,掌握等效噪声带宽计算方法和噪声测量方法;

(3) 熟悉常规小信号检测方法,掌握差分放大、滤波、调制解调、零位法、反馈补偿法的原理与方法;

(4) 熟悉典型微弱信号检测与处理方法,了解锁定放大、取样积分与数字式平均、相关检测、自适应噪声抵消和随机共振的基本原理,掌握锁定放大器的设计与应用,取样积分器的参数选择及应用,相关函数算法及实现方法;

(5) 了解微弱电学量检测与处理方法,了解放大器的噪声源、噪声指标与噪声特性,掌握低噪声放大器的设计方法,了解干扰噪声的来源、特点及其抑制方法,掌握数字电桥的基本原理与典型应用;

(6) 了解微弱光信号检测与处理方法,了解光学系统的噪声来源与特性,熟悉光子计数原理,熟悉常见光子探测器的特性及其典型应用。

(7) 了解微弱磁信号检测与处理方法,了解地磁场结构特点,熟悉弱磁检测的磁异常特征,掌握磁通门传感器、光泵磁力仪的基本原理与典型应用;

(8) 了解其他微弱信号(力、声、电磁)检测与处理方法,熟悉基本原理与典型应用;

(9) 在测控系统设计及研发中,运用微弱信号检测知识,突破传统教学中的测控系统理念,开发出具有高信噪改善比、高检测分辨力的检测系统。

## 四、适用对象

仪器科学与技术专业博士研究生和硕士研究生。

## 五、授课方式

以课堂教学为主,采用课件式、项目式、案例式教学方法,以及 CDIO 教学模式,调动学生在课堂上的主动性,引导学生通过自主学习、独立思考、团队协作完成课程学习。

## 六、课程内容

### 第一章 微弱信号检测与处理绪论

#### 1.1 微弱信号检测与处理概述

#### 1.2 微弱信号的定义与特征

#### 1.3 常见微弱信号传感方法

#### 1.4 微弱信号检测与处理的分类

- 重点:微弱信号的定义与特征,微弱信号的传感方法。

### 第二章 微弱信号检测噪声分析

#### 2.1 随机噪声基础

- 2.1.1 随机噪声及其统计特征
- 2.1.2 常见随机噪声
- 2.1.3 随机噪声通过电路系统的响应
- 2.1.4 等效噪声带宽
- 2.1.5 噪声测量

#### 2.2 电路噪声及抑制

- 2.2.1 电子系统内部的噪声源与噪声特性
- 2.2.2 低噪声放大器设计
- 2.2.3 外部干扰噪声及其抑制
- 2.2.4 电路接地
- 2.2.5 其他噪声抑制技术

- 重点:随机噪声及其统计特征,等效噪声带宽计算方法,低噪声放大器设计方法,外部干扰噪声及其抑制。

### 第三章 常规小信号检测方法

- 3.1 差分放大
- 3.2 滤波
- 3.3 调制解调
- 3.4 零位法
- 3.5 反馈补偿法

- 重点:滤波器的分类与应用,调制解调的原理及其频谱分析。

### 第四章 典型微弱信号检测与处理方法

- 4.1 锁定放大
- 4.2 取样积分与数字式平均
- 4.3 相关检测
- 4.4 自适应噪声抵消
- 4.5 随机共振

- 重点:锁定放大器的设计与应用,取样积分器的参数选择及应用,相关函数算法及实现方法。

### 第五章 微弱电学量检测与处理

- 5.1 电子元器件的噪声
- 5.2 数字电桥
- 5.3 电荷放大
- 5.4 典型案例——微小电容检测

- 重点:电子元器件的噪声特性分析,数字电桥、电荷放大的原理与实现方法。

## 第六章 微弱光信号检测与处理

- 6.1 光学系统的噪声来源及其特性
- 6.2 光子计数
- 6.3 常用单光子探测器
- 6.4 典型案例——拉曼光谱检测

■ 重点:光学系统噪声特性分析,光子计数的原理与单光子探测器的应用。

## 第七章 微弱磁信号检测与处理

- 7.1 地磁场结构特点
- 7.2 弱磁检测的磁异常特征
- 7.3 磁通门传感器
- 7.4 光泵磁力仪
- 7.5 典型案例——浮标磁探

■ 重点:弱磁检测的磁异常特征,磁通门传感器的原理与应用,光泵磁力仪的原理与应用。

## 第八章 其他微弱信号检测与处理

- 8.1 微弱力信号检测(典型案例——原子力显微镜)
- 8.2 微弱声信号检测(典型案例——水下声学探测)
- 8.3 微弱电磁信号检测(典型案例——引力波探测)

■ 重点:微弱力、声、电磁信号的检测原理与应用。

## 七、考核要求

出勤 20%+课后作业 20%+综合报告 60%

## 八、编写成员名单

段发阶(天津大学)、胡春光(天津大学)、蒋佳佳(天津大学)等

# 07 机器视觉

## 一、课程概述

计算机视觉是用计算机实现对视觉信息处理的全过程,是一门新兴的学科。计算机视觉的研究目标不仅在于模拟人眼能完成的功能,更重要的是它能完成人眼所不能胜任的工作,通过一幅或多幅图像认知周围环境信息的能力。而机器视觉是建立在计算机视觉理论上,重点在于感知环境中物体的形状、位置、姿态、运动等几何信息。目前机器视觉已在三维重建、精密测量、缺陷检测、运动估计等领域显示了巨大的理论和应用价值,并广泛应用于航空、航天、航海、铁路、冶金、汽车、工业制造等相关行业领域,成为仪器科学与技术学科领域的重要研究

内容。

开设“机器视觉”课程,主要是讲述机器视觉的基本原理、方法、关键技术与实用算法等方面的相关知识,并通过课后实践,让学生初步具备构建机器视觉系统的能力,为今后相关的科学研究奠定坚实的理论及实践基础。另外,本课程也为仪器科学与技术学科中光学成像分析仪器设备、图像识别与分析仪器设备、工业自动化检测仪器设备等研究所需的相关直接课程紧密结合,可以提供相关的理论和方法支撑。因此,本课程在仪器科学与技术学科的课程体系中具有核心位置。

## 二、先修课程

高等数学,线性代数,概率论,数字图像处理。

## 三、课程目标

通过学习本课程,可以在理论上掌握机器视觉的基本原理、方法及关键技术与实用算法,在实践上初步具备针对实际问题构建机器视觉系统的能力,为今后相关的科学研究奠定坚实的理论及实践基础。

## 四、适用对象

博士研究生和硕士研究生。

## 五、授课方式

采用课堂理论教学与课后实践相结合的教学方法,理论教学为主,课后实践为辅。充分利用已经取得的科研成果及设备,让学生了解最新科研成果,并在相关设备上实验及研究,可以更加深刻体会和掌握课堂讲授的理论知识,为今后的相关科研工作奠定基础。

每周授课 2 学时,总学时 32 学时。

## 六、课程内容

### 第一章 绪论(2 课时)

- 1.1 概述
- 1.2 机器视觉的发展及系统构成
- 1.3 Marr 的视觉理论框架
- 1.4 机器视觉的应用领域及面临的问题

### 第二章 空间几何变换与摄像机模型(2 课时)

- 2.1 空间几何变换
- 2.2 几何变换的不变量
- 2.3 摄像机透视投影模型
- 2.4 摄像机透视投影近似模型

### 第三章 视觉图像特征信息提取(4 课时)

- 3.1 角点检测算子

### 3.2 边缘检测算子

### 3.3 线条检测算子

### 3.4 光点检测算子

## 第四章 摄像机标定(4 课时)

### 4.1 基于 3D 立体靶标的标定

### 4.2 基于径向约束的摄像机标定

### 4.3 基于 2D 平面靶标的摄像机标定

## 第五章 双目立体视觉(4 课时)

### 5.1 双目立体视觉原理及结构

### 5.2 双目立体视觉中的极限约束

### 5.3 双目立体视觉的对应匹配

### 5.4 双目立体视觉系统标定

## 第六章 结构光三维视觉(4 课时)

### 6.1 结构光三维视觉基本原理

### 6.2 结构光三维视觉测量模型

### 6.3 结构光三维视觉标定方法

## 第七章 其他三维视觉技术(2 课时)

### 7.1 光度立体视觉

### 7.2 由纹理恢复形状

### 7.3 激光测距法

### 7.4 莫尔阴影和散焦测距

## 第八章 多传感器三维视觉(4 课时)

### 8.1 多传感器视觉测量原理

### 8.2 全局标定方法

### 8.3 全局标定系统

### 8.4 全局标定精度分析与评价

## 第九章 运动视觉分析(2 课时)

### 9.1 图像运动特征提取

### 9.2 基于光流法的运动分析

### 9.3 光流计算

## 应用实例 I (2 课时)

### 1. 概述

### 2. 系统硬件及软件组成

### 3. 图像特征分析与提取

### 4. 系统标定与测量应用

## 应用实例 II (2 课时)

### 1. 概述

### 2. 系统硬件及软件组成

3. 图像特征分析与提取

4. 系统标定与测量应用

## 七、考核要求

开卷考试与课后大作业相结合。满分 100 分,其中开卷考试占 70 分,课后大作业占 30 分。

## 八、编写成员名单

张广军(北京航空航天大学)、魏振忠(北京航空航天大学)、刘震(北京航空航天大学)

# 08 超精密测量技术

## 一、课程概述

随着国家对高端科学与仪器重大需求,超精密测量技术的发展受到越来越多领域的关注和重视,而“超精密测量技术”是仪器科学与技术学科硕士研究生的核心课程,通过本课程的学习,不仅使研究生能够掌握超精密测量领域的最新理论和技术,并了解本领域国际最新发展动态和发展趋势;本课程涵盖超精密测量领域中几何量的长度、角度、坐标、纳米微观三维形貌和我国亟待解决的核心技术和现有超精密测量原理和方法。针对相关测量技术讲述误差理论与数据处理方法。展望人工智能技术在超精密测量领域的应用。

## 二、先修课程

精密测量原理与技术,误差理论与不确定度分析,物理光学,工程光学。

## 三、课程目标

通过本课程的学习,使研究生了解超精密测量技术的重要意义、国内外前沿研究进展;掌握激光干涉仪、纳米坐标机、单/多站激光跟踪仪、自准直仪、扫描探针显微镜、共焦显微镜等前沿几何量超精密测量的关键技术;了解和掌握超精密测量技术中测量数据分析和误差分离方法;熟悉人工智能方法在超精密测量领域中的应用前景。使研究生具备分析、应用前沿超精密测量技术的能力,以及超精密测量技术研究和创新能力。

## 四、适用对象

硕士/博士研究生。

## 五、授课方式

(1) 启发式、引导式教学和精讲多练的授课方法;

- (2) 多种方法授课——多媒体 PPT、动画视频、实物模型及板书有机结合；
- (3) 强化实践训练——课程报告、答辩、大作业训练。

## 六、课程内容

围绕几何量超精密测量问题,本课程重点讲授的内容包括超精密长度、坐标、角度、表面三维形貌、几何误差的超精密测量原理和技术,人工智能在测量技术中的应用等。

### 第一章 超精密测量概论(2 学时)

- 1.1 超精密测量技术背景、意义
- 1.2 量值传递与溯源
- 1.3 超精密测量技术国内外研究现状

### 第二章 超精密长度测量方法(4 学时)

- 2.1 甚多轴快速激光干涉测距技术
- 2.2 激光干涉仪信号细分与辩向技术
- 2.3 多波长测量技术
- 2.4 外差/超外差探测技术

### 第三章 超精密坐标测量方法(4 学时)

- 3.1 纳米坐标机关键技术
- 3.2 单/多站式激光跟踪仪原理及关键技术
- 3.3 iGPS、全站仪关键技术

### 第四章 超精密角度测量方法(2 学时)

- 4.1 自准直仪测量原理
- 4.2 自准直理论模型与影响因素
- 4.3 光束漂移探测与补偿方法

### 第五章 三维表面形貌超精密测量技术(4 学时)

- 5.1 扫描探针法原理与原子力显微镜关键技术
- 5.2 光学探针法原理与共焦显微镜关键技术

### 第六章 超精密几何误差测量技术(4 学时)

- 6.1 圆/圆柱度测量及误差分离技术
- 6.2 超精密方向与位置误差测量技术

### 第七章 超精密测量数据处理方法(2 学时)

- 7.1 线性参数的最小二乘处理
- 7.2 回归分析

### 第八章 智能测量技术(2 学时)

- 8.1 深度学习在超精密测量中的应用
- 8.2 精准测量机器人关键技术

### 实验课一 激光干涉仪测量长度实验(2 学时)

### 实验课二 激光自准直仪测角实验(2 学时)

### 实验课三 圆度/圆柱度测量实验(2 学时)

实验课四 精准测量机器人实验(2学时)

## 七、考核要求

课堂报告 10%,大作业 10%,实验 30%,期末考试 50%。

## 八、编写成员名单

谭久彬(哈尔滨工业大学)、吴剑威(哈尔滨工业大学)、黄景志(哈尔滨工业大学)等

# 09 新型传感技术及应用

## 一、课程概述

课程定位于信息技术的范畴,充分体现传感器信息获取的重要意义和传感器作为信息技术源头的基础性地位。在课程的教学内容和体系上,突出基础性、先进性、实用性;将科研成果与工程应用转化为教学实践,注重对学生的学术性、实践性和创新性的培养与锻炼,使学生通过在重大项目中对关键技术研究的同时,提升解决工程应用中关键技术的能力,以及提高学生自身的学术性与创新性和独立从事科研的能力。

## 二、先修课程

工程力学,模拟电路,数字电路,控制理论,传感器技术及应用(本科生)。

## 三、课程目标

针对传感器近年来的快速发展及其应用,从新型传感器应用的敏感材料、加工工艺,传感器的模型建立等共性基础理论,硅电容式集成传感器、谐振式传感器、薄膜式传感器、磁传感器、量子传感器等几种典型的新型传感器进行深入讨论,同时有选择地介绍汽车电子、航空航天、石油石化、环保系统中应用的传感器技术。通过课程学习,为研究生掌握近年来新型传感器涉及的科学问题、关键技术的研究线索、研究方法、技术路线,培养其解决实际工程问题的能力打下坚实的理论基础。

## 四、适用对象

博士研究生和硕士研究生。

## 五、授课方式

讲授与自学并重,辅以课堂面对面交流讨论,同时对每一个主题,给学生留下若干思考题,提供深入钻研的线索,激发他们自主学习的兴趣。教学中既要照顾到面,又要考虑一些学生的

特殊需求。介绍一些目前传感器技术领域的研究热点,这些热点可能的研究线索,解决的难点与关键问题,可能的技术路线与实现方案等。每周授课 2—4 课时。

课程的讲授、自学、交流讨论等形式,将根据具体教学内容与学生人数、学生对传感器方面基本知识的掌握情况进行选择。

## 六、课程内容

### 第一章 绪论(2 课时)

- 1.1 课程设置的背景
- 1.2 课程的主要内容
- 1.3 课程的教学方法与方式
- 1.4 课程的教学过程的基本要求
- 1.5 课程的考核

### 第二章 敏感材料与加工工艺(2 课时)

- 2.1 概述
- 2.2 传感器中的敏感材料
- 2.3 传感器技术中的加工工艺

### 第三章 传感器建模的力学基础(6 课时)

- 3.1 概述
- 3.2 弹性敏感元件的一般特性
- 3.3 弹性体的物理方程
- 3.4 弹性敏感元件的边界条件
- 3.5 弹性体的能量方程

### 第四章 传感器的建模(6 课时)

- 4.1 弹性圆柱体(杆)的建模
- 4.2 梁的建模
- 4.3 圆平膜片的建模
- 4.4 矩形(方形)平膜片的建模
- 4.5 波纹膜片的建模
- 4.6 E 型圆膜片的建模
- 4.7 圆柱壳的建模
- 4.8 半球壳的建模

### 第五章 硅电容式集成传感器(2 课时)

- 5.1 概述
- 5.2 硅电容式压力传感器
- 5.3 硅电容式加速度传感器
- 5.4 硅电容式角速度传感器

### 第六章 谐振式传感器(6 课时)

- 6.1 谐振式传感器基础理论

6.2 双模态谐振筒压力传感器

6.3 谐振式质量流量传感器

6.4 谐振式角速率传感器

6.5 硅微结构谐振式传感器

第七章 几种新型传感器(4 课时)

7.1 量子传感器

7.2 生物化学类传感器

7.3 广义传感器

7.4 智能化传感器

第八章 传感器的典型应用(3 课时)

8.1 汽车电子中的传感器

8.2 航空航天中的传感器

8.3 石油石化中的传感器

8.4 环保系统中的传感器

总结(1 课时)

课程重点:课程设置的背景、主要内容;传感器技术的特点与发展;新型传感器敏感材料与加工工艺;传感器敏感结构建模的力学基础;典型弹性敏感结构的建模与参数优化设计;典型的 MEMS 传感器、谐振式传感器、量子传感器、智能化传感器;新型传感技术的典型应用。

课程难点:新型传感器敏感材料的特性及其相应加工工艺的有机组合;典型传感器弹性敏感结构的模型建立及其能量法求解;典型 MEMS 传感器的结构设计与微弱信号处理;谐振式传感器非线性特性、全量程闭环系统实现的优化设计;智能化传感器实现途径与关键技术;针对不同应用背景与技术需求选择合适传感器,需要综合考虑的有关因素以及对传感器的合理选择。

## 七、考核要求

考核方式:期末闭卷考试占 80%,平时课堂交流占 10%,课后作业占 10%。

考核标准:重点考核学生对传感器技术领域研究热点、难点的理解;新型传感技术需要解决的科学问题、关键技术,以及可能针对这些科学问题与关键技术的研究线索、研究方法、技术路线;新型传感器总体实现方案、结构参数优化、应用特点,以及在国民经济建设和国防现代化建设中的典型应用等。

## 八、编写成员名单

樊尚春(北京航空航天大学)、董永贵(清华大学)、郑德智(北京航空航天大学)、李成(北京航空航天大学)等

## 10 惯导与组合导航

### 一、课程概述

本课程是仪器科学与技术学科的专业主干课程。惯性导航是基于惯性传感器和牛顿力学的航位推算自主导航方法,以惯导为核心的组合导航能够抑制惯性导航的误差积累效应。课程内容包括:惯性导航基本原理,机械编排,姿态算法,系统误差分析,初始对准和导航运算等惯性导航内容以及多普勒导航、卫星导航、组合导航常用滤波器和组合导航设计方法等。通过理论结合实践的课程安排,使学生牢固掌握本技术领域的理论和技术,了解本领域国际最新发展动态和发展趋势,掌握面向应用对象的惯性导航和组合导航设计方法,具有开发新系统的创新科研能力。

### 二、先修课程

理论力学,自动控制原理,传感器,误差理论与数据处理,陀螺仪技术,工程矩阵,数字信号处理。

### 三、课程目标

通过本课程的学习,了解惯导系统的基本组成和工作原理,掌握姿态解算方法;能建立惯性传感器的误差模型,了解惯性传感器的标定方法;掌握惯导系统误差分析方法和误差传播机理;掌握动基座初始对准方法;了解和掌握各种组合导航的方式和特点;掌握常用组合导航系统的设计方法和验证方法;了解惯性导航与组合导航技术的主要应用领域。

### 四、适用对象

博士研究生和硕士研究生。

### 五、授课方式

集中讲授、案例教学与专题讨论为主,配以实验室参观。其中专题讨论强调翻转课堂,培养学生自主学习和表达能力,利用实际系统试验数据进行惯性导航系统算法设计和组合导航系统滤波器设计。

### 六、课程内容

(1) 导航的基本概念、交汇定位与航位推算法、空间和惯性坐标系、时间、地球几何形状与重力场,常用导航方法,导航用坐标系和姿态的表示方法。(2学时)

(2) 惯性仪表,捷联式惯导系统中常用陀螺的元件级模型和系统级模型的建立,常用加速度计元件级模型和系统级模型的模型建立,陀螺仪和加速度计误差的补偿。(2学时)

■ 重点:光学陀螺(包括激光陀螺和光纤陀螺)的模型建立和 MEMS 陀螺的模型建立。石英

挠性加速度计的模型建立和 MEMS 加速度计的模型建立。

- 难点:传感器误差的补偿。

(3) 姿态计算方法,三参数、九参数、四元数和等效旋转矢量等姿态矩阵的计算方法,捷联惯性导航方程。(6 学时)

- 重点:四元数法、比力方程、捷联式惯性导航的速度和位置计算方法。

- 难点:旋转矢量法。

(4) 姿态误差参数、速度误差参数、位置误差参数等导航误差参数,导航参数误差微分方程。(2 学时)

- 重点:惯性导航系统的方程。

- 难点:导航参数误差微分方程。

(5) 惯性导航系统的初始对准,准静基座对准方法,基于惯性系的重力矢量粗对准原理,精对准方法,滤波理论基础,卡尔曼滤波器在初始对准中的应用实例。(4 学时)

- 重点:准静基座对准和基于惯性系的粗对准方法。

- 难点:动基座初始对准方法。

(6) 惯性导航系统设计中的关键技术及测试技术,惯性导航系统设计与性能评估方法,传感器误差测试标定与补偿,ALLAN 方差分析,设计案例:旋转调制惯导系统技术。(3 学时)

- 重点:传感器标定方法。

- 难点:惯性系统设计。

(7) 卫星与多普勒导航统基本原理,卫星定位系统组成和工作原理,信号结构与导航电文,接收机工作原理,误差与误差模型,多普勒导航原理及应用。(3 学时)

(8) 非线性滤波基础,扩展卡尔曼滤波及无迹卡尔曼滤波基本思想,非线性滤波在组合导航中的应用。(4 学时)

- 重点:非线性滤波基础。

- 难点:无迹卡尔曼滤波。

(9) 组合导航基本原理,组合模式介绍,状态方程建立和量测方程建立,组合导航系统设计实例:INS/GNSS 组合导航系统、INS/DVL 组合导航系统、其他组合导航系统介绍。(6 学时)

- 重点:卡尔曼滤波器在组合导航系统中的应用。

- 难点:组合导航系统设计。

## 七、考核要求

基础知识闭卷考试占 50%和实际数据仿真设计案例(包括分析报告或者论文)开卷考试占 30%,专题口头报告 20%。

## 八、编写成员名单

程向红(东南大学)、盛蔚(北京航空航天大学)、吴文启(国防科技大学)、张勇刚(哈尔滨工程大学)、奔粤阳(哈尔滨工程大学)、唐军(中北大学)、申冲(中北大学)

## 11 智能测控系统设计

### 一、课程概述

本课程是仪器科学与技术学科的主干专业课程。智能测控技术及系统承担着信息获取、信息处理和系统控制的重任。课程围绕智能测控技术及系统的各个环节,阐述系统设计中的主要技术及方法,培养学生综合运用知识的能力,引导学生将计算机、传感检测、电子电路、嵌入式系统、信号处理与系统控制的前沿技术应用于各类高性能智能化测控系统的设计。通过本课程的学习,使研究生牢固掌握本领域的理论和技术,并充分了解本领域国际最新发展动态和发展趋势。

### 二、先修课程

传感器技术,模拟电路,数字电路,微机原理,数字信号处理,自动控制原理。

### 三、课程目标

通过本课程的学习,了解智能测控系统设计的基础理论,掌握根据工程任务设计智能测控系统的途径和方法。了解和掌握智能测控系统的信号检测、信号的调理及抗干扰技术、数据采集和数据处理系统的设计方法、基于单片机、DSP、工控机以及嵌入式系统的测控系统设计方法、基于现场总线的测控系统设计方法。

### 四、适用对象

博士研究生和硕士研究生。

### 五、授课方式

集中讲授、案例教学与专题讨论为主,配以实验室参观。其中专题讨论着重培养学生独立发现分析、分析问题、解决问题的能力。

### 六、课程内容

1. 测控系统中基础知识(4学时)  
智能测控系统的组成、分类和特点,智能测控系统的发展趋势。
2. 测控系统的信号检测(6学时)  
常用传感器原理、特点及使用。
3. 信号调理及抗干扰技术(4学时)  
信号调理的设计、各类抗干扰方法设计。
4. 数据采集与控制系统(4学时)  
数据采集与处理的原理与设计、系统控制的原理与设计。

#### 5. 智能测控系统的设计(5 学时)

基于单片机、DSP、工控机以及嵌入式系统的智能测控系统设计。

#### 6. 智能测控系统的设计(5 学时)

基于 CAN、以太网等总线的分布式智能测控系统设计。

#### 7. 智能测控系统的设计(4 学时)

基于人工智能的测控系统设计。

课程重点:智能测控系统的原理,常用传感器的原理及应用,信号的调理及抗干扰技术,数据采集与处理系统的原理及应用,基于嵌入式系统的智能测控系统设计,基于总线的分布式智能测控系统设计。

课程难点:测控系统典型传感器的原理及应用,信号采集的调理及抗干扰设计,嵌入式实时操作系统的机理及其在智能测控系统中的应用,现场总线和以太网总线的协议栈及其在智能测控系统中的应用。

### 七、考核要求

基础知识和设计案例开卷考试占 80%,专题口头报告 20%。

### 八、编写成员名单

徐宝国(东南大学)、赵立业(东南大学)、倪江生(东南大学)、李旭(东南大学)、宋爱国(东南大学)、丁国清(上海交通大学)、邹丽敏(哈尔滨工业大学)、梁晓瑜(中国计量大学)、薛凌云(杭州电子科技大学)

## 12 现代光学测试技术

### 一、课程概述

现代光学测试技术是仪器科学与技术专业研究生课程体系中的一门专业核心课。光学测试技术由于具有非接触、高分辨、高灵敏度、高动态、大视场、多光谱和多参数测量等突出特点,在材料科学、物理化学、生物医学、微电子、先进制造和精密测试等领域广泛应用。本课程介绍现代光学测试的基础知识、基本原理、常用方法和技术,以及现代测试技术的典型应用。通过本课程的学习,使学生构建现代光学测试技术的理论体系,初步具备应用现代光学测试技术构建精密测试系统的能力。

### 二、先修课程

大学物理,工程光学,物理光学,数字信号处理,误差理论与数据处理。

### 三、课程目标

通过本课程的学习,在理论上掌握激光干涉测量、显微干涉测量、共焦显微、全息测量、偏振光学测量、光学衍射测量、激光多普勒测量、光谱测量、光学频率梳测量的基本原理、方法和关键技术。在实践上初步掌握不同测量原理光学测试系统的组成和应用,能够根据测量任务选择光学测量原理,设计光学测试系统方案,为今后从事相关的研究和应用工作奠定基础。

### 四、适用对象

仪器科学与技术专业博士研究生和硕士研究生。

### 五、授课方式

以课堂教学为主,采用课件式、项目式、案例式教学方法,以及 CDIO 教学模式,调动学生在课堂上的主动性,引导学生通过自主学习、独立思考、团队协作完成课程学习。辅助专题讨论,让学生根据精密测试系统的测试要求设计光学测试系统,并完成课程汇报和设计论文,使学生理论与实践相结合,培养学生自主学习和表达能力。

每周授课 2 学时,总学时 32 学时。

### 六、课程内容

#### 第一章 激光干涉测量

- 1.1 干涉基本原理
- 1.2 激光与稳频技术
- 1.3 激光干涉测量原理
- 1.4 激光干涉测量仪器实现
- 1.5 测量误差来源于分析
- 1.6 激光干涉测量应用实例

#### 第二章 显微干涉测量技术

- 2.1 相移干涉测量技术
- 2.2 白光扫描干涉测量技术
- 2.3 干涉条纹分析方法
- 2.4 显微干涉测量仪器实现
- 2.5 显微干涉测量应用实例

#### 第三章 共焦显微测量技术

- 3.1 共焦显微测量原理及测试技术
- 3.2 超分辨共焦显微测量原理及技术
- 3.3 共焦显微拉曼光谱测量原理及测试技术
- 3.4 共焦显微测量仪器实现
- 3.5 共焦显微测量应用实例

## 第四章 全息测量技术

- 4.1 全息测量原理及测试技术
- 4.2 全息测量技术的应用
- 4.3 数字全息显微测量技术
- 4.4 数字全息显微技术仪器实现
- 4.5 数字全息显微技术的应用

## 第五章 偏振光学测量

- 5.1 偏振光学测量原理
- 5.2 传统偏振光学测量技术
- 5.3 基于液晶器件的偏振光学测量技术
- 5.4 偏振光学测量的仪器开发
- 5.5 偏振光学测量的典型应用

## 第六章 光学衍射测量

- 6.1 光学衍射测量原理
- 6.2 光学衍射测量技术
- 6.3 光学衍射测量的应用

## 第七章 光扫描技术

- 7.1 激光扫描计量技术
- 7.2 表面特征检测的扫描技术
- 7.3 三维扫描技术

## 第八章 激光多普勒测量

- 8.1 激光多普勒效应
- 8.2 激光多普勒测速技术
- 8.3 激光多普勒信号处理系统
- 8.4 激光多普勒技术的应用

## 第九章 光谱测量技术

- 9.1 分子光谱分析方法
- 9.2 分子光谱测量技术及其应用
- 9.3 光谱分光器件工作原理
- 9.4 成像光谱测量技术
- 9.5 成像光谱测量技术的应用
- 9.6 激光光谱测量技术
- 9.7 激光诱导击穿光谱技术
- 9.8 时间分辨的激光光谱技术
- 9.9 激光光谱技术的应用

## 第十章 光学频率梳测试技术

- 10.1 光学频率梳的时频谱
- 10.2 光学频率梳测量时频

10.3 光学频率梳测量长度量

10.4 光学频率梳测量其他几何量

## 七、考核要求

采用多环节考核方式。

(1) 综合训练。以组为单位,完成一次课下综合训练,进行课堂汇报,并总结撰写报告,占 30 分。

(2) 期终考试。主要采用笔试的方式,针对现代光学测试的基本原理、常用方法和技术,以及现代测试技术的典型应用等方面进行考核,考试内容不超出大纲,占 70 分。

## 八、编写成员名单

赵维谦(北京理工大学)、赵慧洁(北京航空航天大学)、胡春光(天津大学)、郭彤(北京航空航天大学)等

# 13 成像技术

## 一、课程概述

真实物理世界中的待测对象,是在时间、空间上的连续系统。理想的测量技术,应该可以获取到忠实反映这一连续系统时域及空域特性的完整测量结果。然而,受限于具体的测量技术及操作手段,实际得到的往往是离散的、不完整的、有噪声的、不够准确的局部测量结果。借助数字化信号处理手段,尤其是图像处理、图像分析领域的技术手段,从退化的、有噪声的、模糊的离散测量结果中,构建出足以表达待测对象特征的信号和图像,是实际测量应用中的一项关键技术。

本课程针对直接测量与间接测量中常见的数据处理问题,结合数值仿真与实际测量数据,对成像技术涉及的数学方法及数字信号处理技术进行介绍。帮助学生了解测量中正问题及逆问题的分析处理方法,了解不适定问题的基本理论及其在工程问题中的应用技术。

## 二、先修课程

(1) 熟悉线性代数、数值分析方面的常用数学方法。

(2) 熟悉傅里叶分析方面的内容,包括傅里叶变换、离散傅里叶变换、快速傅里叶变换、傅里叶级数、卷积等概念。

(3) 概率论方面的基本知识。

(4) 熟悉 MATLAB 等计算工具软件的使用。

### 三、课程目标

成像技术的学习,不仅需要用到测量技术领域的一些常用基础知识,如线性非时变系统、卷积、滤波、去噪、傅里叶变换等,更多地涉及高维空间的物理及数学模型建立、矩阵运算、正则化处理等方面的内容。因此,借助具体成像技术的内容讲解,提升学生对相关数学方法的理解与应用能力,是本课程的主要教学目标。

本课程拟通过讲解测量中正问题及逆问题的分析处理方法、不适定问题的基本理论及其在工程问题中的应用技术,帮助学生了解如图像反卷积、图像去噪、图像分解、压缩感知、计算机成像(超声成像、核磁共振成像、层析成像)等基本手段的同时,提高学生在面临复杂工程应用问题时的文献阅读、方案设计及数据处理方面的综合能力。

### 四、适用对象

仪器科学与技术学科的博士研究生和硕士研究生。

### 五、授课方式

授课方式以课堂讲授为主,采用基本理论讲授与数值仿真计算相结合的方式,提高学生将数学手段运用于实际问题处理方面的能力。建议结合专业文献的阅读及实际数据的处理实践,开展研讨式教学,启发学生积极主动地思考相关问题。有条件的学校,可补充能够实际获取实验数据的实验装置,通过对获取到的真实数据进行处理,可更加深入、直观地理解课程内容。

### 六、课程内容

课程总学分 2.0,按照 32 个学时进行安排。

按照所涉及的数学方法,课程内容大致分为三部分。第一章为第一部分,综述测量数据、成像系统及技术发展。第二至三章为第二部分,涉及直接从测量数据获取图像的成像方法。第四章及以后为第三部分,涉及需要进行逆运算才能获取图像的计算成像技术。

#### 第一章 绪论(4 学时)

- 1.1 测量系统中的卷积与反卷积
- 1.2 测量数据完整性与正确性
- 1.3 测量数据的可视化表达
- 1.4 成像技术与测量
- 1.5 成像系统的基本组成
- 1.6 成像系统的基本数学模型
- 1.7 成像技术的发展历程及分类

#### 第二章 成像测量中的逆运算(6 学时)

- 2.1 正问题与逆问题
- 2.2 不适定性和病态问题
- 2.3 函数空间中线性算子的病态性与正则化
- 2.4 有限维空间中的奇异值分解

- 2.5 Tikhonov 正则化
- 2.6 全变分(Total variation)正则化
- 2.7 迭代优化
- 2.8 应用分析
  - 2.8.1 应用分析 1:图像的去模糊化
  - 2.8.2 应用分析 2:(涉及逆问题运算的)超声无损检测技术
  - 2.8.3 应用分析 3:(涉及逆问题运算的)电磁无损检测技术

### 第三章 压缩感知技术(2 学时)

- 3.1 信号分解与 k-稀疏信号
- 3.2 信号的可压缩性与压缩采样
- 3.3 稀疏信号与稀疏图像
- 3.4 有限等容性质(Restricted isometric property)
- 3.5 信号重构算法
- 3.6 应用分析:图像的压缩采样与重构

### 第四章 X 射线断层成像技术(4 学时)

- 4.1 Radon 变换
- 4.2 傅里叶切片理论
- 4.3 滤波反投影方法和傅里叶切片定理
- 4.4 全角度投影数据的断层成像
- 4.5 有限角度投影数据的断层成像
- 4.6 应用分析:X 射线投影(仿真)数据断层成像算法

### 第五章 电学层析成像技术(4 学时)

- 5.1 电学层析成像技术分类
- 5.2 电阻抗层析成像(EIT)
- 5.3 电容层析成像(ECT)
- 5.4 电磁层析成像(MIT)
- 5.5 电学层析成像的正问题
- 5.6 电学层析成像的逆问题
- 5.7 电学层析成像的信号获取系统
- 5.8 应用分析:EIT/ECT/MIT 的(仿真)实验及成像算法

### 第六章 超声成像技术(4 学时)

- 6.1 反射式超声测量原理
- 6.2 镜面反射与体积散射
- 6.3 A 扫描、B 扫描、C 扫描、M 扫描
- 6.4 超声阵列与相控阵
- 6.5 应用分析:反射超声信号的图像表达

### 第七章 磁共振成像(4 学时)

- 7.1 核磁共振基础物理

## 7.2 射频激励与信号的获取

## 7.3 MR 序列的二维投影重构

## 7.4 NMR/MRI 成像技术的常见问题

## 7.5 应用分析:NMR/MRI 成像系统

## 第八章 其他先进成像手段(4 学时)

本章为介绍性内容,可根据成像技术发展情况,以及各学校专业特点,适当设置教学内容(如微波成像、THz 波成像、光谱成像等内容)。

## 七、考核要求

课程考核包括两部分:课程作业 60%;期末报告 40%,关于特定选题的报告。

## 八、编写成员名单

董永贵(清华大学)、徐立军(北京航空航天大学)、李玉和(清华大学)、王鹏(清华大学)、曹章(北京航空航天大学)

# 14 智能感知与自主系统

## 一、课程概述

自主系统与人工智能领域科技发展迅猛,是当前世界学术界和产业界高度关注的热门领域。感知、认知和决策能力是衡量自主系统智能的主要指标,智能感知是自主系统与现实世界交互的基础和关键,是人工智能服务于国防与工业的重要桥梁;机器学习,尤其是深度学习的研究进展,科学家认识到深度学习在自动检测数据特征与结构方面的价值正逐渐凸显,使得自主系统的深度态势综合感知能力不断提升,不断向“智能”推进。智能感知及其在自主系统中的应用是仪器科学与技术学科发展的热门领域之一,需要开设一门“智能感知与自主系统”的课程,帮助本学科研究生构建智能感知与自主系统领域的知识构架,引导其了解该领域的技术发展现状、前沿理论与方法。

本课程以智能计算与识别理论基础、基于人工智能的多源检测融合方法、基于深度学习的检测与识别技术、智能感知在典型自主系统中的应用、工程实践为主线,较全面、系统地介绍智能感知的基本原理、经典算法和深度学习方面的知识,以及其在自主系统中的应用技术,为测控技术与仪器、自动化、电子、计算机等本科专业毕业研究生入门智能感知和自主系统领域而开设的一门课程。

本课程是仪器科学与技术学科博士和硕士研究生的一门专业基础选修课,也是电子科学与技术、控制科学与工程、计算机科学与技术等相关专业研究生的专业选修课程之一,为学生后续开展“仪器科学与技术”与“人工智能”交叉领域相关研究和实践奠定基础。

## 二、先修课程

应用数理统计,信号与系统,测试信号处理,控制理论。

## 三、课程目标

通过本课程的教学及实践,应具备的知识与能力目标如下。

- (1) 掌握智能感知、深度学习和自主系统相关的基本概念、基础知识;
- (2) 熟悉多传感器数据融合算法、基于人工智能的多源检测融合方法、深度学习算法的特点和适用场景,能够选用合适算法分析解决自主系统的具体问题;
- (3) 具备人工智能范式整体思维分析问题能力。

## 四、适用对象

仪器科学与技术学科博士研究生和硕士研究生,也适用电子科学与技术、控制科学与工程、计算机科学与技术等相关学科专业研究生。

## 五、授课方式

通过课堂教学、组织讨论、案例讲解、课后作业、作业讲解与讨论、课内实践一系列环节使学生达到预期学习目标,具体包括理论讲授、互动研讨、问题讲解、答疑解惑等环节。

## 六、课程内容

课程内容结构如下图。

主要内容如下:

### 第一章 绪论(2学时)

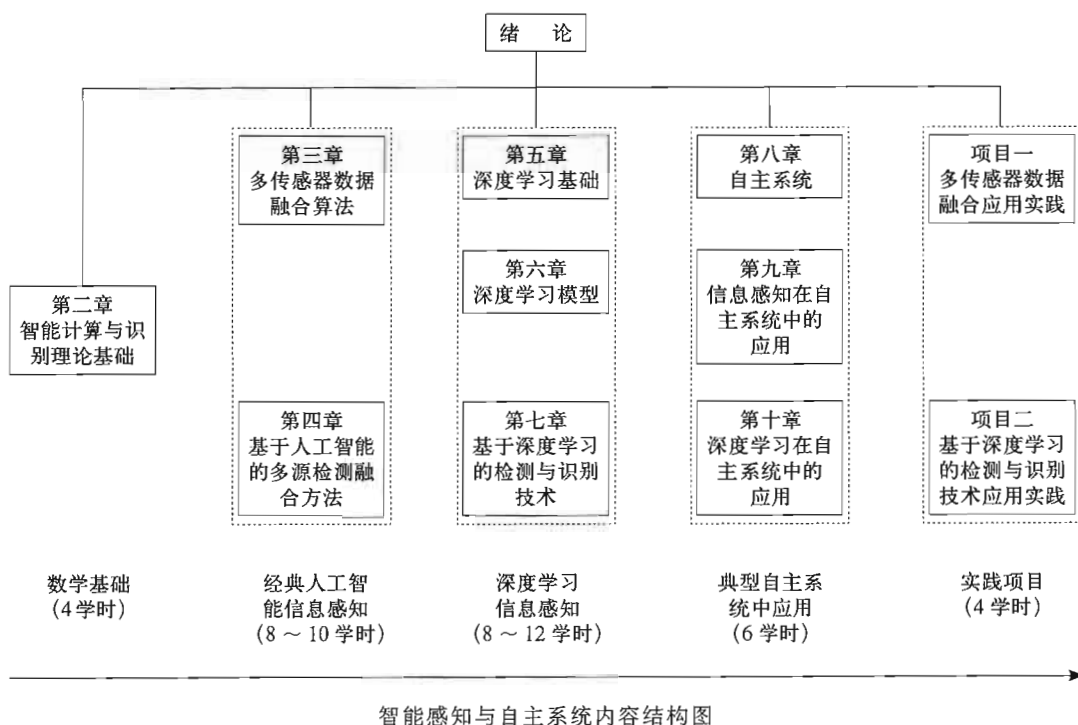
- 1.1 自主系统与人工智能领域科技发展概述
- 1.2 智能自主系统的组成与特点
- 1.3 自主系统信息智能感知关键技术

### 第二章 智能计算与识别理论基础(4学时)

- 2.1 概述
- 2.2 统计推断与估计基础
- 2.3 模糊逻辑与模糊推理
- 2.4 统计学习理论与支撑向量机(SVM)

### 第三章 多传感器数据融合算法(4学时)

- 3.1 协作感知与数据融合
- 3.2 有缺陷的数据融合算法
- 3.3 相关数据融合算法
- 3.4 异质数据融合算法
- 3.5 多传感器测量跟踪移动目标数据关联滤波算法



#### 第四章 基于人工智能的多源检测融合方法(4~6 学时)

- 4.1 多源信息融合概述
- 4.2 人工智能范式
- 4.3 基于神经计算的多源信息融合
- 4.4 基于模糊计算的多源信息融合
- 4.5 基于进化计算的多源信息融合

#### 第五章 深度学习基础(2 学时)

- 5.1 深度学习概述
- 5.2 数学基础
- 5.3 稀疏表示
- 5.4 机器学习
- 5.5 神经网络

#### 第六章 深度学习模型(4~6 学时)

- 6.1 深度卷积神经网络
- 6.2 深度堆栈自编码网络
- 6.3 深度融合网络
- 6.4 深度生产网络
- 6.5 深度循环和递归网络

## 第七章 基于深度学习的检测与识别技术(2~4 学时)

- 7.1 深度学习仿真平台及开发环境
- 7.2 基于深度神经网络的图像变化检测技术
- 7.3 基于深度神经网络的目标检测与识别技术

## 第八章 自主系统(2 学时)

- 8.1 自主系统概述
- 8.2 自主系统体系结构
  - 8.2.1 反应式结构体系
  - 8.2.2 分层递阶结构体系
  - 8.2.3 包容式结构体系
  - 8.2.4 混合式结构体系
  - 8.2.5 人机智能紧耦合结构体系
  - 8.2.6 基于群体智能的无人机集群自主体系框架
- 8.3 自主系统关键技术

## 第九章 信息感知在自主系统中的应用(2 学时)

- 9.1 自主系统中的信息感知器
  - 9.1.1 雷达感知器
  - 9.1.2 视觉感知器
- 9.2 自主系统导航定位的信息感知技术
  - 9.2.1 激光雷达 SLAM 技术
  - 9.2.2 视觉 SLAM 技术
  - 9.2.3 多源融合 SLAM 技术
- 9.3 自主系统控制决策的信息感知技术
  - 9.3.1 基于感知的轨迹规划
  - 9.3.2 基于感知的自主决策
  - 9.3.3 基于感知的轨迹控制

## 第十章 深度学习在自主系统中的应用(2 学时)

- 10.1 深度学习在机器人自主系统中的应用
- 10.2 深度学习在无人机图像目标检测中的应用
- 10.3 深度学习在自动驾驶感知领域的应用

### 课程实践 4 学时

实践项目二选一。

#### 项目一:多传感器数据融合应用实践

结合各自的专业拟定应用背景(如无人车辆自主避障、无人机/无人车的智能规划等),采用多传感器数据融合方法解决自主系统环境感知、目标识别、导航定位等相应的问题。

要求:给出试验设计,分析试验结果,说明多传感器融合的特点。

#### 项目二:基于深度学习的检测与识别技术应用实践

结合各自的专业拟定应用背景(如目标识别与分类、目标定位与跟踪等),基于深度学习仿

真平台,开发基于深度学习的检测与识别算法。

要求:给出实验设计,分析实验结果。

## 七、考核要求

开卷考试与课程实践相结合,采用百分制,其中考试占 50%,课程实践占 30%,课堂表现占 20%。

## 八、编写成员名单

杨俊(国防科技大学)、周富强(北京航空航天大学)、孙军华(北京航空航天大学)、胡天江(中山大学)、王光明(国防科技大学)、周晗(国防科技大学)