

机器人与自动驾驶 课程体系

2022 年 6 月

目 录

课程费用明细	3
核心模块 I：基础	4
C++基础与深度解析 教学大纲	4
机器人学基础 教学大纲	6
机器人学中的状态估计 教学大纲	9
ROS 理论与实践（以移动机器人为例） 教学大纲	10
机器人中的数值优化 教学大纲	12
自动驾驶基础架构 教学大纲	15
核心模块 II：环境感知	18
计算机视觉应用基础 教学大纲	18
深度学习理论与实践 教学大纲	20
基于深度学习的物体检测 教学大纲	21
三维点云处理 教学大纲	24
自动驾驶环境感知 教学大纲	26
多传感器融合感知 教学大纲	28
核心模块 III：定位与导航	30
视觉 SLAM 理论与实践 教学大纲	30
激光 SLAM 理论与实践 教学大纲	32
从零开始手写 VIO 教学大纲	34
多传感器融合定位 教学大纲	36
核心模块 IV：控制规划	38
移动机器人运动规划 教学大纲	38
自动驾驶规划控制 教学大纲	39

核心模块 I：基础

C++基础与深度解析 教学大纲

课程名称：C++基础与深度解析

学时：76 学时

课程难度：低

基础要求：

至少学过一门编程语言，一台能够编写并调试程序的电脑

讲师介绍：

李伟，美国微软高级工程师，清华大学博士。毕业后一直从事软件开发相关的工作，曾先后在百度自然语言处理部机器翻译组负责线上系统，在微软亚洲工程院从事 Bing 搜索的相关开发。近 20 年 C++ 开发经验，出版了《C++ 模板元编程实战》书籍。

课程目的：

C++ 是一门追求高性能的高级语言，在底层开发、高性能计算中占据了重要的角色；C++ 又是一门相对难以掌握的编程语言，与其它语言相比，它更加难学，难以精通。

这门课程旨在讨论 C++ 的基础知识，重点讲解 C++ 的基本语法及语法背后的底层细节，比如同样是 for 循环，如何尽可能的提升其执行效率。同时，课程内容也会适时融入工程经验，为后续进一步学习与使用 C++ 打下牢固的基础。

教学内容及学时分配：

第 1 章：C++ 基础

本章将介绍 C++ 的基本定义及特性，并且对 C++ 的开发环境、相关工具进行说明，另外对 C++ 的编译/链接模型进行讲解。

第 2 章：C++ 初探

本章内容，从“Hello world”开始，对 C++ 的程序编写进行讲解，了解系统

I/O、结构体与自定义数据类型，通过“猜数字”的程序，讨论控制流的相关问题：顺序程序、分支程序以及循环程序的编写等等。

第 3 章：对象与基本类型

本章内容将从初始化和赋值语句开始，讨论对象与基本类型，包括符合类型、常量与常量表达式、类型的自动推导、域与对象的生命周期等等。

第 4 章：数组、vector 与字符串

本章将围绕数组、vector 与 string，三部分的内容进行详细的讲解分析。

第 5 章：表达式基础与详述

本章将详细介绍表达式的内容，包括：表达式引入、左值与右值、类型转换、算术操作符、逻辑与关系操作符、位操作符、赋值操作符、自增与自减等操作符、运算符内容。

第 6 章：语句

本章将对语句的内容进行讲解，包括：语句基础、分支语句、循环语句等知识，并通过“达夫设备”讲解分析语句的综合应用。

第 7 章：函数

本章内容将对函数进行详细的讲解，包括函数重载、重载解析以及函数的其他内容。

第 8 章：深入 IO

本章将对 IO 进行深入讲解，包括 IOStream 概述、输入与输出、文件与内存操作、流的定位、同步和状态等内容。

第 9 章：动态内存管理

本章将对动态内存管理进行讲解，包含智能指针问题、sizeof 不会返回动态分配的内存大小、异常安全、垃圾回收等问题。

第 10 章：序列与关联容器

本章将对容器进行详细的介绍，包含序列容器、关联容器、适配器与生成器等内容。

第 11 章：泛型算法

本章主要讲解泛型算法，包括 bind 与 lambda 表达式、泛型算法改进等内容。

第 12 章：类与面向对象编程

通过对本章的学习，可以了解结构体与对象聚合、成员函数、访问限定符与友元、构造、析构与复制成员函数等内容。

第 13 章：类的细节

通过对本章的学习，可以了解运算符重载、类继承等内容。

第 14 章：模板

通过对本章的学习，可以了解函数模板、类模板与成员函数模板、Concepts 等模板相关内容。

第 15 章：元编程

通过本章的学习，可以了解元编程的基础问题，包括顺序、分支、循环代码的编写方式等，并且会讲解减少实例化的技巧。

第 16 章：其他的工具与技术

本章内容主要是介绍一些工具和技术，包括异常处理、枚举与联合、嵌套类与局部类、嵌套名字空间与匿名名字空间、位域与 volatile 关键字。

机器人学基础 教学大纲

课程名称：机器人学基础

学时：18 学时

课程难度：低

基础要求：

有微积分和线性代数基础，熟悉 Python 或 C++ 编程语言，熟悉 ROS

讲师介绍：

滕瀚哲，美国加州大学河滨分校 ARCS 实验室博士。研究领域为机器人系统

的多模态感知和主动感知，先后于 RAL/IROS 等机器人学，期刊和会议上发表多篇论文，曾获加州大学河滨分校 2020 年度杰出教学奖提名，曾为从中学到研究生各阶段的同学们讲授机器人学课程。

课程目的：

目前机器人领域的 SLAM、运动规划、控制、机械臂等方向的研究人员，学科背景较为复杂，大都没有系统学习过机器人学的基础知识。而机器人学基础理论恰恰是 SLAM、运动规划等诸多细分领域的重要基石，比如刚体运动、旋转矩阵表达、运动学建模等。

本门课程会从理论知识和编程实践两方面切入，为你掰开揉碎讲解数学基础知识，通过在项目中动手编程，掌握和巩固各项知识技能，让你对机器人领域有一个基础且全面的了解！

教学内容及学时分配：

第 1 章：机器人学简介

第 1 节：机器人学简介

第 2 节：课程简介

第 3 节：课程事务性内容

第 4 节：作业及环境配置

第 2 章：位形空间

第 1 节：位形空间

第 2 节：自由度

第 3 节：位形空间的拓扑与表示

第 4 节：实践：开环控制一台 Turtlebot 机器人

第 3 章：刚体运动（旋转）

第 1 节：旋转矩阵

第 2 节：角速度

第 3 节：指数坐标表示

第 4 节：实践：闭环控制一台 Turtlebot 机器人

第 4 章：刚体运动（齐次变换）

第 1 节：齐次变换

第 2 节：Twist

第 3 节：指数坐标表示

第 4 节：实践：相机与机器人本体之间的运动状态

第 5 章：前向运动学

第 1 节：Product of Exponentials (space frame)

第 2 节：Product of Exponentials (body frame)

第 3 节：D-H 表示法

第 4 节：实践：用 PoE 和 DH 实现机械臂的前向运动学

第 6 章：逆向运动学

第 1 节：解析法（三角几何学）

第 2 节：数值法（牛顿法）

第 3 节：实践：用解析法和数值法实现机械臂的逆向运动学

第 7 章：轨迹生成

第 1 节：多项式轨迹

第 2 节：路标点导航法

第 3 节：轮式移动机器人

第 4 节：实践：实现 Turtlebot 机器人的轨迹生成

第 8 章：运动规划

第 1 节：障碍物位形空间

第 2 节：路径规划

第 3 节：图搜索与采样算法

第 4 节：实践：实现 Turtlebot 机器人路标点导航

第 9 章：Project：实现 turtlebot 机器人的自主导航

机器人学中的状态估计 教学大纲

课程名称：机器人学中的状态估计

学时：16 学时

课程难度：低

基础要求：

具有扎实的矩阵论相关基础，并掌握本科同等水平的数学知识（如微积分、概率论、线性代数）

最好学过视觉 SLAM/激光 SLAM 相关课程

讲师介绍：

高翔，慕尼黑工业大学博士后，清华大学自动化系博士，长期从事 SLAM 的研究，主要包括机器人中的视觉 SLAM 技术、机器学习与 SLAM 的结合，主编畅销书《视觉 SLAM 十四讲：从理论到实践》，《机器人学中的状态估计》译者之一。

课程目的：

状态估计理论在如今自动驾驶、机器人、飞行器等领域有着重要的应用。它有许多直接、重要的结果，比如卡尔曼滤波器、最小二乘优化，在解决目标跟踪、定位、建图、轨迹融合等问题中占据着核心位置。本课程将详细讲述从传统到现代的状态估计理论体系，介绍其它在三维空间位姿估计当中的使用方法。

教学内容及学时分配：

第 1 章：概述与基础知识（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解状态估计的基础知识，学习概率密度函数与高斯概率密度函数。

第 2 章：线性高斯系统的状态估计问题（2 学时）

通过本章的学习，学员将学习并掌握离散时间的批量估计、递归平滑算法、

滤波算法以及连续时间的批量估计。

第 3 章：非线性高斯系统的状态估计问题（2 学时）

通过本章的学习，学员将学习并掌握离散时间的递归估计、批量估计以及连续时间的批量估计等内容。

第 4 章：偏差、匹配和外点（2 学时）

通过本章的学习，学员将学习并掌握输入和测量的偏差、数据关联及外点等内容。

第 5 章：三维几何学基础（2 学时）

通过本章的学习，学员将学习并掌握向量和参考系、旋转及姿态等内容。

第 6 章：矩阵李群（2 学时）

通过本章的学习，学员将学习并掌握几何学、运动学及概率与统计的相关知识，以及了解其在状态估计中的应用。

第 7 章：位姿估计问题（2 学时）

通过本章的学习，学员将学习并掌握点云对准、点云跟踪及位姿图松弛化等基础知识与内容。

第 8 章：位姿和点的估计问题（2 学时）

通过本章的学习，学员将学习并掌握光束平差法、同时定位与地图构建等估计方法及应用。

ROS 理论与实践（以移动机器人为例） 教学大纲

课程名称：ROS 理论与实践（以移动机器人为例）

学时：20 学时

课程难度：低

基础要求：

具备 C++/Python 编程基础及 linux 基础操作，便于编程实践

讲师介绍：

胡春旭（古月），武汉精锋微控科技有限公司联合创始人，华中科技大学自动化学院硕士。目前主要从事机器人控制系统的研究开发。

作为国内最早一批 ROS 开发者，主编书籍《ROS 机器人开发实践》，具备多年开发、应用经验，参与研发过轮式移动机器人、机械臂等机器人产品。曾获开源硬件与嵌入式大赛机器人组全国冠军，飞思卡尔杯智能汽车竞赛全国一等奖，中国人工智能机器人学术会议十佳论文等奖项。

课程目的：

ROS 是目前主流的机器人操作系统，自 2007 年诞生于斯坦福大学以来，被广泛应用于服务机器人、工业机器人、无人机、无人驾驶等领域，已成为机器人领域的普遍标准。本课程通过基础原理、功能实践、综合应用三大部分的教学，将使学员掌握 ROS 的基础知识、机器人开发原理、实践操作方法，提升学员实际机器人研发的能力

教学内容及学时分配：

第一部分：基础原理

第 1 章：认识 ROS（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解 ROS 的定义与核心概念，ROS 的通信机制，并实现第一个 ROS 例程。

第 2 章：ROS 通信编程（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解 ROS 项目的开发流程，掌握 ROS Topic 通信编程、ROS Service 通信编程。

第 3 章：ROS 常用组件工具（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解 Launch 启动文件、TF 坐标变换、可视化显示与仿真工具等内容。

第 4 章：URDF 机器人建模（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解机器人的定义与组成，掌握 URDF 建模方法，了解 URDF 机器人模型。

第二部分：功能实践

第 5 章：构建机器人仿真平台（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解如何创建仿真环境，ROS 中的控制器插件、实现机器人及传感器的仿真。

第 6 章：机器视觉处理（2 学时）

通过本章的学习，学员将掌握 ROS 摄像头驱动及数据接口、摄像头参数标定、物体识别案例及源码分析等。

第 7 章：机器人语音交互（2 学时）

通过本章的学习，学员将掌握基于 ROS 平台的机器人语音识别、中英文语音输出，并了解机器人语音交互等。

第 8 章：机器人 SLAM 建图（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解 SLAM 原理，gmapping SLAM、hector SLAM、google cartographer SLAM 等内容。

第 9 章：机器人自主导航（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解 ROS 中的导航框架、导航框架中的关键功能包、机器人自主导航。

第三部分：综合应用

第 10 章：机器人综合应用——“迷宫寻宝”（2 学时）

通过本章的学习，学员将掌握“迷宫寻宝”的关键技术及实现框架和方法。

机器人中的数值优化 教学大纲

课程名称：机器人中的数值优化

学时：10 学时

课程难度：中

基础要求：

掌握多变量微积分、线性代数或矩阵论的知识

具备基础的编程能力（推荐 C/C++）和 Linux 使用经验

讲师介绍：

汪哲培，浙江大学 ZJU-FAST 实验室博士。研究领域为无人机自主导航和运动规划、计算最优控制以及离散与计算几何，在 TRO/SciRob/RAL/ICRA/

IROS 等机器人期刊和会议上发表论文十余篇，曾获 AUVSI 国际空中机器人大赛 2017 年冠军和 2018 年任务总冠军，相关工作 3 度被 IEEE Spectrum 报道。

高飞，浙江大学担任助理教授，香港科技大学机器人研究所博士。博士期间，师从沈劭劼老师，以第一作者/通讯作者身份发表会议论文 7 篇，其中 ICRA、IROS 5 篇；发表期刊论文 4 篇，其中 RA-L, JFR 各 2 篇；曾获得 2018 年香港科技大学工学院顶级博士生奖，2016 年 SSRR 最佳会议论文奖，2015 年国际空中机器人大赛一等奖等荣誉。

课程目的：

机器人学各类工程问题，其求解效率的瓶颈在于能否有效利用问题本身的结构。尽管各类通用优化求解器在现阶段得到了极大的发展，但是它们往往缺乏对具体问题的结构的利用，这也进一步限制了数值优化的计算效率。

因此，当问题具有不同的维度、约束规模、光滑性、凸性和约束形式时，不同的数值算法的性能表现各异。只有了解各类数值优化算法的原理、技术细节和工程细节时，才能更好地对症下药，对具体问题具体分析，实现理论完备和工程稳定的求解。

教学内容及学时分配：

第 1 章：数值优化基础

第 1 节：数学规划与机器人学

第 2 节：凸集合与凸函数

第 3 节：凸函数的性质

第 4 节：无约束优化：线搜索最速下降法

第 5 节：无约束优化：修正阻尼牛顿法

第 6 节：作业

第 2 章：无约束优化

第 1 节：本章内容介绍

第 2 节：拟牛顿法

第 3 节：共轭梯度 (CG) 方法

第 4 节：无约束优化应用：平滑导航路径生成

第 3 章：约束优化

第 1 节：章节引入

第 2 节：约束优化的形式分类及其复杂度

第 3 节：低维线性时间线性规划算法：Seidel 算法

第 4 节：低维线性时间严格凸二次规划算法

第 5 节：约束优化的 3 种序列无约束化方法

第 6 节：KKT 条件与 PHR 增广拉格朗日乘子法

第 7 节：约束优化应用 1：控制分配问题

第 8 节：约束优化应用 2：碰撞距离计算

第 9 节：约束优化应用 3：非线性模型预测控制

第 4 章：对称锥规划

第 1 节：锥和对称锥

第 2 节：对称锥的增广拉格朗日乘子法

第 3 节：对称锥规划应用：时间最优路径重参数化

第 4 节：作业实践

第 5 章：优化问题构建和求解技巧

第 1 节：函数的光滑化技巧

第 2 节：优化的自由度和伴随方法

第 3 节：线性方程组求解器的分类和特点

第 4 节：实战项目：复杂障碍物环境中的安全导航

自动驾驶基础架构 教学大纲

课程名称：自动驾驶基础架构

学时：16 学时

课程难度：中

基础要求：

熟悉一门主流的高端编程语言，包括但不限于 C++/Java/Python/Go 等

了解 ROS、protobuf、json 等技术

讲师介绍：

刘轩，元戎启行副总裁&合伙人，本科毕业于首届清华大学姚班，后于新加坡国立大学获得博士，博士研究方向为数据融合与大数据系统。博士毕业后先后在 Google 总部、百度美国研究院等知名企业工作，现在在元戎启行负责领导基础架构的研究和开发。曾发表过 3 篇 VLDB 和 SIGMOD 论文，担任过 VLDB2018 和 ICDE2018 的 PC member，已公开国际专利 6 篇。

课程目的：

提起自动驾驶，有很多人联想到的就是高深玄妙的算法，这种想法吸引了很多优秀的人进入自动驾驶行业。然而，这种现象也阴碍了行业外的工程师对自动驾驶整个技术栈的全面了解，尤其是技术栈内非算法部分。总结来说，算法并不是自动驾驶的全部。基础架构为自动驾驶技术中非常重要的一环，可以高效和低成本地帮助算法迭代和提升。因此，我们开设了这门课程，可以更好地帮助学员理解自动驾驶基础架构。相比于传统互联网的基础架构技术，自动驾驶基础架构有共通的部分，也有其独有的特点。

在本门课程中，我们以数据为线索，逐步揭示自动驾驶基础架构是如何成为

一个生产力工具，加速算法迭代的提升。本门课程会从通用技术的角度介绍行业内形成共识的解决方法，学员们后续可以针对自己感兴趣的部分进行深入探索和研究。

教学内容及学时分配：

第 1 章：自动驾驶基础架构概述

以自动驾驶数据为线索讲述自动驾驶基础架构的功能及价值

第 2 章：数据的产生

第 1 节：背景介绍

第 2 节：数据的来源

第 3 节：数据的格式

第 4 节：数据的存储

第 5 节：数据的质量

第 3 章：数据的采集和存储

第 1 节：数据流的整理链路

第 2 节：车辆上路前的准备

第 3 节：自动驾驶产生的数据特点

第 4 节：建立数据仓库

第 4 章：Devops 自动化实践

第 1 节：为什么要做 CI/CD

第 2 节：主流 CI/CD 工具

第 3 节：持续集成（CI）应含有几个阶段

第 4 节：持续交付（CD）中几类制品及制品库

第 5 节：持续部署（CD）中的几类部署方式

第 5 章：基础设施自动化实践

第 1 节：认识基础设施自动化管理

第 2 节：学习使用自动化管理你的基础设施资源

第 6 章：数据的扩展

第 1 节：什么是仿真

第 2 节：仿真的功能和优势

第 3 节：自动驾驶中的仿真是如何实现的

第 4 节：仿真场景的来源

第 5 节：仿真的目标

第 7 章：数据的展示之渲染技术和数据可视化

第 1 节：仿真系统介绍

第 2 节：渲染原理介绍

第 3 节：变换原理介绍

第 4 节：着色模型介绍

第 5 节：栅格化介绍

第 6 节：光线追踪介绍

第 7 节：数据类型与展示方法

第 8 章：数据的利用

第 1 节：运营平台在自动驾驶中的作用

第 2 节：运营平台的整体架构

第 3 节：运营平台为何需要网关

第 4 节：分布式中的数据一致性

第 5 节：分布式中的事务

核心模块 II：环境感知

计算机视觉应用基础 教学大纲

课程名称：计算机视觉应用基础

学时：24 学时

课程难度：低

基础要求：

具备图像处理基础知识，熟悉 C++ 编程

讲师介绍：

汪凌峰，中科院自动化所副研究员，中科院自动化所模式识别国家重点实验室博士，研究方向为模式识别与机器学习基础理论，以及图像处理与计算机视觉具体应用。在图像处理与计算机视觉领域发表论文 40 余篇，其中包括 T-PAMI、T-IP 等顶级国际期刊以及 NIPS、ICCV 等顶级国际会议。曾获中科院院长特别奖及中科院百优博士论文。

课程目的：

计算机视觉是当下人工智能产业落地最广泛的领域，深度学习已成为其大多数细分方向研究的标配方法。这也导致了相当一部分计算机视觉入门者，忽略了传统方法的基础学习，导致基础不扎实甚至空缺。本课程，主要围绕图像分割、目标跟踪和检测识别三大主流方向的经典方法进行细致讲解教学，帮助学员夯实计算机视觉基础，掌握计算机视觉整个脉络中关键的知识内容。

教学内容及学时分配：

第一部分：图像分割

第 1 章：基于统计模型的图像分割（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解图像分割的基本发展及内容，掌握基于 K-means

的图像分割技术，并可通过代码编程进行实现。

第 2 章：基于主动轮廓的图像分割（2 学时）

通过本章的学习，学员将掌握 Snake 图像分割模型的理论及代码实现，并通过对 Snake 代码分析，帮助学员进一步了解理论与实践的结合应用。

第 3 章：基于水平集的图像分割（2 学时）

通过本章的学习，学员将学习计算机视觉图像分割模型以及模型改进的相关理论知识，并通过水平集分割模型代码的分析教学，提升代码实现的能力。

第 4 章：交互式图像分割（2 学时）

通过本章的学习，学员将学习交互式图像分割的基础内容，并学习 Graph Cuts 方法及其改进的内容，并掌握基于标签学习的交互式分割。

第 5 章：基于模型的运动分割（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解运动目标检测的基础研究内容及基础理论，并学习混合高斯背景建模，且掌握 EM 算法与混合高斯模型的求解方法。

第二部分：目标跟踪

第 6 章：基于光流的点目标跟踪（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解目标跟踪的基础研究内容及基础理论，并学习光流及基于光流的跟踪方案，通过代码分析，掌握基于光流实现目标跟踪的代码实现。

第 7 章：基于均值漂移的块目标跟踪（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解均值漂移算法提出的背景原因，掌握核密度估计内容，学习基于均值漂移的目标跟踪算法理论，并掌握代码实现。

第 8 章：基于粒子滤波的目标跟踪（2 学时）

通过本章的学习，学员将掌握动态系统与递归贝叶斯估计以及蒙特卡洛模拟的内容，并学习掌握基于粒子滤波的目标跟踪算法及代码实现。

第 9 章：基于核相关滤波的目标跟踪（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解相关的滤波方法，并学习掌握基于核相关滤波

的目标跟踪算法及代码实现内容。

第三部分：检测识别

第 10 章：一般目标检测识别之特征（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解目标检测识别的一般流程，了解 SIFT 特征、Local Binary Pattern 特征的内容及基本使用方法。

第 11 章：一般目标检测识别之分类器（2 学时）

通过本章的学习，学员将学习并掌握支持向量机分类器、Adaboost 分类器，以及支持向量机的代码实现。（2 学时）

第 12 章：基于模型拟合的目标检测（2 学时）

通过本章的学习，学员将掌握霍夫变换、直线检测机器常见问题，并掌握基于霍夫变换直线检测的代码实现。

深度学习理论与实践 教学大纲

课程名称：深度学习理论与实践

学时：20 学时

课程难度：低

基础要求：

数学基础：高等数学、线性代数、概率论等

编程基础：python3 编程

讲师介绍：

元春，华为算法工程师，博士毕业于中科院大数据挖掘与知识管理重点实验室，主要研究方向为机器学习、自然语言处理。在国际会议与期刊中发表多篇论文，研究课题包括文本多语境表示学习和文本情感分析算法研究，以及利用文本情感分析方法与动态情感复杂网络对股市的研究。曾与考拉征信、春雨医生、北京大学大数据研究院进行项目合作，先后在华为诺亚实验室和微软亚洲研究院实习。

洪振，腾讯高级研究员，博士毕业于中科院自动化所模式识别国家重点实验

室，主要研究领域包括深度学习、目标识别、语义分割、OCR 等。曾获 2016RAC 目标识别亚军，17 年 ISPR 2D 图像分割冠军，发表论文近 10 篇。

课程目的：

深度学习为计算机视觉、语音识别、自然语言处理领域带来了突破性的进展，在人脸识别、语音识别、机器翻译等应用的准确率达到接近甚至超过人类的水平。目前，深度学习已成为人工智能领域入门者的必修知识。本课程将从基础的数学模型以及算法实现出发，详细讲解 CNN、RNN、LSTM 等常见的深度神经网络模型以及在计算机视觉、自然语言处理等领域经典任务中的应用，帮助学员为以后的职业发展或科学研究打下坚实的基础。

教学内容及学时分配：

第 1 章：深度学习简介（2 学时）

通过本章的学习，学员可以了解人工智能、机器学习与深度学习的关系以及发展历程，且本章会对课程学习所需的数学及编程基础、软硬件的操作环境进行简单的介绍。

第 2 章：神经网络入门（2 学时）

本章将从基础的神经网络开始，对前馈神经网络、反向传播算法、欠拟合与过拟合、模型稳定性与初始化的问题进行讲解，并通过案例展示，帮助理解各项内容，案例包括：房价预测问题、手写数字分类问题等。

第 3 章：卷积神经网络（2 学时）

本章将从卷积开始，对卷积神经网络的内容进行讲解，包括：图像的二维卷积、文本的一维卷积以及卷积模型的推导等内容，并对经典的卷积神经网络进行讲解分析。

第 4 章：优化算法与参数调节（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解到优化对于模型收敛的重要性，随机梯度下降与批量随机梯度下降的内容，并且了解常见的深度学习优化算法（AdaGrad, RMSProp, AdaDelta, Adam 算法）。

第 5 章：Pytorch 框架介绍（2 学时）

本章将首先对深度学习框架进行整体介绍,后详细介绍Pytorch框架的优势,并对Pytorch框架进行详细的讲解以及帮助学员了解如何使用Pytorch完成一个项目需要的代码架构。

第6章：深度学习在 CV 领域的应用（2 学时）

本章将通过两个实践教学，帮助学员掌握深度学习方法在经典计算机视觉任务中的应用问题（图像分类、目标检测）。

第7章：循环神经网络（2 学时）

本章将重点学习 RNN 的内容，包括其思想、推导以及由其发展而来的 LSTM 模型、GRU 等内容。

第8章：深度学习在 NLP 领域的应用（2 学时）

本章将通过实践教学的方式，帮助学员掌握循环神经网络在文本分类中的应用实现。

第9章：注意力机制（2 学时）

本章将介绍 Seq2Seq、注意力网络原理以及记忆机制的内容。

第10章：预训练语言模型（2 学时）

基于深度学习的物体检测 教学大纲

课程名称：基于深度学习的物体检测

学时：22 学时

课程难度：中

基础要求：

熟悉 Python 编程语言核 PyTorch 深度学习框架

熟悉线性代数（矩阵论）、概率统计等基础知识

熟悉卷积神经网络的基础知识，运行过卷积神经网络的代码

熟悉 Ubuntu 操作系统，并至少有一块 6G 及以上的 GPU

讲师介绍：

张士峰，中科院自动化所模式识别国家重点实验室博士，研究方向为基于深度学习的物体检测，包括通用物体检测、人脸检测、行人检测。

博士期间，已发表论文 29 篇，其中以第一作者和共同第一作者发表论文 21 篇，包括顶级期刊 TPAMI、UCV 和 IJCV 共 3 篇，顶级会议 CVPR4 篇、ICCV1 篇、ECCV1 篇、AAAI4 篇、IJCAI1 篇，以及其他作者论文 7 篇。授权专利 2 项，在申专利 3 项，担任 TPAMI、IJCV、TNNLS、TMM、CVPR、ICCV、ECCV、AAAI、IJCAI 等国际期刊和会议审稿人。

课程目的：

物体检测是计算机视觉中的经典问题之一，其任务是用框去标出图像中物体的位置，并给出物体的类别。从传统的人工设计特征加浅层分类器的框架，到基于深度学习的端到端的检测框架，物体检测一步步变得愈加成熟。本课程的教学目标是教授学员掌握通用物体检测、人脸检测、行人检测等多种物体检测方法，并能够具备实际应用的能力。

教学内容及学时分配：

第 1 章：物体检测概述（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解物体检测的研究价值与应用场景、发展脉络。从最初的传统方法到目前的深度学习方法有一个整体的认知。了解物体检测常用的数据集及评价指标。

第 2 章：通用物体检测（10 学时）

通过本章的学习，学员将掌握物体检测环境的配置方法，包括：PyCharm、Anaconda、Detecron2；掌握基于锚框的物体检测算法：多阶段法和单阶段法，无需锚框的物体检测算法：关键点法和中心域法，以及各种方法的优劣局限性、应用场景；并学习物体检测算法在实际应用中的研究思路。

第 3 章：人脸检测（6 学时）

通过本章的学习，学员将掌握传统 Viola-Jones 人脸检测算法，Cascade CNN、MTCNN 和 PCN 等多种早期的深度学习人脸检测算法及深度学习后期人脸检测算法（包括：FaceBoxes、Fdet、SRN、RetinaFace、RefineFace 等）。

第 4 章：行人检测（4 学时）

通过本章的学习，学员将掌握传统 DPN 行人检测算法、早期的深度学习人脸检测算法 RPN+BF、目前流行的深度学习行人检测算法，包括 RepLoss、OR-CNN、JointDet 等等。

第 5 章：物体检测总结与展望（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解物体检测近几年的研究工作热点，以及现有物体检测的实际应用中的一些痛点问题。

三维点云处理 教学大纲

课程名称：三维点云处理

学时：18 学时

课程难度：高

基础要求：

熟悉 Python 编程语言或 C++ 编程语言

线性代数基础知识，基本的优化算法，比如梯度下降、最小二乘法等

深度学习基础知识及 PyTorch 的基本用法，最好具备用于网络悬链及推理的 GPU

讲师介绍：

黎嘉信，自动驾驶研究科学家，新加坡国立大学（NUS）博士，清华大学机械工程及自动化系本科。博士期间，师从电子与计算机系 Ben M. Chen 教授及计算机系 Lee Gim Hee 教授，主要研究领域为计算机视觉、深度学习、机器人。在 CVPR 2018, ICCV 2019, ICRA 2019, IROS 2017 的顶级会议上以第一作者发表论文多篇。在 2017, 2015 年国际微小型无人机大赛中获得冠军、亚军。

课程目的：

三维点云是最重要的三维数据表达方式之一。从技术角度看，SLAM、三维重建、机器人感知等领域，点云都是最简单且最普遍的表达方式：相对于图像，点云有其不可替代的优势-深度，也就是说三维点云直接提供了三维空间的数据，

而图像则需要通过透视几何来反推三维数据。从应用角度看，上至无人驾驶中的激光雷达，下至微软 Kinect、iPhone FaceID 以及各种各样的 AR/VR 应用，都需要基于点云的数据处理，比如物体检测、人脸识别、人体姿态估算等。本课程的目的是使学员对三维点云这一领域有一个全方位的认知，了解三维感知的各种问题及解决方案，深入理解各个经典的点云算法，并能够在真实数据集上实现、应用这些算法，本课程还会涉猎最前沿的感知方向的深度学习算法，帮助学员了解更多热点问题及发展趋势。

教学内容及学时分配：

第 1 章：Introduction and Basic Algorithms (2 学时)

通过本章的学习，学员将了解三维点云处理的基础知识，平滑、去噪、法向量估计，PCA\Kernel PCA、降采样等基本内容与算法。

第 2 章：Nearest Neighbor Problem (2 学时)

通过本章的学习，学员将掌握暴力查找、KD-Tree、Octree 等最近邻查找的方法。

第 3 章：Clustering (2 学时)

通过本章的学习，学员将掌握 Mean Shift、K-Means、自组织映射、谱聚类、DBSCAN、Agglomerative Hierarchical Clustering 等经典聚类方法。

第 4 章：Model Fitting (2 学时)

通过本章的学习，学员将掌握霍夫变换、采样一致性等模拟拟合的方法。

第 5 章：Deep Learning on Point Cloud (2 学时)

通过本章的学习，学员将了解深度学习在点云处理中的基本应用，掌握 PointNet 和 PointNet++、图卷积神经网络等点云深度学习的分类与分割及最新进展。

第 6 章：3D Object Detection (2 学时)

通过本章的学习，学员将了解基本的 3D 图像目标检测，并掌握点云目标检测的方法，包括但不限于：VoxelNet、PointPillars、Frustum PointNet、PointRCNN、PointPainting。

第 7 章：3D Feature Detection (2 学时)

通过本章的学习，学员将了解基本的 3D 特征检测，并掌握特征检测的方法，包括但不限于：harris 2d、3d & 6d, ISS、USIP、S0-Net 等。

第 8 章：3D Feature Description (2 学时)

通过本章的学习，学员将了解基本的 3D 特征描述，并掌握特征描述的方法，包括但不限于：PFH & FPFH、SHOT、3DMatch & PerfectMatch、PPFNet 等。

第 9 章：Registration (2 学时)

通过本章的学习，学员将掌握点云配准的内容，了解 ICP、NDT 的原理及内容，以及 RANSAC 配准方法等。

自动驾驶环境感知 教学大纲

课程名称：自动驾驶环境感知

学时：16 学时

课程难度：中

基础要求：

熟悉 Python 编程

熟悉深度学习及深度学习框架 (TensorFlow 或者 PyTorch)，具备其在计算机视觉中的实践经验

最好有配置 GPU 的电脑或者服务器，要求 GTX2080 或者更高

讲师介绍：

苏煜，知名 Tier1 高级算法工程师，哈尔滨工业大学博士。具有 10 年自动驾驶感知算法研发经验，获得 15 项自动驾驶领域的专利授权，并在 IJCV, ICCV, CVPR 等顶级期刊和会议上发表 20 余篇论文。曾主导多项基于视觉、毫米波雷达、激光雷达的研发项目，以及欧洲和中国多个 OEM 的量产合作项目。

课程目的：

环境感知是自动驾驶技术的核心组成部分，目前主流的感知方案主要分为纯视觉的路线以及视觉雷达融合的路线。

依托于摄像头、激光雷达、毫米波雷达，环境感知技术逐渐趋于成熟，并逐步量产落地。从知识的层面看，环境感知并不是新技术，更多的继承自计算机视觉，但计算机视觉的方法如何更有效地应用于自动驾驶场景，仍然具有较强的挑战性。

通过本课程，学员可以系统性地学习分别基于相机、基于激光雷达、基于毫米波雷达的环境感知技术，对量产应用最常用的算法有更深入的了解，并且可以通过实践项目发现这些算法在实际应用中的优缺点。

教学内容及学时分配：

第 1 章：环境感知介绍（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解课程的内容安排，自动驾驶与环境感知的关联及概念，关于环境感知的技术、行业的发展历史与变化，讨论深度学习算法在感知中的重要性以及 3 种典型的环境感知方案。

第 2 章：2D 感知算法（2 学时）

本章将对 2D 感知算法进行详细的介绍，包括 2D 感知任务、数据库和基准测试、物体检测算法、物体跟踪算法、语义分割算法等内容。

第 3 章：3D 感知算法（2 学时）

本章主要是针对 3D 感知算法的介绍，包括基于单目、双目或多目的方法，以及多目 3D 感知的内容。并且通过基于 PSMNet 的双目深度估计项目，提升算法实践应用能力。

第 4 章：激光雷达物体检测（2 学时）

通过本章的学习，学员可以熟悉激光雷达物体检测的基本概念、点云数据库，以及多种物体检测的方法（包括：基于点视图、俯视图、前视图以及多视图融合的方法）。

第 5 章：点云语义分割（2 学时）

通过本章的学习，学员将熟悉语义分割、实例分割以及全景分割的三大类分割方法以及数据库和基准测试，包括 RangNet++、SqueezeSeg、LiDARSeg、SGPN、Panopic-PolarNet 等算法。

第 6 章：毫米波雷达感知算法：传统方法（2 学时）

本章将主要介绍传统方法的毫米波雷达感知算法，包括基本概念、信号处理、物体检测和跟踪、4D 成像雷达方案等内容，并通过运动目标解析的实践项目进行编程锻炼。

第 7 章：毫米波雷达感知算法：深度学习方法（2 学时）

本章将主要介绍基于深度学习的毫米波雷达感知算法，包括点云数据、底层数据、其他传感器辅助、多传感器对齐等内容

多传感器融合感知 教学大纲

课程名称：多传感融合感知

学时：20 学时

课程难度：高

基础要求：

扎实的 C++编程功底，熟悉 ROS 操作系统

了解贝叶斯滤波和非线性优化等状态估计算法

熟悉深度学习及深度学习框架（TensorFlow/PyTorch），及其在计算机视觉中的实践经验

讲师介绍：

傅东旭，自动驾驶高级算法专家。历任百度自动驾驶高级研发工程师，纽劢科技 L4 部门研发负责人，商汤自动驾驶研发副总监。浙江大学控制系硕士，毕业至今拥有 6 年+的 L4 自动驾驶研发经验，擅长 3D 感知、定位建图和多传感器标定等技术。

课程目的：

环境感知是自动驾驶的核心技术之一，其核心作用是感知车辆周围的行人、车辆、障碍物、车道线以及红绿灯等交通标志。在 L3 及以上的自动驾驶系统中，基于摄像头、激光雷达等多传感器的融合感知方案逐渐量产落地。

多传感器融合感知技术涉及知识广，不仅需要大家掌握多传感器的时空标定方法，更需要掌握 2D、3D 的感知方法以及融合策略。

学员通过本课程的学习，可以系统地学习常用的相机、激光雷达的时间空间标定方法以及当下主流的融合感知策略（前融合与后融合），并且可以通过融合感知的 Project，提升亲自动手实现一个完整的融合感知系统的能力。

教学内容及学时分配：

第 1 章：自动驾驶系统中的传感器与时序闭环（2 学时）

本章内容将介绍自动驾驶为什么需要多传感器，以及传感器的特性、机制等内容，包括：物理特性、感知传感器的成像机制、定位传感器的工作原理、自动驾驶传感器系统设计、多传感器系统的时序闭环等内容。

第 2 章：多传感器的标定（2 学时）

通过本章的学习，学员将掌握多传感标定的相关内容，包括非线性优化知识回顾、从 Camera 成像过程谈 Camera 内参标定、多传感器之间的外参标定、外参在线动态修正等内容，且通过实践掌握标定工具箱的应用。

第 3 章：多传感器后融合算法（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解融合问题的定义及背景，并熟悉后融合系统输入输出、预测及目标关联以及后融合算法（Kalman Filter 与 Extended Kalman Filter）。

第 4 章：多传感器前融合算法（2 学时）

通过本章的学习，学员可以掌握 LiDAR+Camera 的前融合算法（MV3D, FrustumPointnet, ContFuse, CalibNet）以及 Camera+Radar 的前融合算法（CRFNet, GRIFNet），并且可以熟悉场景理解问题以及融合系统设计的内容。

第 5 章：如何预测目标级障碍物未来轨迹（2 学时）

本章将学习构建 rule-based 的轨迹优化搜索算法、基于局部地图与历史轨迹, 通过 model-based 方法预测轨迹、如何高效融合 model-based 和 rule-based 的结果。

第 6 章：融合感知系统工程化：在线系统构建（2 学时）

通过本章的学习, 学员可以熟悉在线系统构建的内容, 包括基础结构设计、Perception System 的流程、构建以 datapool 和 threadpool 为基础的 pipeline 执行架构等内容。

第 7 章：融合感知系统工程化：离线系统构建（2 学时）

通过本章的学习, 学员可以熟悉离线系统和构建的问题, 包括如何构建分级性能感知系统评估体系、如何构建数据闭环以及如何构建离线分析工具链等三个问题。

核心模块 III：定位与导航

视觉 SLAM 理论与实践 教学大纲

课程名称：视觉 SLAM 理论与实践

学时：16 学时

课程难度：中

基础要求：

熟悉 C++ 编程、Ubuntu 操作系统,

掌握本科同等水平的数学知识（如微积分、概率论、线性代数）

讲师介绍：

高翔, 慕尼黑工业大学博士后, 清华大学自动化系博士, 长期从事 SLAM 的研究, 主要包括机器人中的视觉 SLAM 技术、机器学习与 SLAM 的结合, 主编畅销书《视觉 SLAM 十四讲：从理论到实践》, 《机器人学中的状态估计》译者之一。

课程目的：

SLAM (simultaneous localization and mapping), 即时定位与地图构建, 被很多学者认为是实现真正全自主移动机器人的关键。当下, SLAM 正在 AR、机器人、无人机、无人驾驶等领域火速入侵, 用夸张点的说法, 就像移动互联网时代的手机地图定位一样, 只要是跟位置相关的生意, 谁抛弃了这张地图, 谁将抛弃了自己的未来。本课程的目的, 是使学员了解并掌握 SLAM 技术的理论知识及代码实现, 使学员最终具备能够完整构建一个 SLAM 系统的能力。

教学内容及学时分配:

第 1 章: 概述与预备知识 (1 学时)

通过本章的学习, 学员将了解 SLAM 基础知识, 以及视觉 SLAM 的数学表达及框架。

第 2 章: 三维空间的刚体运动 (2 学时)

通过本章的学习, 学员将掌握点与坐标系、旋转矩阵、旋转向量与欧拉角及四元数等内容, 并对 Eigen 的矩阵运算及几何模块进行实践操作。

第 3 章: 李群与李代数 (2 学时)

通过本章的学习, 学员将了解群的定义、李群及李代数、指数与对数映射、李代数求导与扰动模型等内容, 并完成 Sophus 的李代数运算实践。

第 4 章: 相机模型与非线性优化 (2 学时)

通过本章的学习, 学员将掌握针孔相机模型与畸变、图像的组成, 从状态估计到最小二乘以及非线性优化的内容。

第 5 章: 特征点法视觉里程计 (2 学时)

通过本章的学习, 学员将掌握特征点的提取与匹配、对极几何、三角测量、3D-2D: PnP、3D-3D: ICP 等内容

第 6 章: 直接法视觉里程计 (2 学时)

通过本章的学习, 学员将了解并掌握直接法的原理及实践内容。

第 7 章: 后端优化 (2 学时)

通过本章的学习, 学员将掌握滤波器、Bundle Adjustment 与图优化、Pose

Graph、Factor Graph 等。

第 8 章：回环检测（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解并掌握回环检测的内容，并掌握通过建立字典的方式计算图像间相似性的方法。

第 9 章：Project：实现完整的 SLAM 系统（1 学时）

本章内容，学员将通过前 8 章学习的内容进行实操，建立完整的 SLAM 系统。

激光 SLAM 理论与实践 教学大纲

课程名称：激光 SLAM 理论与实践

学时：18 学时

课程难度：低

基础要求：

熟悉 C++编程、Ubuntu 操作系统，

掌握本科同等水平的数学知识（如微积分、概率论、线性代数）

具备 ROS 编程基础

讲师介绍：

曾书格，越凡创新技术负责人，电子科技大学硕士，研究生期间主要从事激光 SLAM 和机器人导航方面的研究和项目，其带队研发的全自主移动机器人—小贩机器人（FANBOT）已与万达、猎户星空、腾讯、龙湖地产等知名企业合作，累计运行 14 万公里。团队拥有 90 多项国家专利技术。曾获得 2013 年第十二届亚太大学生机器人竞赛（ABU Robocon）国内选拔赛冠军；2013 年瑞萨杯全国大学生电子设计竞赛控制组全国一等奖。

课程目的：

SLAM（同步定位与地图构建），是指运动物体根据传感器的信息，一边计算自身位置，一边构建环境地图的过程，解决机器人在未知环境下运动时的定位与地图构建问题。目前，SLAM 的主要应用于机器人、无人机、无人驾驶、AR 等领域。按传感器来分，SLAM 主要分为激光 SLAM 和 视觉 SLAM（VSLAM）两大类。

其中，激光 SLAM 比 VSLAM 起步早，在理论、技术和产品落地上都相对成熟。本课程将以一个完整的 2D 激光 SLAM 的解决方案对激光 SLAM 算法实现进行完整地讲解教学，以提高学员实际动手能力、发现问题并主动解决问题的能力。

教学内容及学时分配：

第 1 章：激光 SLAM 简介(2 学时)

通过本章的学习,学员将了解激光 SLAM 的发展历史及激光 SLAM 的整体流程。

第 2 章：传感器数据处理 I：里程计运动模型及标定(2 学时)

通过本章的学习，学员将学习并掌握里程计运动学模型、标定原理，以及里程计标定程序的编写。

第 3 章：传感器数据处理 II：激光雷达数学模型和运动畸变去除(2 学时)

通过本章的学习，学员将了解并掌握激光雷达数学模型、运动畸变概念及影响、基于纯激光雷达/里程计辅助的运动畸变去除。

第 4 章：激光 SLAM 的前端配准方法 I(2 学时)

通过本章的学习,学员将了解并掌握 ICP 匹配方法、PL-ICP 匹配方法等内容,并通过 IMLS-ICP 方法实现前端配准。

第 5 章：激光 SLAM 的前端配准方法 II(2 学时)

通过本章的学习，学员将了解并掌握拟梯度法、高斯牛顿方法、NDT 及相关方法和分支定界方法，并实现基于优化方法的前端配准。

第 6 章：基于图优化的激光 SLAM 方法(Grid-based) (2 学时)

通过本章的学习，学员将了解并掌握 Pose Graph 的概念、非线性最小二乘原理、非线性最小二乘求解 SLAM、经典开源算法(cartographer)基本流程，并实现一个简单的基于优化的 SLAM 算法。

第 7 章：基于已知定位的建图(2 学时)

通过本章的学习，学员将了解并掌握地图分类、基于已知定位的栅格地图构建，学会构建栅格地图。

第 8 章：life-long Mapping(2 学时)

通过本章的学习，学员将了解 life-long Mapping 的概念及冗余节点的选择问题，并学习 Pose-Graph 的精确及近似边缘化内容。

第 9 章：3D 激光 SLAM 介绍 (2 学时)

通过本章的学习，学员将了解 3D 激光 SLAM 及其与视觉的融合。

从零开始手写 VIO 教学大纲

课程名称：视觉 SLAM 进阶：从零开始手写 VIO

学时：16 学时

课程难度：高

基础要求：

熟悉 Ubuntu 操作系统，具备一定的 C++ 基础

学习本课程需要具备一定的视觉 SLAM 基础（学习过《视觉 SLAM 十四讲》、深蓝学院的“视觉 SLAM 理论与实践”线上课程，或系统阅读过主流开源代码（如 ORB-SLAM、SVO、DSO 等））

讲师介绍：

贺一家，中科院自动化所博士，“白巧克力亦唯心”博主，研究方向包括视觉 SLAM、多传感器信息融合。CSDN 博客专家（累计访问 144 万），发表 SCI 和 EI 论文数篇。

高翔，慕尼黑工业大学博士后，清华大学自动化系博士，长期从事 SLAM 的研究，主要包括机器人中的视觉 SLAM 技术、机器学习与 SLAM 的结合，主编畅销书《视觉 SLAM 十四讲：从理论到实践》，《机器人学中的状态估计》译者之一。

课程目的：

单纯地视觉 SLAM 技术，在企业实际产品落地时受限，往往需要与其他传感器配合，组成多传感器融合地方案。视觉惯性里程计 VIO，就是其中极具代表性的。本课程，通过理论+实践的教学方式，使学员能够掌握视觉惯性里程计这一主流的多传感器解决方案，并掌握其中的算法原理，提升学员的动手实践及实际应用能力。

教学内容及学时分配：

第 1 章：概述与课程介绍（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解到 VIO 算法的分类，包括：耦合方式分类、优化方式分类：滤波与优化方法。

第 2 章：IMU 传感器（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解并掌握 IMU 测量模型及运动模型以及 IMU 数据的仿真，包括：基于求导的仿真数据产生、基于 spline 样条插值的仿真。

第 3 章：基于优化的 IMU 预积分与视觉信息融合（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解并掌握误差函数的构建、误差 Jacobian 推导、非线性最小二乘求解。

第 4 章：滑动窗口算法理论：VIO 融合及其可观性与一致性（2 学时）

通过本章的学习，学员将掌握信息矩阵与协方差矩阵的物理含义、边缘化操作与条件概率、滑动窗口算法与 FEJ 算法，并实现一个后端的框架

第 5 章：滑动窗口算法实践：逐行手写求解器（2 学时）

通过本章的学习，学员将掌握滑动窗口算法整体流程、先验信息构建以及维护流程、基于 ceres 的 marg 代码（VINS mono）手写仅依赖 Eigen 的滑动窗口代码。

第 6 章：视觉前端（2 学时）

通过本章的学习，学员将掌握前端特征的提取与匹配、相机姿态估计、前端代码实现等知识内容。

第 7 章：VINS 系统构建（2 学时）

通过本章的学习，学员将掌握 VINS 初始化、VINS 系统的构建及算法流程、视觉与轮速计、激光等传感器融合

第 8 章：课程答疑（2 学时）

本章将解决学员在学习过程中遇到的问题，并讲解视觉和轮速计传感器融合、视觉和激光等传感器融合及资料推荐。

多传感器融合定位 教学大纲

课程名称：多传感器融合定位

学时：16 学时

课程难度：高

基础要求：

具备基础的 ROS 工程编译及使用能力，熟悉 Ubuntu 操作系统

具备一定的 C++ 基础，系统阅读过至少一种主流的 SLAM 开源代码

系统学习过高数、矩阵论（线性代数）、概率论的知识

讲师介绍：

任乾，原自动驾驶公司研发总监，北京理工大学导航、制导与控制硕士。从 2011 年起，开始进入惯性导航、多传感器融合定位领域，具有多种精度等级、多种配置、多种场景下的传感器融合定位系统成功研发经验。在 IEEE Transactions on Industrial Electronics, Sensors and Actuators 等 SCI 期刊上发表文章，并撰写知乎专栏《从零开始做自动驾驶定位》。

课程目的：

定位系统对于移动机器人\无人车至关重要，但是定位技术横跨多个专业，包括测绘、导航、计算机视觉知识、以及点云处理的知识，并且在实际应用中也会面临诸多挑战。而为了能够获得更高精度的定位信息，则需要多种传感器之间的相互“配合”，需要对多种传感器信息进行处理与融合。本课程将通过理论+实践的教学方式，教授学员基本的多传感器融合的方法与技术，掌握常用 3D 激光 SLAM 算法的原理及代码实现，并通过每章节的实践内容及最后的终极项目，来提高学员的实践应用能力。

教学内容及学时分配：

第 1 章：3D 激光里程计（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解各种里程计方案，包括：LOAM / ALOAM / FLOAM / LEGO-LOAM 理论及代码实现、ICP/NDT、点云畸变补偿方法等；并学习基于 EVO

的里程计精度评价方法以及基于 KITTI 数据集的实现方法。

第 2 章：点云地图构建及基于地图的定位（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解并掌握基于初始位姿、scan-context 的回环检测方法，基于回环、先验观测的误差修正原理的点云地图构建以及基于点云地图的定位。

第 3 章：惯性导航原理及误差分析（2 学时）

通过本章的学习，学员将掌握 IMU 误差分析及处理、内参标定及惯性导航解算方法以及误差模型。

第 4 章：基于滤波的融合方法（2 学时）

通过本章的学习，学员将掌握常见的滤波器基本原理及观测性分析，并学习基于 IMU 和点云地图的融合原理及基于 KITTI 数据集的融合实现。

第 5 章：多传感器时空标定（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解并掌握传感器时间同步及时间差标定的问题，了解传感器外参标定原理，实现离线的时空标定及在线时空标定的方法。

第 6 章：多传感器融合方案进阶（2 学时）

通过本章的学习，学员将掌握基于图优化的多传感器融合方案及掌握基于滤波器的多传感器融合进阶内容，包括：多传感器模式下误差模型的推导、运动约束模型推导等内容。

第 7 章：常见融合方案（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解并掌握 hdl_graph_slam、lio_sam 和 lio-mapping/lins 融合方案的代码实现。

第 8 章：课程总结及 Project（2 学时）

通过本章的学习，学员将通过 project 的内容，对所学的知识内容进行知识巩固。

核心模块 IV：控制规划

移动机器人运动规划 教学大纲

课程名称：移动机器人路径规划

学时：16 学时

课程难度：高

基础要求：

有编程基础（MATLAB/C/C++）或参加过机器人相关竞赛，具备 ROS 系统基础

具备基本电子/机械/计算机相关专业大学本科知识，如：微积分-线性代数（必备）、控制理论、离散数学

讲师介绍：

高飞，浙江大学担任助理教授，香港科技大学机器人研究所博士。博士期间，师从沈劭劼老师，以第一作者/通讯作者身份发表会议论文 7 篇，其中 ICRA、IROS 5 篇；发表期刊论文 4 篇，其中 RA-L，JFR 各 2 篇；曾获得 2018 年香港科技大学工学院顶级博士生奖，2016 年 SSRR 最佳会议论文奖，2015 年国际空中机器人大赛一等奖等荣誉。

课程目的：

随着机器人产品的落地，众多机器人公司对 motion planning 方向人才需求巨大。越来越多的国内院校开设机器人专业，诸多本科生和研究生迫切希望学习最新、最实用的 planning 算法原理以及工程实现。本门课程将通过 20 个学时的教学，使学员具备实现任意主流 planning 算法，并部署在机器人上的能力，具备在企业从事相关领域研发的能力。

教学内容及学时分配：

第 1 章：概述和课程介绍（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解运动规划方法分类、常用地图结构与基础知识等内容。

第 2 章：基于搜索的路径规划（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解并掌握图搜索基础、Dijkstra 和 A*算法、JPS 算法的原理及代码实践内容。

第 3 章：基于采样的路径规划（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解并掌握概率路线图算法、快速探索随机树算法、基于采样的最优路径规划算法、基于采样的路径规划算法进阶等内容。

第 4 章：动力学约束下的路径规划（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解并掌握动力学概念及基本知识，两点边界值最优控制、状态栅格搜索算法、动力学约束 RRT*算法、混合 A*算法。

第 5 章：轨迹生成（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解并掌握微分平坦、Minimum-snap 轨迹优化方法及优化的闭式解、时间分配问题、工程实现细节。

第 6 章：软约束和硬约束下的轨迹优化（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解并掌握软约束轨迹优化方法\硬约束轨迹优化方法等内容。

第 7 章：基于马尔可夫决策过程的运动规划（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解并掌握规划中的不确定性和马尔可夫决策过程、最小最大代价规划和最小期望代价规划、值迭代和实时动态规划。

第 8 章：模型预测控制在运动规划的应用（2 学时）

通过本章的学习，学员将了解并掌握 MPC 基本内容、线性 MPC 方法及非线性 MPC 方法。

自动驾驶规划控制 教学大纲

课程名称：自动驾驶规划控制

学时：16 学时

课程难度：高

基础要求：

线性代数，微积分，概率论

控制理论基础，现代控制理论

动态规划等优化的知识

C/C++编程基础

讲师介绍：

乌宁，自动驾驶公司首席研究科学家，规划控制团队负责人，新加坡国立大学博士。具有 10 年以上机器人规划控制的研发经验，获得多项自动驾驶专利，并发表多篇机器人，自动驾驶论文。

课程目的：

课程从基础的车辆物理模型出发，通过对不同场景及应用下车辆模型的分析，详细阐述车辆控制学及路径规划的知识体系。通过将理论与实际车辆规划控制中的问题相结合，从而让大家达到融会贯通的效果。

教学内容及学时分配：

第 1 章：自动驾驶规划控制概况

本章节首先介绍自动驾驶的基本概念及无人车的组成部分和功能，接着会介绍规划控制的基本组成模块，最后从课程结构的角度梳理整个课程的学习线路和学习建议。

第 2 章：车辆纵向控制

本章首先介绍车辆的纵向运动模型，包括轮胎纵向力、滚动阻力、空气阻力；接着介绍将用于车辆纵向控制中的经典反馈控制，包括传递函数，拉普拉斯变换，开环和闭环系统，还会介绍 PID 控制及其参数整定的方法，最后介绍两种最常见的车辆纵向控制系统：巡航控制和自适应巡航控制。

第 3 章：车辆横向控制

本章首先介绍自行车模型及利用阿克曼转向几何知识的车辆横向运动学模型，然后介绍现代控制理论，包括系统稳定性，传递函数的局限性，状态空间方程建模及现代控制理论中的能控性和能观性，最后介绍两种基于几何的车辆横向控制方法：纯跟踪法和 Stanley 法。

第 4 章：车辆轨迹追踪的优化控制

本章将介绍车辆高速行驶时十分重要的动力学特性，然后介绍最优控制中的 LQR 算法，并将其用于车辆轨迹跟踪控制器的设计当中，最后引入预瞄控制来提高跟踪效果，并在状态空间中建立车辆的跟踪误差模型。

第 5 章：基于 MPC 的车辆控制及轨迹规划

本章首先介绍模型预测控制(MPC)的基本理论及优点，其次介绍基于车辆非线性模型的 MPC 横向控制，最后推广到车辆的纵向控制和横向控制中。

第 6 章：动作规划

本章介绍动作规划的基本概念，然后介绍基于图搜索和采样的局部路径规划方法，最后介绍平滑优化方法。

第 7 章：决策规划

本章介绍目前常见的行为决策规划方法，包括有限状态机、马尔可夫决策过程和形式化方法，并对上述行为决策方法的优缺点进行比较。

第 8 章：路径规划

本章介绍目前常见的全局路径规划方法，包括动态规划和基于图搜索(如 A*)的方法，并对这些算法的优缺点进行比较。