



David Silver - I love self-driving cars and I work on them at @Udacity! Learn to build self-driving cars with us: <https://udacity.com/drive> | Oct 5, 2016

原文发表在 Medium, 点击[此处（第1、2学期）](#)和[此处（第3学期）](#)查看英文原文。

优达学城

无人驾驶车工程师纳米学位课程计划



我们努力将这个纳米学位项目打造为全球最好的无人驾驶汽车工程师培训课程。整个课程共分为 3 个学期，每学期 3 个月，你大约需要 9 个月时间完成整个纳米学位项目。以下是课程的详细内容：

第一学期

简介

1. 与讲师见面，包括 [Sebastian Thrun](#)、[Ryan Keenan](#) 和我自己。了解无人驾驶车的组成系统，以及此纳米学位项目的授课内容和授课形式。

2. 实战项目：检测车道线

从视频流中获取的图像检测高速公路车道线。使用 OpenCV 图像分析技术，包括霍夫变换（Hough transforms）、Canny 边缘检测、颜色选择，切图（ROI, region of interest selection），灰度处理，高斯模糊等方法来识别车道线。

深度学习

1. 机器学习：回顾机器学习的基础知识，包括回归和分类。

2. 神经网络：了解感知器、激活函数和基本神经网络。使用 Python 语言搭建你自己的神经网络。

3. 逻辑分类器（Logistic Classifier）：研究如何使用机器学习训练逻辑分类器。在 TensorFlow 系统中实现逻辑分类器。

4. 优化（Optimization）：研究分类器性能优化技术，包括验证和测试集、梯度下降、动量和学习速率等。

5. 修正线性单元（Rectified Linear Units）：评估激活函数及它们对性能的影响。

6. 正则化（Regularization）：学习丢失数据（dropout）等技术以避免过拟合训练数据。

7. 卷积神经网络（CNN）：研究卷积神经网络的构建模块，包括过滤器、步幅（stride）和池化（pooling）。

8. 实战项目：交通标志识别和分类

实现和训练卷积神经网络对交通标志进行分类。使用验证集、池化和丢弃数据技术选择神经网络架构并提高性能。

9. Keras：在 Keras 中构建一个多层卷积神经网络。比较 Keras 的简单性与 TensorFlow 的灵活性。

10. 迁移学习（Transfer Learning）：微调已经经过训练的神经网络来解决你自己的问题。研究 AlexNet、VGG、GoogLeNet 和 ResNet 等标准神经网络。

11. 实战项目：行为克隆

架构和训练一个深度神经网络，以在模拟器中驾驶汽车。收集你自己的训练数据，并用它来在测试跑道上克隆你自己的驾驶行为模式。

计算机视觉

1. 摄像头：学习摄像头的物理知识，以及如何校准、反失真和转换图像角度。

2. 车道检测：研究可以应对弯道、恶劣天气和不同照明情况的先进车道检测技术。

3. 实战项目：高级车道检测

在各种条件下检测车道线，包括不断变化的路面、弯道和变化的照明条件。使用 OpenCV、滤波器、多项式拟合和样条曲线（spline）实现摄像头校准和变换。

4. 支持向量机（SVM）：实现支持向量机，并应用于图像分类。

5. 决策树：实现决策树并应用于图像分类。

6. 定向梯度直方图（Histogram of Oriented Gradients）：实现定向梯度的直方图，并将其应用于图像分类。

7. 深度神经网络：比较支持向量机、决策树、定向梯度直方图和深度神经网络的分类性能。

8. 车辆跟踪：学习如何将图像分类技术应用于车辆跟踪，以及使用基本过滤器随时间变化整合车辆位置。

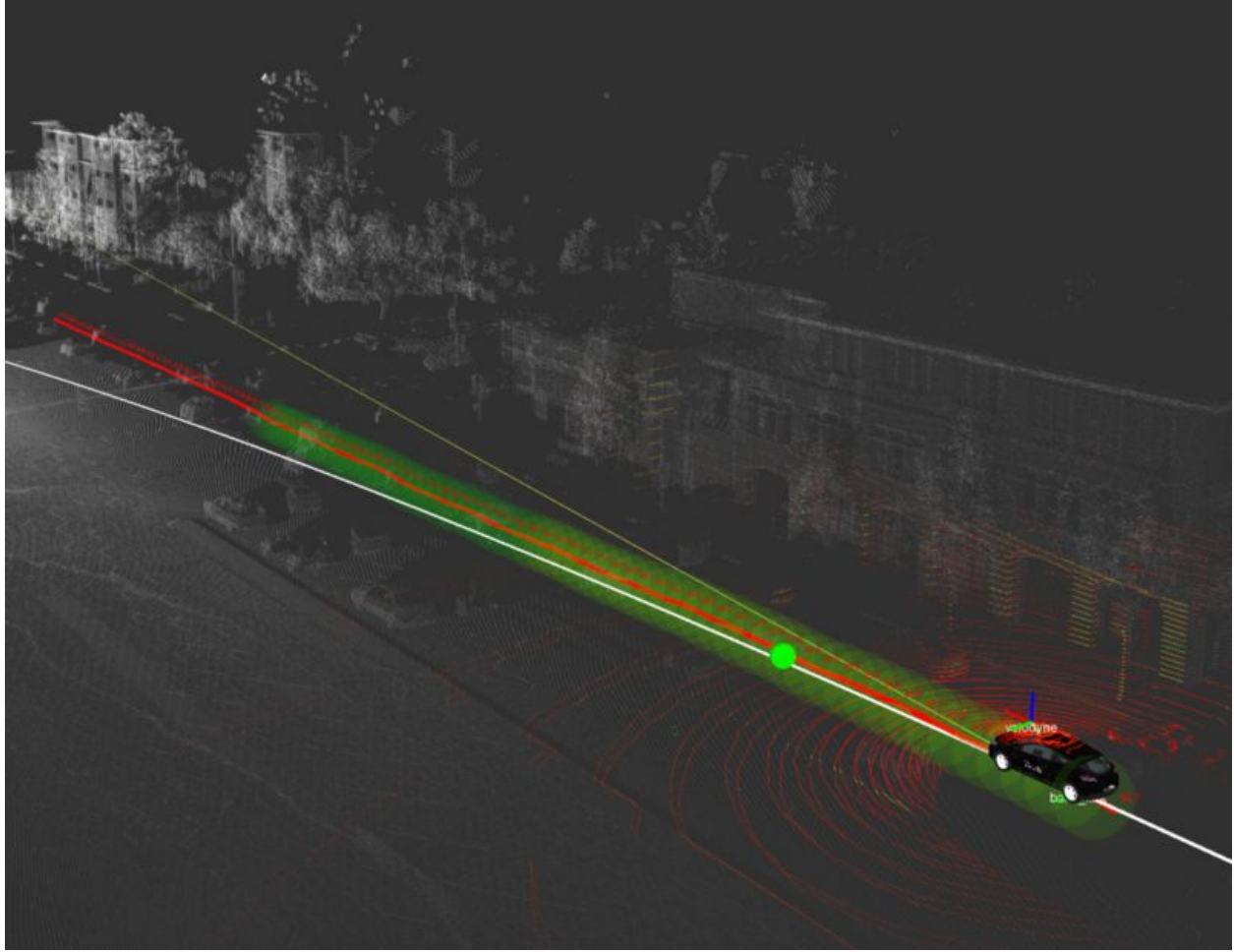
9. 实战项目：车辆跟踪

使用图像分类器（例如 SVM、决策树、HOG 和 DNN）跟踪摄像头图像中的车辆。应用过滤器融合位置数据。

第二学期

传感器融合（Sensor Fusion）

我们将本学期划分成了数个模块，每个模块都是由一系列有所侧重的课程组成。这个传感器融合模块是由我们与我们在梅赛德斯-奔驰的合作伙伴共同完成的。[梅赛德斯-奔驰](#)的团队实力超群。他们是世界级的汽车工程师，将无人驾驶技术应用到一些世界上最好的车辆上。他们也是[优达学城的招聘合作伙伴](#)，这表示我们一起开发的课程特别侧重于培养与提升那些他们希望雇佣的人才！



激光雷达点云

下面是传感器融合模块每节课程的内容：

1. 传感器
2. 传感器融合模块的第一课，涵盖了在无人驾驶汽车上的两种最重要的传感器——雷达与光学雷达背后的物理
3. 卡尔曼滤波器（Kalman filter）

4. 卡尔曼滤波器是将数据融合的重要工具，运用 Python 实现这些滤波器，并融合单一传感器实时数据

5. C++ Primer

6. 复习 C++ 的关键概念并实现第二学期的项目

7. 项目：用 C++ 实现扩展卡尔曼滤波器

8. 无人驾驶工程师运用扩展卡尔曼滤波，将多个传感器的测量数据融合进一个非线性模型。成功建立一个卡尔曼滤波器，会令你的潜在雇主印象深刻

9. 无迹卡尔曼滤波器

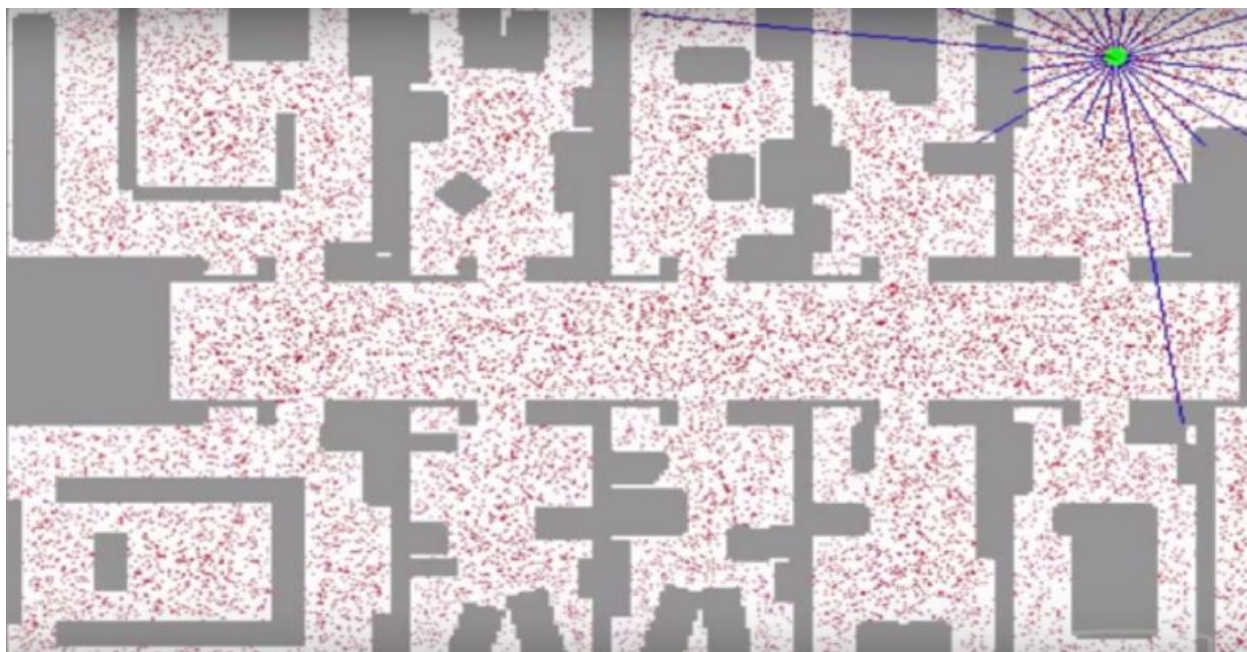
10. 无迹卡尔曼滤波器（Unscented Kalman filter）用数学上的复杂的方法结合传感器的数据。在许多场合下无迹卡尔曼滤波器表现的要比扩展卡尔曼滤波器好。这是传感器融合工程师用于真实的无人驾驶汽车的传感器融合方法

11. 实战项目：行人追踪

12. 融合含有噪声的雷达与激光雷达数据，以追踪一名行人的行动轨迹。

定位（Localization）

这一模块也是由我们在[梅赛德斯-奔驰](#)的合作伙伴完成的，他们将前沿的定位技术应用于他们自己的无人驾驶汽车，我们将一起向学生展示如何运用并实现每个定位工程师都需要掌握的基本算法。



粒子滤波

定位模块由以下课程组成：

1. 运动 (motion)
2. 学习运动和概率将如何影响你对你所在位置的认识。
3. 马尔科夫定位
4. 运用一个简单的贝叶斯滤波器，定位一辆在简单环境中的车辆。

5. 自运动

6. 学习车辆移动的基本模型，其中包括自行车模型。运用不同传感器所提供的数据估计汽车的位置。

7. 粒子滤波

8. 运用一种概率抽样技术，即粒子滤波，来定位处于复杂环境中的车辆

9. 高性能粒子滤波

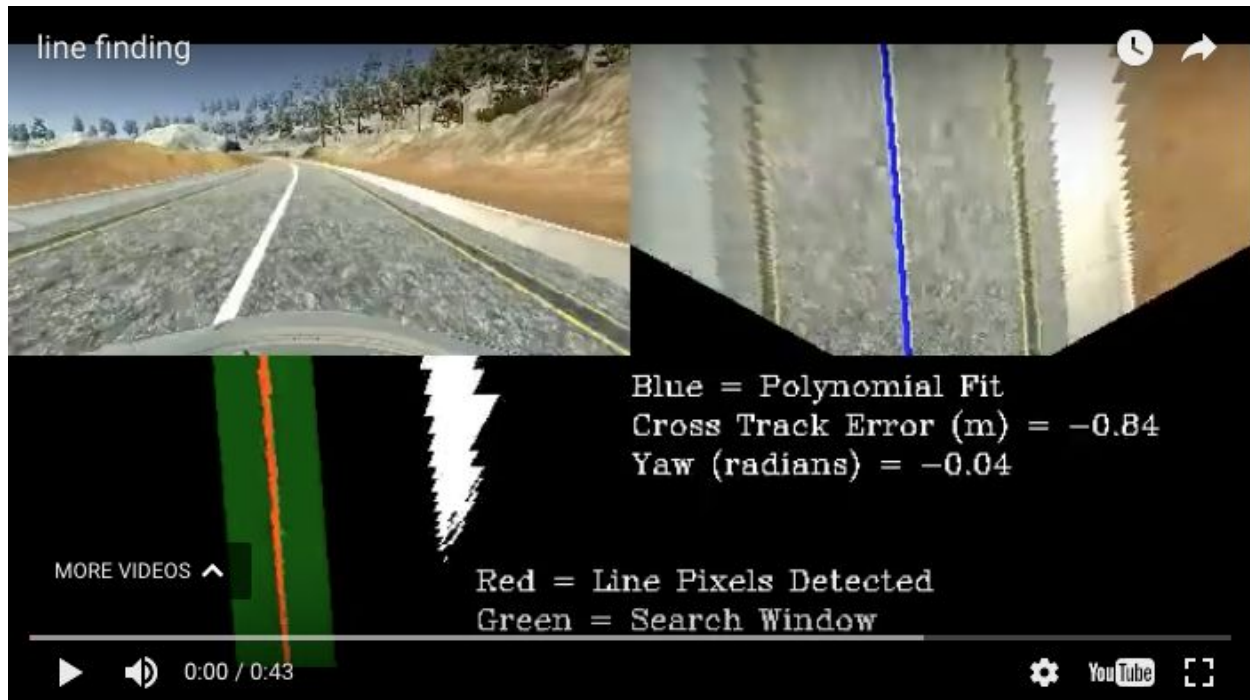
10. 用 C++ 实现粒子滤波

11. 项目：定位车辆

12. 实现粒子滤波，并利用现实世界中的数据定位一辆丢失的车辆

控制

这一模块是有我们与 [Uber 先进技术团队](#)（Uber Advanced Technologies Group）合作的。Uber 是无人驾驶领域进展最快的公司之一。在美国，他们已经在多个地点测试了他们的无人驾车，并且他们很乐于为大家介绍无人驾驶汽车所用到的核心控制算法。Uber 先进技术团队也是优达学城的招聘合作伙伴，因此如果你想在 Uber 工作，请关注他们的课程。



优达学城模拟器中的一个控制器

此模块包括以下课程：

1. 控制
2. 学习控制系统是如何让车辆准确地行驶
3. PID 控制（比例微分积分控制）
4. 实现经典的闭环控制器——比例微分积分控制系统
5. 线性二次型调节器
6. 实现一个更加复杂的控制算法，使车辆在一个充满噪声的环境中保持稳定

7. 项目：保持车道

8. 实现一个控制器并保持车辆行驶在线内。额外的挑战：运用计算机视觉技术识别车道线并评估航迹误差。

第三学期

这一学期长三个月，每个月着重介绍一个单元。

第一个月介绍路径规划（path planning），这相当于无人驾驶车的大脑。无人驾驶车通过路径规划决定前往何处，以及如何抵达那里。

第二个月，你可以从专项课程中自主选择一门学习，这是你深入研究某一特定领域，掌握该领域专业技能的好机会。当你进入就业市场时，这将成为你的关键竞争优势。我们希望你的简历能脱颖而出，学习专项课程、掌握专门技能是实现这一点的好方法。

最后一个月将是只有在Udacity才能体验的经历。在这个系统集成单元（System Integration Module）中，你将把你的代码上传到Udacity的无人驾驶车上！你将和其他学员组成团队，在现实世界中练习你们的技能。无人驾驶车领域的雇主告诉我们，这是他们在Udacity学员中最看中的东西：既有软件开发技能，又拥有实际开发经验。

第一个月：路径规划

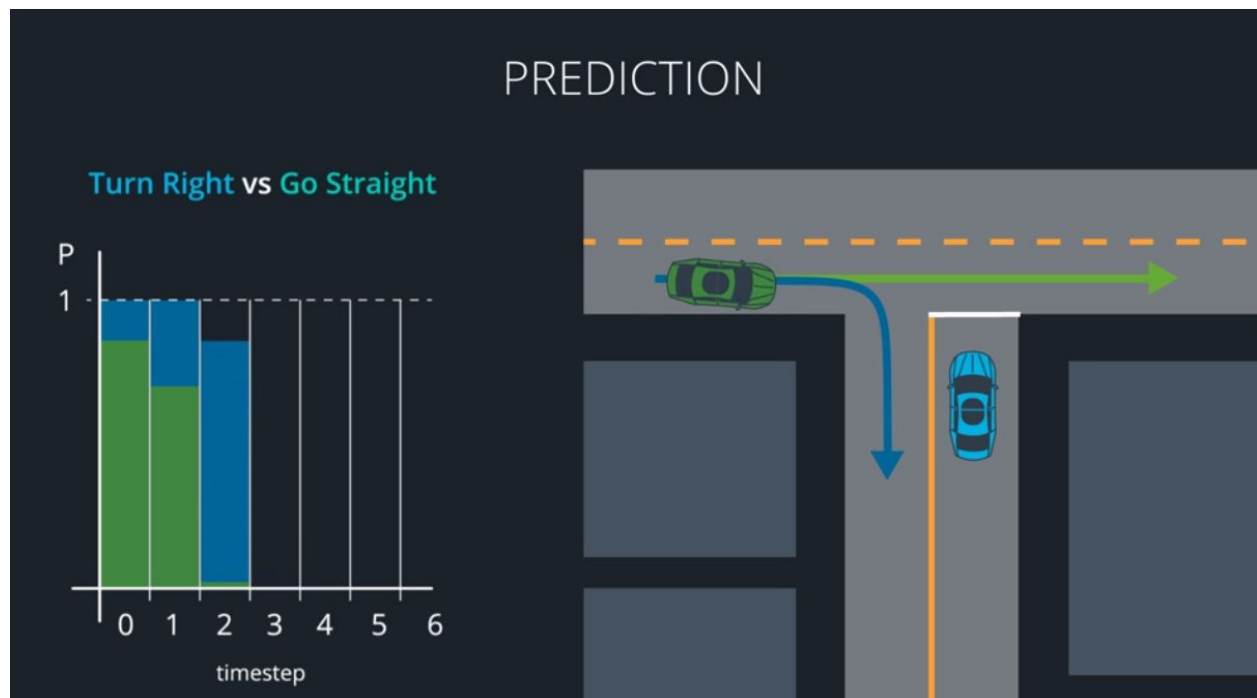


Mercedes-Benz

路径规划是无人驾驶车的大脑，不论在宏观和微观层面上，这都是汽车决定到哪里去，如何到达目的地的方法。你将学习路径规划三个核心部分：环境预测（environmental prediction），行为规划（behavioral planning），轨迹生成（trajectory generation）。

更棒的是，这个单元将由我们在[梅赛德斯-奔驰北美研发中心](#)的合作伙伴教学。他们的参与保证了这个单元将特别关注这一领域的求职者需要了解的知识。

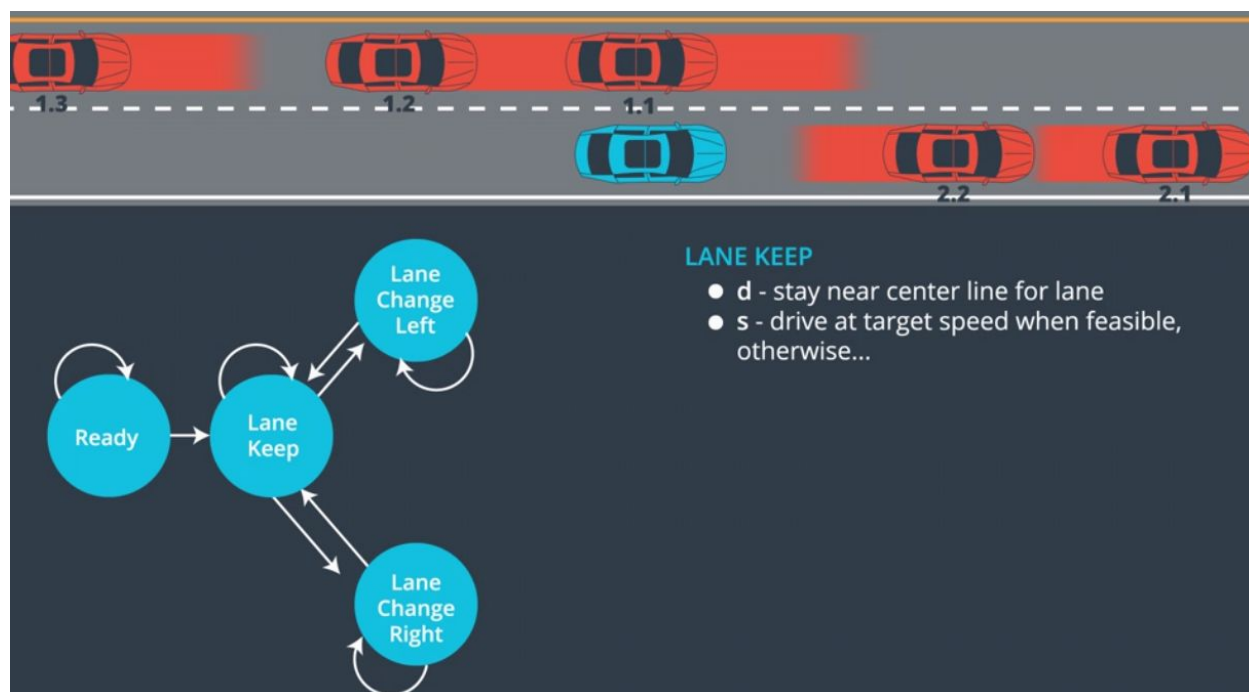
路径规划 课程 1：环境预测



在这节环境预测课程中，你将使用基于模型、数据驱动，以及两者混合的方法，预测无人驾驶车四周的其他汽车的行为。基于模型的方法将决定汽车可能采取的行

为。数据驱动的方法使用训练数据，将当前车辆的行为和我们曾经看到的车辆的行为相比较。混合方法融合了基于模型的方法和数据驱动的方法，以预测其他车辆接下来会如何行驶。上述方法是我们决定无人驾驶车如何行进的关键。

路径规划 课程 1：行为规划



在每个时间步，路径规划器必须选择一种行为，做出行动。在路径规划课程中，你将会建立有限状态机（finite-state machines），代表汽车可以选择的全部可能的行为。有限状态机可能包括：加速（*accelerate*），减速（*decelerate*），左转（*shift left*），右转（*shift right*）与继续直行（*continue straight*）。接下来你将构建一个代价函数（cost function），以计算每种行为的代价，并选择代价最小的选择。

路径规划 课程 3：轨迹生成



轨迹生成课程将由梅赛德斯-奔驰的汽车智能团队的 Emmanuel Boidot 教授。

在轨迹生成课程中，你将使用C++ 与 [Eigen](#) 线性代数库，为汽车提供一些备选的轨迹。这些轨迹中，有的可能会不安全，有的可能仅仅是行驶体验较差。随后，你的代价函数将为汽车指出可行的最佳轨迹。

路径规划项目：高速公路路径规划器

使用最新版本的 [Udacity 模拟器](#)，你将完成自己的路径规划器，并在高速公路上进行测试。结合你在前几节课程完成的的环境预测、行为规划、轨迹生成引擎，创建一个端对端的路径规划器，让汽车在车流中安稳行驶！

第二个月：选修课程

第三学期将会发布两门选修课程：深度学习进阶课程与功能安全（Functional Safety）课程。我们根据我们的雇佣伙伴的反馈选择了这两门课程。我们很高兴能让学生们有机会深入了解这些主题。

第二个月 选修课程：深度学习进阶

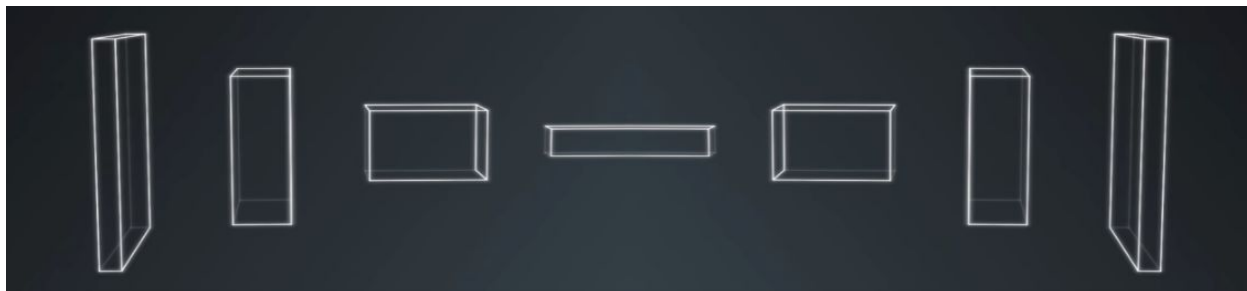


Udacity 联合[英伟达深度学习研究所](#)开发了这门深度学习进阶课程。

这个单元包含了语义分割（semantic segmentation）与推理优化（inference optimization）。这些题目是深度学习研究领域的热门课题。

语义分割从像素中识别自由空间，以提升决策能力。推理优化加速神经网络运行速度，对于计算密集型模型来说，例如在这一模块你将学到的语义分割网络，这是至关重要的。

深度学习进阶 课程 1：全卷积网络



在这一课程中，你将建立并训练一个全卷积网络，该网络输出一整张图片而不仅仅是分类。你将实现全卷积网络将用到的三种特殊技术：1x1 卷积、上采样、跳跃层，以训练你自己的全卷积模型。

深度学习进阶 课程 2：景物理解



在这一课程中，你将学到边界框网络（bounding box networks）的优点与缺点，如 YOLO 或单点探测器（Single Shot Detector）。接下来，你将会更进一步，建立你自己的语义分割网络。你将从一些权威的网络开始，如 VGG 与 ResNet。在移除这些网络的最后一层全连接网络后，你可以添加你已经实现的三种技术：1x1

卷积、上采样、跳跃层。你将做出自己的全卷积网络，并对图片中每一个像素进行分类。

深度学习进阶 课程3：推理优化

语义分割的挑战之一，是它需要大量的计算能力。在这一课程中，你将会学到如何使用诸如融合、量化和降低精度等技术，加速网络的实际运行性能。

深度学习进阶项目：语义分割

在深度学习进阶单元的项目中，你将建立一个语义分割网络，以识别道路中的空地。你将应用你全卷积网络的知识与技巧，创建一个语义分割模型，为道路空地上的每个像素进行分类。你将使用推理优化技术，如加速网络性能如融合、量化和降低精度等，加速网络的性能。你将学到并实现在 [KITTI 道路检测竞赛](#)中有着最佳表现的几种方法！

第二个月 选修课程：功能安全



联合 [Elektrobit](#)，我们建立了一个有趣而全面的功能安全模块。

你将学到功能安全框架，以在系统级或是组件级别保证汽车的安全。

功能安全 课程 1：简介



你将和来自 Elektrobit 的 Dheeraj、Stephanie 和 Benjamin 一起建立一个功能安全实例。

在这一课程中，来自 Elektrobit 的专家们将指导你通过 [ISO 26262 标准](#) 规定的建立功能安全实例的抽象步骤。ISO 26262 是世界公认的汽车功能安全标准。理解这一标准的要求，将使你精于这一无人驾驶车开发的重要领域。

功能安全 课程 2：安全计划

在这一课程中，你将为车道保持辅助功能设计一份安全计划。你将在 Elektrobit 功能安全管理者使用的同一份模板基础上，添加属于你的特定信息。

功能安全 课程 3：危害分析和风险评估

你将为车道保持辅助功能，完成一个危害分析和风险评估系统。作为危害分析和风险评估的一部分，你将进行一场头脑风暴，思考系统将可能如何崩溃，包括运作模

式，环境信息以及每个假设场景的物品使用情况。你的危害分析和风险评估系统将在你的功能安全分析过程中，于显示器上记录各种问题。

功能安全 课程4：功能安全概念

对于在危害分析和风险评估中识别出的问题，你将开发一个功能安全概念，以描述那些顶层的性能要求。

功能安全 课程 5：技术安全概念

你将把那些抽象的功能安全概念需求转化为技术安全概念需求，以规定具体的性能参数。这时，你将会对系统有具体的约束。

功能安全 课程6：软件与硬件

功能安全在如何实现硬件与软件这一问题上，有着具体的规则。在这一课程中你将学习到空间、时间和通讯中的干扰，以及如何对抗它们。你也将回顾 MISRA C++，这一在为无人驾驶系统写 C++ 时最常用到的规则。

功能安全 项目：安全实例

你将遵循课程中的指导，针对车道偏离警告功能，建立一个端对端的安全实例。你将从危害分析和风险评估开始，随后进一步创建功能与技术安全概念的文档，并最终转化为软件与硬件的需求。分析与记录系统安全对于无人驾驶车开发是十分重要的。这些技术通常只有经验丰富的无人驾驶车工程师才会具备！

系统集成

系统集成是纳米学位项目的最后一个模块，在这一月中你将把你的代码加载到 Udacity 无人驾驶车上！你将学到在我们的无人驾驶车上运行的软件栈——“Carla”，在这个项目的最后一个月里，你将开始团队合作，集成软件组件，并让无人驾驶车自主驶过 Udacity 测试道路。

车辆子系统

这一课程中你将了解到 Carla 的核心子系统：传感器，感知，规划与控制，最终你需要集成这些软件模块，让 Carla 可以在测试轨道上导航。

ROS 与 Autoware

Carla 基于两种流行的开源无人驾驶库：ROS 与 Autoware，在这一课程中，你将练习实现 ROS 节点与 Autoware 模块。

系统集成

在课程的最后一节课中，你将在 Carla 的软件开发环境中，集成 ROS 节点与 Autoware 模块。你将学到如何将代码上载到汽车上，并解决在真实硬件中遇到的问题，例如延迟、中断消息和进程崩溃。

项目：Carla

这是这一纳米学位项目的压轴项目！你将和其他学员合作，实践你在过去九个月中掌握的技能。项目的目标是建立 Carla 的软件环境，使其可以自主驶过 Udacity 测试路线。

当你完成了第三学期的课程，你将会从这一项目中毕业，并赢得你的 Udacity 无人驾驶车工程师纳米学位认证。你将有能力在无人驾驶车团队中工作，开发突破性的无人驾驶技术，并且你会加入一个由专业人士组成的社区，致力于通过这种技术，创建一个更好的世界。期待在课上见到你！

以上这些内容，将随着我们不断更新授课大纲而更新，因为一门伟大的课程在于不断汲取反馈和加以改进！

如果你成功加入了此课程，恭喜你！我们很高兴能成为你的讲师。

如果我们建议你在加入课程之前先温习几个课题，并进行自我评估，请务必照做！我们很高兴为你传授知识，并希望你能有一个愉快的学习体验。

如果你尚未申请此课程，[立即行动吧](#)！期待在课堂上看到你！