

人工智能科技新思维科普教具研发
——以无人驾驶汽车为例

科
普
教
材

目录

第一章 人工智能与无人驾驶发展与认识.....	3
第一节 人工智能的发展路线.....	3
第二节 人工智能算法技术.....	4
1. 深度学习.....	4
2. 计算机视觉.....	6
3. 虚拟现实.....	8
4. 语音识别技术.....	13
5. 人工智能的机遇和挑战.....	14
第三节 汽车发展史及发展趋势.....	15
1. 蒸汽机的发明.....	15
2. 内燃机的发明.....	18
3. 新能源车的发明.....	19
4. 汽车的发展趋势.....	21
第四节 无人驾驶技术发展历程研究.....	24
第五节 无人驾驶汽车发展的黄金十年.....	25
1. 无人驾驶时代的开启.....	25
2. 研发历史.....	28
3. 无人驾驶发展趋势.....	29
第六节 无人驾驶综合认识.....	30
1. 无人驾驶的定义.....	30
2. 无人驾驶级别划分.....	30
3. 无人驾驶核心技术.....	33
4. 行业发展现状.....	36
第二章 无人驾驶智能车设计研究与实现.....	40
第一节 无人驾驶视觉小车概述.....	40
1. 智能小车发展现状.....	40
2. 智能小车技术应用特征.....	42
第二节 无人驾驶视觉小车的类型.....	43
1. 蓝牙控制小车.....	43
2. PYNQ-Z 智能车.....	46
第三节 无人驾驶智能小车的核心构成.....	51
1. 主控模块.....	52
2. 电机驱动模块.....	55
3. 舵机驱动模块.....	56
4. 视觉传感模块.....	57
5. 多传感器信息融合.....	64
6. 人机交互模块.....	67
第三章 无人驾驶智能车算法研究与实现.....	71
第一节 智能小车目标检测功能详解.....	71

1. 主要硬件	71
2. Ultra96 v2 开发板基础使用	72
3. 颜色识别	77
4. 物体识别	79
5. 人脸识别	80
第二节 智能小车目标跟踪算法实践	82
1. 前导车信息	82
2. 算法模型训练	83
3. 跟随车信息	86
4. 获取前导车视频流	86
5. 跟随车智能控制	87
第三节 本研究技术发展展望	89
1. 巡迹跟随技术展望	90
2. 硬件技术展望	91
3. 车路协同展望	93
第四章 无人驾驶技术科普化实现路径	94
第一节 校园科普调研	94
1. 活动目的	94
2. 实施方案	95
第二节 具体活动安排	95
1. 组织开展校园科普教育，科普宣传和科普成果展	95
2. 组织青少年科学体验活动	96
3. 组织科普知识竞赛活动	96
4. 组织智能小车的比赛活动	96
第三节 成果展示	97
参考文献	98

第一章 人工智能与无人驾驶发展与认识

第一节 人工智能的发展路线

人工智能发展至今，不同的学派组织对其给出了不同的定义，但是其中较为公认的定义为美国人工智能之父 Mc Carthy 提出的概念，他认为，所谓的人工智能是一种使机器通过计算机程序理解人类行为、智力的工程或者科学。人工智能与传统机器人不同，传统的机器人只会按照事先给定的指令行事，而人工智能除了能够听从行动外，还能够通过自主学习给予的不同指令进行先判断后执行。

当前人工智能主要包括两部分，即人工与智能。其中，人工是指人们设计的系统，而智能则赋予人工系统能够如真人般开展思考，完成人类想要完成的任务。二者都需要计算机技术进行辅助，进而实现如人类一样思考、规划、行动，既而达成既定的工作目标。为了实现人类设定的多种目标，适应社会发展的趋势，人工智能技术向多学科融合的趋势演进，包括心理学、社会学、人类学、计算机科学等多维学科。人工智能广泛应用可以改变人们的工作方式与方法，工作效率与质量不断提升，其技术也不断发展。

自 1956 年，人工智能被正式命名以来，人工智能技术的发展已有六十余年，共经历了三个发展阶段：首先，从上世纪 50 年代到上世纪 70 年代中期人工智能技术刚刚形成，该时间段为人工智能技术形成的第一阶段，在该阶段人们追寻符号主义，出现了许多以专家系统为代表的智能系统。符号主义的奠基人认为电脑不仅可以算数，还可以处理所有的符号。但由于硬件设备、算法复杂和表达能力的限制，导致人工智能技术的发展受限。其次，从上世纪 80 年代中期到本世纪初为人工智能技术发展的第二阶段，该阶段人工智能的表征形式是基于统计和认知建模的思想逐步形成，并且其表征形式成为人工智能发展的主流方向。但是由于该阶段发展还不够成熟，自我更新能力还比较弱，需要投入大量的人力物力来维持人工智能的开发进程，在此种环境下，人工智能技术的发展被迫减速。最后，从二十一世纪初到今天为人工智能技术发展的第三阶段，该阶段人类发展进入了一个新纪元，特别是数字经济时代的到来，使得人工智能技术与大数据相结合，无论是人工智能技术推向型推演还是专家系统都得到了质的飞跃，同样以深度学习为代表的机器学习方法也取得了重大进展。但遗憾的是，当时专家系统的推理体系经历了一个前所未有的新高度，以往令人困扰的算法等问题都在互联网和大数据的高速发展下得到了飞快的进步，从而使得人工智能技术进入了一个鼎盛时代。从上述人工智能的发展历程来看，人工智能的发展虽然不是一帆风顺的，但是其内容已经涵盖知识表达、机器学习、智能的推理、语音识别和自然语言的理解以及计算机的视

觉、机器人等众多方面。

第二节 人工智能算法技术

本节梳理了与本研究相关的主要技术与发展情况，包括深度学习、计算机视觉、虚拟仿真、语音技术等方面。

1. 深度学习

深度学习本质上是一种新兴的机器学习算法，其基本模型框架是基于 ANN 的，如含有多隐层的感知器。其可以通过对数据的底层特征进行学习从而得到更加抽象的隐藏特征，从而得到数据的分布式规律，进而预测或分类数据。

深度学习是一种学习数据表征的算法，它可以从无规律、抽象的观测值即输入值中学习数据的隐藏特征，比如：NN 算法通过输入的图片像素点 RGB 值可以学习到图片的内部特征，例如图片中的实体、数字等。深度学习的好处是其用高效的特征提取算法替代了原始的手工获取特征的手段。

深度学习概念由 Hinton 于 2006 年在《Science》上发表的论文《Deep Learning》提出。在本文中，他提到：在 ANN 中，感知器的隐层数量越多，对于数据隐藏特征的学习能力就越强，而且学习到的特征会更好的帮助我们理解数据，从而能够更好的对数据进行可视化或分类；由于 ANN 层数越多，参数就会以几何倍数的增加，因此 ANN 的层数会加大我们对整个网络的训练效率，由此 Hinton 提出了基于无监督学习的“逐层初始化”来有效克服该难题。在深度学习领域中，最先出现的算法是 Hinton 提出的限制玻尔兹曼机(RBM)以及基于此提出的深度置信网络(DBN)，这两种算法为解决复杂的优化难题提供了思路，为解决多层复杂网络带来了希望。之后提出的自动编码器算法也风靡一时。此外 Hinton 的得意弟子 Lecun 等人提出的卷积神经网络(CNN)真正将深度学习研究领上了高潮，其本质上是用来解决图片或视频中的实体识别等难题的，它利用图片二维或三维空间特性有效的减少了网络的训练参数。

现阶段对于 ANN 的研究大致上分为理论和应用两方面。

ANN 理论研究：1. 生物神经学比如认知神经学在人类及动物认知、推理方面的研究；2. 基于生物神经学的相关知识，利用数理研究方法、统计学习方法，探索并构建更加合理有效、性能更加优越的 ANN 模型以及相关的算法，使其在收敛性、稳定性、鲁棒性、容错性等方面有所提高。

ANN 应用研究：1. 基于 ANN 的软件模型的仿真，基于 ANN 的硬件系统的构架等；2. 目前，ANN 的主要应用研究领域包括：知识工程、模式识别、优化组合、机器人控制、信号处理、

专家系统等。随着数理统计理论与神经网络相关理论的不断发展和提出、相关关键性技术的不断创新和突破，基于 ANN 的应用必将深入到社会的方方面面。

近日关于深度学习的研究中，Hinton 与 Micro Soft 合作，尝试将 RBM 和 DBN 算法用到语音识别中，并取得了突破性的进展，其合作完成的语音识别系统将识别准确率提高了 30%。但目前为止，基于 CPU 的 DNN 并行算法研究陷入了瓶颈之中，研究机构和互联网公司比如 Google 和 Facebook 都在使用 GPU 平台提高 DNN 模型的训练速度。

在国外，IBM、Google、Facebook 等计算机巨头或互联网巨头都在全力发展深度学习或人工智能，特别是语音识别领域的 DNN 算法研究，进展喜人。在国内，百度、阿里巴巴、腾讯等互联网公司以及中科院自动化所等研究机构也紧跟世界人工智能研究的步伐，在人工智能以及深度学习领域大力投资，比如近日阿里巴巴斥巨资建设的达摩院。

经典的深度学习算法有三个：限制波尔兹曼机（RBM）、深度置信网络（DBN）和卷积神经网络（CNN）。

（1）限制波尔兹曼机（RBM）

假设存在二部图（也称为二分图），在图结构每层中每一个节点都是相互独立的，第一层是输入层，即数据可视层（ v ），第二层是隐藏层（ h ），不妨令图中所有节点的值均满足 0-1 分布，即不是 0 就是 1，全概率分布 $p(v, h)$ ，也是满足 Boltzmann 分布的，若假设均成立，则将此图结构称为限制波尔兹曼机（Restricted Boltzmann Machine）。由于该算法结构是一个二分图，因此当数据可视层 v 是已知量时，隐藏层 h 中的节点是相互独立的，因此 v 与 h （ h_i 为 h 层中的节点）之间满足条件概率分布： $p(h | v) = p(h_1 | v) \dots p(h_n | v)$ 。同理，当隐藏层 h 是已知量时，数据可视层 v 中的节点是相互独立的。上文提到全概率分布 $p(v, h)$ 是满足 Boltzmann 分布的，因此根据已知的数据层 v ，通过条件概率公式 $p(h | v)$ 就能得到隐藏层 h ，之后根据条件概率公式 $p(v | h)$ 能反推得到可视层 v ，通过不断调参后若最终得到的可视层 v_1 与已知 v 相同或误差在可以接受的范围内的话，则隐藏层 h 可看做是输入层 v 的另一种表达或者说是输入数据的隐藏特征，因此 RBM 是一种 Deep Learning 方法。

（2）深度置信网络（DBN）

深度置信网络（Deep Belief Networks）是一个概率生成模型，即该网络的输出是置信度（即概率）。传统的 DBNs 是由多个 RBM 组成，其典型结构如图 1 所示，这是由 Hinton 于 2006 年提出的。与 RBM 一样，DBNs 是由可视层与隐藏层组成的，层间存在权值连接，层中节点则相互独立。

DBNs 易于拓展，这是由其灵活性决定的。卷积 DBNs（Convolutional Deep Belief

Networks)是其中一个重要的拓展。传统的 DBNs 不会去关注图像的二维空间信息,这是由于整个网络的输入是一维向量化的像素点信息。和 DBNs 不同,CDBNs 关注了图像的二维信息,该算法充分利用了相邻像素点之间的空间关系,通过卷积 RBMs 模型可以是整个结构具有高度的平移不变性,而且能相对容易的得到高维图像。DBNs 算法中没有提到关于处理有关于时间序列的问题,但是由于 DBNs 算法的优越性,目前已经有相关的研究成果了,如堆叠时间 RBMs,后来以此为基础提出了 Dubbed Temporal Convolution Machines 算法,这些基于 DBNs 的关于时间序列的算法研究给语音识别领域指引了一个全新的研究路线。

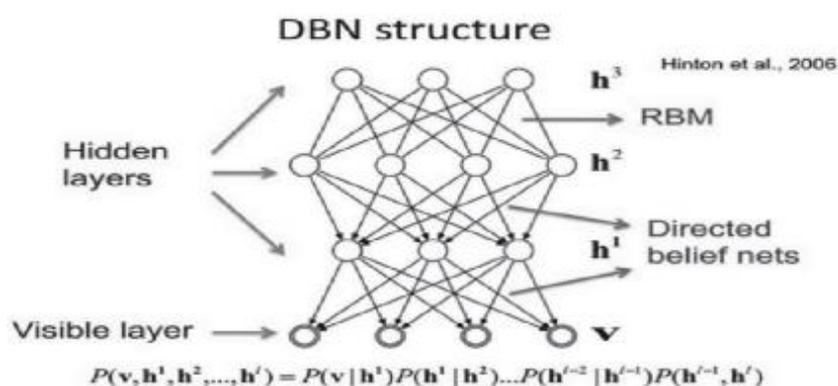


图 0-1 DBN 结构

(3) 卷积神经网络(CNN)

卷积神经网络(Convolutional Neural Networks)属于深度学习的代表算法之一,是一类包含卷积计算且具有深度结构的前馈神经网络,其具有表征学习能力,具有两大特点:局部连接和权值共享。典型的卷积神经网络由输入层、卷积层、池化层(下采样层)、全连接层和输出层组成。

CNN 之所以能够为大众所接受,是因为其算法中的局部感知和参数共享概念大大减少了整个网络体系中的参数数量,进而使得整个训练过程更加高效。CNN 本质上是一种二维图像处理算法,由于池化层的存在,使得该结构对于图像的比例缩放、平移、倾斜等变形具有高度不变性,即不管原图片如何变形,最后的输出不会变。

Lecun 等人最初提出 CNN 神经网络结构是为了将图片的处理过程尽可能的简化。在 CNN 中,图像的像素点信息作为最初的输入,而第一个隐层即卷积层的输入为局部的感知野,并且所有的感知野共享相同的参数信息,输出相应的特征信息,一般在若干个卷积层之后有一个池化层,其作用为提取卷积层输出中的最明显特征,也能进一步减少参数数量,最后的全连接层相当于是卷积核为 1 的卷积层,起作用为对特征进行分类。

2. 计算机视觉

传统的图像采集设备如摄像机，监控探头，主要采集可见光波段的信息，形成图像或者视频记录下来，其携带起来比较笨重，采集范围很有限。现如今各种移动设备和专业仪器的加入，采集的信息已经拓广至各电磁波波段，而由此也促使信息呈爆炸式增长，为计算机视觉领域算法的训练提供了大量的可用样本，大大降低了获取数据的难度和成本。

另一方面，GPU(Graphics Processing Unit, 图形处理器)的引入，为深度学习和并行计算插上了强有力的翅膀。以往的纯 CPU 计算，在面对诸如矩阵运算，像素块卷积时，只能线性的一个接一个执行加减乘除，极大地限制了吞吐速度，而 GPU 在诞生伊始，为了符合图像和视频的处理场景条件，设计上需要并行处理各个像素点或者像素块的数学计算，因此天然带有了上千上万个算术逻辑单元，对于处理互不相关独立的数学计算非常方便，也大大加速了深度学习在计算和推理过程中经常出现的矩阵运算。

由于数据和算力的充足，进入二十一世纪以后，之前几乎被人抛弃的神经网络模型被再次提及，进化为更大型更多层的深度神经网络，因深度学习的泛化能力强，需要的先验知识少，同时又能很好地利用目前大量的数据，成为了到现在为止占据主导的算法。

计算机视觉作为人类视觉感知领域的扩展，是一种利用计算机从图像或视频中获取并“感知”相关信息的技术。在图像或视频中进行目标检测是计算机视觉领域目前的研究热点，主要通过结合目标定位和识别检测两项技术在给定图像中实现目标边框的精确定位并检测该目标所属的具体类别，该技术在人脸识别、机器人视觉、智能视频监控、无人驾驶（如道路检测、交通灯检测）、遥感影像分析、医学图像检测等领域被广泛应用。

计算机视觉目前主流的任务有四类:分类、检测、识别和分割。分类，即对一幅图片进行一个整体的划分，研究者关注在一个图片中占主要部分的物体的类别。分类的范围是图片的粒度，常见的公开数据集比如 ImageNet, MNIST 都是以这样的方式进行分类，再用于后续的训练和测试。检测，则是对图像中物体进行几何定位，以包围框的形式，把它框定出来，用于后续的识别。识别则是准确地判断出这个物体是什么或者是是什么意思，最典型的比如人脸的重识别，行人的重识别等。最后是分割，其目的比检测更进一步，在像素级别对图像本身进行区分，划分出像素来自于不同的物体，以分割为基础，后续做 AR/VR 互动的时候，可以让真实世界准确的与虚拟世界进行交互，模拟现实世界的物理特性。

在深度神经网络被大范围应用之前，计算机视觉面临的最重要的门槛就是特征工程。顾名思义，需要找到合适的特征来对你的研究对象进行表征好的特征需要对研究对象有足够的了解才能够获得，比如早期的人脸识别，相关研究者通过提取出人脸上一一些关键的比例构成一个特征向量，并以此来训练一组或者多组分类器，最终可以得到一个比较理想的人

脸识别。但是在寻找合适的特征，组合合适的分类器过程当中需要大量的试错，也需要实验的人有很丰富的经验，因此这种做法很难推广到其他各个领域，每个领域都需要很多专业知识来对特征进行选取，无疑需要很高的人力成本和时间成本。

深度卷积神经网络（CNN）的引入为研究者们打开了新的大门，虽然 CNN 的概念早在上世纪八十年代就有被提及，但是浅层的 CNN 的效果并不如前面提到的特征工程+分类器的方式。直到数据和算力的具备才使得深层的 CNN 成为可能。现今，业界的主流骨干架构以 CNN 为主，算法工程师们通过对经典骨干架构改造和调优，可以快速适配业务，将模型迁移到自身的垂域上去。而开发工程师则尝试从整个模型的训练、测试和推理等各个阶段进行加速，继续降本提效。

2021 年，谷歌将之前自然语言处理领域(NLP)比较火热的 Transformer(变形模型)引入到计算机视觉领域，其核心是注意力模型。在该领域，研究者们致力于寻找词与词之间的联系，给定一组输入的词汇，可以找到与其有强关联的词汇输出，使得机器可以更好地理解人类的语义。而将这个技术引入到视觉领域之后，将一幅图像，切割为多个方块，每个方块有其自有的位置信息保留，然后一并输入到 Transformer 的架构中进行训练，在这个过程中，把这样的一个个图块，看作了一个个单词输入，而其输出亦可以是一个单词或者一组单词，不管什么样的训练任务，最终都能抽象为一些“词”的输入，得到另一些“词”的输出。因为在 NLP 领域取得的成功，以及在 CV 领域的许多任务中取得了不亚于甚至超过 CNN 框架的准确率，Transformer 目前大有取代 CNN 成为新的行业标杆的趋势，正吸引着越来越多的研究者进行探索。

3. 虚拟现实

虚拟现实技术是一种能够使人以沉浸的方式进入和体验人为创造的虚拟世界的计算机仿真技术。近年来发展迅速随着 5G 高速传输、物联网、人工智能、柔性显示和移动式高性能图形计算卡等技术的出现，为 VR 技术进入商用奠定了基础。目前，基于虚拟现实技术的应用和设备已经开始出现在教育、传媒、娱乐、医疗、遗产保护等诸多领域

虚拟现实技术是利用计算机生成一种模拟环境(如飞机驾驶舱、操作现场等)，通过多种传感设备使用户“投入”到该环境中，实现用户与该环境直接进行自然交互的技术，是一种可以创建和体验虚拟环境的计算机系统技术。虚拟现实技术有以下 4 种主要特征：

(1) 多感知性，它是指除一般计算机所具有的视觉感知外，还有听觉感知、触觉感知、运动感知，甚至还包括味觉、嗅觉、感知等。理想的虚拟现实应该具有人所具有的感知

功能。

(2) 存在感，又称沉浸感，它是指用户感到作为主角存在于模拟环境中的真实程度，即计算机技术所具有的视觉感知之外，还有听觉感知、力觉感知、触觉感知、运动感知、甚至还包括味觉感知、嗅觉感知等。理想的模拟环境应该具有人所具有的感知功能，达到使用户难以分辨真假的程度。

(3) 交互性，是指参与者对模拟环境内物体的可操作程度和从环境得到反馈的自然程度(包括实时性)。例如，他可以用手去直接抓取模拟环境中的物体，这时手有握着东西的感觉，并可以感觉物体的重量，视场中被抓住的物体也立刻随着手的移动而移动。

(4) 自主性，是指虚拟环境中物体依据各自的模型和规则按操作者的要求进行自主运动的程度。例如，当受到力的推动时，物体会向力的方向移动或翻倒，或从桌面落到地面等。

最早的 VR 技术可以追溯到 1956 年的 Sensorama，如图 1-2 所示。它集成了 3D 显示器、气味发生器、立体声音箱及振动座椅，内置了 6 部短片供人欣赏，然而巨大的体积使它无法成为商用娱乐设施。



图 0-2 Sensorama

1961 年，飞歌公司研发了一款头戴式显示器 Headsight，如图 1-3 所示。它集成了头部

追踪和监视功能，但主要用于查看隐秘信息。



图 0-3 Headsight

1966 年问世的 GAF View Master 是如今简易 VR 眼镜的原型，如图 1-4 所示。它通过内置镜片来达到 3D 视觉效果，但并未搭载任何电子虚拟成像器件或音频设备。

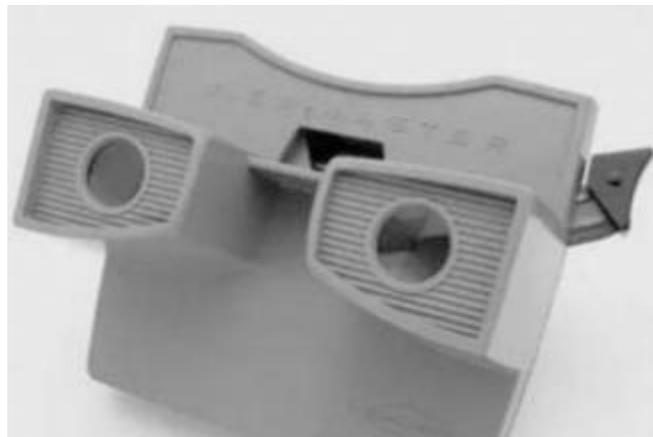


图 0-4 GAF View Master

1968 年问世的 Sword of Damocles (著名的达摩克利斯之剑) 通常被认为是虚拟现实设备的真正开端，如图 1-5 所示。它由麻省理工学院研发，为后来 VR 甚至是 AR 设备的发展，提供了原型与参考。



图 0-5 Sword of Damocles

1984 年,第一款商用 VR 设备 RB2 诞生,配备了体感追踪手套等位置传感器,设计理念已与现代的主流产品相差无几。1985 年,NASA 研发了一款 LCD 光学头戴显示器,能够在小型化轻量化的前提下提供沉浸式的体验,其设计与结构后来也被广泛推广与采用。在游戏、娱乐领域,一些著名的公司也曾尝试采用虚拟现实技术研发相关产品。1993 年,游戏厂商世嘉曾计划为游戏机开发一款头戴式虚拟现实设备,却因在内测中反应平淡而夭折。1995 年,任天堂发布了一款基于 VR 技术的游戏机 Virtual Boy,但由于只能显示红黑两色且游戏内容分辨率和刷新率低,在不到一年时间内便宣告失败。1995 年,伊利诺伊大学研发了一款称作“CAVE”的 VR 系统,通过三壁式投影空间和立体液晶快门眼镜来实现沉浸式体验。真正将商用虚拟现实技术带向复兴的产品是 2009 年问世的 Oculus Rift,2013 年推出了一款面向开发者的早期设备,价格仅为 300 美元,代表商用 VR 设备真正步入消费电子市场。2014 年,Facebook 宣布以 20 亿美元收购了 Oculus。

2016 年是 VR 设备及内容生态极具里程碑意义的一年。在 CES 2016 上,Oculus 正式发售了 Oculus Rift (如图 1-6 所示) 头戴式 VR 设备,同时登台的还有 HTC Vive 和三星的 Gear VR。Intel 和高通开始从芯片层面支持 VR。Unity、Blender、CryEngine、Source 等游戏引擎也宣布全面支持 VR,在游戏娱乐领域,EA、UBISOFT、网易、腾讯、网龙等大型游戏公司均发布了各自的代表作品。从这一年开始,越来越多资本看好 VR 内容(影视、游戏等)市场,大量投资蜂拥而至。国内新兴游戏公司、VR 工作室也陆续推出了一些高质量的 VR 作品,如《永恒战士 VR》《Aeon》等。



图 0-6 Oculus Rift

在国际上,目前 VR 技术已经逐渐走向成熟,并且向着视觉、听觉和触觉多感官沉浸式体验的方向发展。同时,相应硬件设备也在朝着微型化、移动化发展。美国纽约州立大学石溪分校联合 Nvidia 和 Adobe 公司已经开发出一种系统,可以利用人眼的扫视抑制现象和眼球追踪技术,为用户提供在大型虚拟场景中自然行走体验。据报道,一家名为 Mojo Vision 的初创企业宣布有望将其 VR 设备缩到隐形眼镜大小,并在 2020 年推出相关商用产品。在 GDC 2018, Oculus 推出的 Oculus Go 为头戴式 VR 设备提供了立体声效果,其扬声器位于头显内侧,用户无须佩戴耳塞就能以接近自然的方式体验到虚拟场景中的声音。它所使用的定向扬声器设计,使该设备的声音不会影响周围。洛桑联邦理工学院和苏黎世联邦理工学院组成的科研团队开发了名为“DextrES”的轻量级触觉反馈手套。该设备总重仅 40g,厚度仅 2mm,而附着在用户手指上的传感器和反馈装置总重更是低至 8g,能够为 VR 用户提供更接近自然的触觉反馈。

在我国,VR 产业发展近几年也处于上升趋势。根据 IDC 2019 年公布的《中国 VR/AR 市场季度跟踪报告》,2019 年第一季度我国 VR 头显设备出货量接近 27.5 万台,同比增长 15.1%,其中头显设备出货量同比增长 17.6%。在“2018 国际虚拟现实创新大会”上,专家学者齐聚青岛,探讨了 VR 产业的发展现状和未来动向。会上公布的《中国虚拟现实应用状况白皮书(2018)》对我国 VR 应用状况展开了全面的探讨和分析,涉及相关企业、单位数量 500 余家,为我国 VR 产业从萌芽向商业化、规模化转变标明了方向。《白皮书》中还提到,我国目前 VR 产业的重点企业主要分布位置在北京、上海、广州 3 个城市,同时在青岛、成都、福州等 12 个热点地区也有分布,主要涉及内容开发、终端设备、网络平台、等细分行业。需要指出的是,我国 VR 产业在发展的同时也有诸多问题,如高品质专业应用少、内容开发匮乏、设备

安装设置复杂、用户体验感不强等。

在最近的两年时间里，随着国内通讯网络的迅速发展和 5G 的出现，为 VR 产业的进一步发展及飞跃注入了一剂强心剂。5G 技术带来的高带宽和低时延等优势，将为 VR、AR 及相关音视频业务的发展提供关键支撑，云 VR、VR 实时直播开始兴起。2018 年西班牙 MWC 上华为 VR Open Lab 联合“视博云”发布了 Cloud VR，其依靠 5G 和云技术将 VR 运行能力由终端向云端进行转移，以此推动 VR 和 AR 应用在智能手机端。2019 年 1 月，中国电信在深圳完成了首次央视春晚特别节目的 5G 网络 VR 现场直播，这是央视第一次通过 5G 网络进行 VR 超高清春晚节目直播。

4. 语音识别技术

语言是人类相互交流最常用、最有效、最重要和最方便的通信形式，语音是语言的声学表现，与机器进行语音交流是人类一直以来的梦想。随着计算机技术的飞速发展，语音识别技术也取得了突破性的成就，人与机器用自然语言进行对话的梦想逐步接近实现。语音识别技术的应用范围极为广泛，不仅涉及到日常生活的方方面面，在军事领域也发挥着极其重要的作用。它是信息社会朝着智能化和自动化发展的关键技术，使人们对信息的处理和获取更加便捷，从而提高人们的工作效率。

语音识别是将人类的声音信号转化为文字或者指令的过程。语音识别以语音为研究对象，它是语音信号处理的一个重要研究方向，是模式识别的一个分支。语音识别的研究涉及微机技术、人工智能、数字信号处理、模式识别、声学、语言学和认知科学等许多学科领域，是一个多学科综合性研究领域。

根据在不同限制条件下的研究任务，产生了不同的研究领域。这些领域包括：根据对说话人说话方式的要求，可分为孤立字(词)、连接词和连续语音识别系统；根据对说话人的依赖程度，可分为特定人和非特定人语音识别系统；根据词汇量的大小，可分为小词汇量、中等词汇量、大词汇量以及无限词汇量语音识别系统。

语音识别技术起始于 20 世纪 50 年代。这一时期，语音识别的研究主要集中在对元音、辅音、数字以及孤立词的识别。

20 世纪 60 年代，语音识别研究取得实质性进展。线性预测分析和动态规划的提出较好地解决了语音信号模型的产生和语音信号不等长两个问题，并通过语音信号的线性预测编码，有效地解决了语音信号的特征提取。

20 世纪 70 年代，语音识别技术取得突破性进展。基于动态规划的动态时间规整技术(DTW)

基本成熟,特别提出了矢量量化(VQ)和隐马尔可夫模型(HMM)理论。

20世纪80年代,语音识别任务开始从孤立词、连接词的识别转向大词汇量、非特定人、连续语音的识别,识别算法也从传统的基于标准模板匹配的方法转向基于统计模型的方法。在声学模型方面,由于HMM能够很好的描述语音时变性和平稳性,开始被广泛应用于大词汇量连续语音识别(LVCSR)的声学建模;在语言模型方面,以N元语法为代表的统计语言模型开始广泛应用于语音识别系统。在这一阶段,基于HMMIVO、HMM/高斯混合模型、HMM/人工神经网络的语音建模方法开始广泛应用于LVCSR系统,语音识别技术取得新突破。

5. 人工智能的机遇和挑战

人工智能预示着新一轮生产力革命推动人类分工深化的历史趋势,我们应该认识到机遇和挑战。

人工智能带来的技术机遇主要是带来新一轮科技革命,引领二十一世纪技术的战略性突破和发展。主要挑战在于:一是中国一旦受制于基础科学和关键技术的研发,将再次面临生产力落后的危险;其次,在全球范围内,一旦机器智能在某些方面超越人类,就会带来不可预测、不可控制的风险。

技术产业方面,人工智能的机遇在于,第一,把握好机遇可以占据信息技术产业等高新科技产业的战略制高点,进而掌握产业革命的战略主动权;第二,对中国来说,由技术产业可直接发育形成产值接近半个欧洲的高科技产业,特别是超大型“商业-技术”结合型平台企业。挑战主要在于,一旦在基础设施、基础软硬件技术(如操作系统、技术平台)、材料工艺和国际合作等方面受到封锁(或与先进国家发生科技“脱勾”),就会形成来自知识与市场的发展障碍。

从宏观经济来说,人工智能的整体影响在于生产力变革带来的分工大发展。方向是从分工专业化向分工多样化深化,引发新的产业革命,进而引发制度变迁的压力。

增长方面,机会主要是可能带来增长的新动能。第一,数据资本取代物质投入将成为长期趋势。二是加快经济由速度增长向质量提升转变,以高附加值为标志的产业结构高度导向。挑战在于,农业基础薄弱、制造业服务滞后、第三产业比重明显较低的国家,将面临全球化体系中价值链高端的巨大压力。

在货币方面,人工智能长期内可能推动形成“金融-信息”双中心的“新金融秩序”(希勒观点),其中主要机遇在于,金融服务与信息服务进一步融合,推动信息对称透明机制的形成,为金融服务实体经济创造更好条件;主要挑战在于,由分布式计算、区块链机制引起

的金融创新，对央行货币主权造成潜在的挑战，一旦信息服务滞后，可能放大金融风险中的不确定性。

就业方面，人工智能的机会主要在于为打零工和在家办公创造低门槛工作条件的可能性；挑战在于，机器一旦取代人，不仅会取代人类的体力劳动，还会部分取代人类的脑力劳动。短期内，它们会对制造业就业，甚至第二、第三产业的一些复杂劳动产生影响。从长期来看，它们既不会增加就业，也不会减少就业，而是促进人类就业的多样化和灵活性。

在企业端，人工智能的机会在于，通过在计划、领导、组织、控制等各个方面的智能化，生产和消费两端进一步透明化。为了克服企业官僚主义，提供新的解决方案模式，企业卓越成为世界级企业的新标准；主要挑战是企业仅靠做大做强难以面对高度复杂和不确定的市场需求变化的挑战，需要将人工智能转化为适应低成本、高附加值差异化战略的业务能力。

此外，人工智能在机器人技术、基因技术和医疗技术中的应用会带来新的伦理问题。在开发和保护个人信息和数据资产方面，它带来了法律和制度上的挑战。

第三节 汽车发展史及发展趋势

1. 蒸汽机的发明

提到蒸汽机，历史上众所周知的“蒸汽机之父”——詹姆斯·瓦特，他发明的“瓦特蒸汽机”直接将人类推进了“第一次工业革命”时代，使人类踏入了机器时代的大门。其实在瓦特之前，蒸汽机就已经出现了。

在 1712 年，英国人托马斯·纽科门就已经发明了蒸汽机，用来驱动一台抽水机将矿井中的水抽出。这台蒸汽机在后来被称为“纽科门蒸汽机”。纽科门蒸汽机将蒸汽引入汽缸，然后向汽缸中喷水冷却，冷却后的汽缸内压下降，汽缸里的活塞在大气压力的推动下向上运动，带动水泵抽水。活塞每分钟只能运动 10 次，但这已经极大地提高了水泵抽水的效率。

1713 年，纽科门把前人试验结果进行综合整理，成功制造出第一台实用的大气活塞式蒸汽机。蒸汽通入汽缸后推动活塞上行，接着在汽缸内部喷水使它冷凝，造成汽缸内部真空，汽缸外的大气压力推动活塞向下，再通过杠杆、链条等机构带动水泵提升活塞做功。它的缺点是热效率低，燃料消耗量大，主要用于矿井排水

瓦特作为木匠出身的技工，直到 1757 年才被英国格拉斯戈大学聘为实验室技师，有了接触纽科门蒸汽机的机会。他对纽科门的蒸汽机产生了浓厚的兴趣。1763 年，他在修理蒸汽机模型时发现，纽科门蒸汽机只利用了气压差，没有利用蒸汽的张力，因此热效率低，燃料消耗量大，他决心对纽科门蒸汽机进行改进。首先，他认为将气缸里的蒸汽送到另一个容器中去冷

却,既可以获得能做功的真空,又使汽缸中的温度下降不多,可大大提高热效率。另外,为防止空气冷却汽缸,必须使用空气的张力作为动力。1769年,瓦特与博尔顿合作,发明了装有冷凝器的蒸汽机。与纽科门蒸汽机相比,热效率提高了60%,但在性能上还无法作为真正的动力机,没有引起社会的关注。这是瓦特蒸汽机的第一次技术革新。

1781年,瓦特研制出了一套被称为“太阳和行星”的齿轮联动装置,终于把活塞的往复直线运动转变为齿轮的旋转运动。同年,为了使轮轴的旋转增加惯性,从而使圆周运动更加均匀,瓦特还在轮轴上加装了一个飞轮。由于这一对传统机构的重大革新,瓦特的蒸汽机才真正成了能带动一切工作机构的动力机。瓦特随后又研究制造了蒸汽机的曲柄连杆机构、四连杆机构、配气机构、离心调速器以及压力表等。这是瓦特蒸汽机的第二次技术革新。

1782年,瓦特改进了汽缸的结构,形成双向汽缸,从而使功率增加一倍,同时,首次引入汽缸的蒸汽由低压蒸汽变为高压蒸汽。双向高压蒸汽机发明后,纽科门蒸汽机完全被瓦特蒸汽机替代。这是瓦特蒸汽机的第三次技术革新。

从此,瓦特的双作用蒸汽机广泛运用于火车、轮船等运输工具,其中也包括了蒸汽机车。1769年,法国的一名陆军技术军官尼古拉斯·古诺大尉在政府的支持下试制成功一台三轮蒸汽机车,如图1-7所示,这是真正意义上的第一辆蒸汽机车。该车长7.32m,宽2.2m,前轮直径1.28m,后轮直径1.5m。该车前面支撑着一个梨形大锅炉,后面有两个汽缸,锅炉产生的蒸汽送进汽缸,推动汽缸里面的活塞上下运动,再通过曲柄把动力传给前轮驱动车辆前进,前进时靠前轮控制方向,每前进12~15min,就要停下来加热15min,运行速度为3.5~3.9km/h。由于操纵困难,在试车途中下坡时撞到了兵工厂的石头墙上,值得纪念的世界上第一辆蒸汽机车就这样成了一堆废铜烂铁,面目全非。

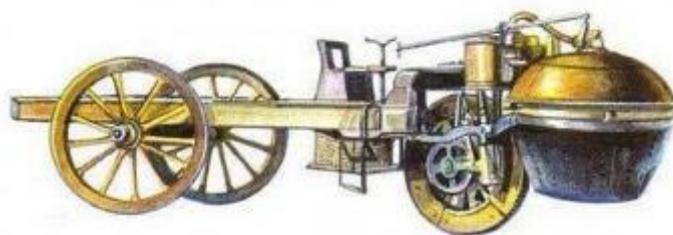


图 0-7 尼古拉斯·古诺大尉的蒸汽机车

1801年,理查德·特雷威蒂克制造了英国最早的蒸汽机车。两年后,他又研制了形状类似公共马车的蒸汽机车。这辆蒸汽机车能乘坐8个人,创造了在平路上时速为9.6km/h,坡道上时速为6.4km/h的那个时代的世界纪录。

1825年,英国公爵嘉内制造了第一辆蒸汽公共汽车,如图1-8所示。这辆车的发动机安

装于后部,后轮驱动,前轮转向。它巧妙地采用专用转向轴设计,最前面两个车轮不承重,可由驾驶人利用方向舵轻便地转动,然后通过一个车轱,引导前轴转动,可以使转向轻松自如。1831年,嘉内利用这辆车开始了世界上最早的公共汽车运营服务。

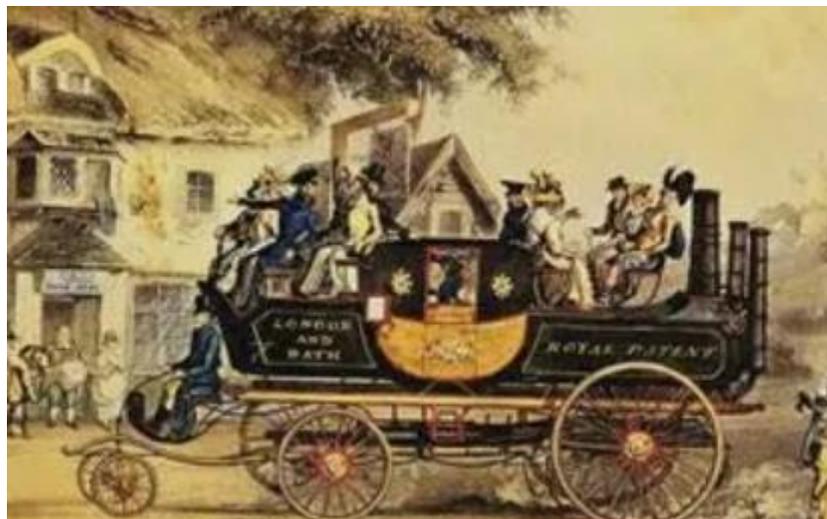


图 0-8 斯瓦底·嘉内制造的蒸汽公共汽车

1828年,法国人佩夸尔制造了一辆蒸汽机车。这辆蒸汽机车首次采用将发动机置于车的前端,而由后轴驱动的布置方案。在发动机和后轴之间用链条传动。后轴系由两根半轴构成,中间由差速齿轮连接,这就是最早发明的差速器。这种独立悬架设计,在当时有划时代的意义。佩夸尔所制造的蒸汽机车采用的链条传动、差速器、独立悬架设计等技术,对汽车的发展贡献极大,至今有些仍在汽车上广泛地应用。

1833年4月,英国人沃尔特·汉考克用其制造的“企业号”蒸汽机车,如图1-9。成立了世界上最早的公共汽车运输公司。该车可承载十几名乘客,速度可达32km/h。



图 0-9 沃尔特·汉考克制作的“企业号”蒸汽机车

19世纪中叶,在欧洲各国和美国,对蒸汽机车的研究和制造达到了高潮。各种用途的蒸汽机车相继问世,出现了一个蒸汽机车的全盛时期。但是蒸汽机车存在笨重、惯性大、制动

困难、转向不灵敏、运行时需要大量的水和煤、锅炉气压高易爆炸、车轴易断裂、易熄火、行车受天气影响大、舒适性差、污染大,启动困难(30~45min)以及热效率低(10%左右)等缺点,因此在19世纪中叶后,蒸汽机车日趋衰落。

2. 内燃机的发明

蒸汽机的工作原理是在锅炉中燃烧把水烧开,将蒸汽送进汽缸,推动活塞和曲柄连杆机构工作,所以蒸汽机也被称为外燃机。它的热量损失很大,热效率仅为10%左右,能源浪费严重。如果能让气体燃料在汽缸里直接燃烧产生的气体膨胀力推动活塞做功,就可大大提高汽缸压力和热效率,因此内燃机是将燃料在汽缸内部燃烧产生的热能直接转化为机械能的动力机械。

内燃机的问世是当时许多科学家不懈努力的结果。早在1673年,荷兰科学家惠更斯就尝试使用火药爆炸来推动活塞做功,为此他绘制了火药发动机工作原理图。这也是首次出现的火药机,但由于火药危险性大,火药机没能普及,但为后来的内燃机问世奠定了基础。1794年,英国的斯垂特首次提出燃料与空气混合形成可燃混合气的原理。1801年,法国化学家菲利普·勒本采用煤气和氢气做燃料,制造了一台活塞发动机,从此内燃机迈出开拓性的一步。1824年,法国的萨迪·卡诺提出了热机的循环理论,也就是现在著名的“卡诺循环”。

1861年,法国工程师罗彻斯提出了著名的内燃机四冲程理论,即活塞在气缸中上下往复四次,完成进气、压缩、做功和排气一个循环,可以有效提高热效率。一百多年来的往复式汽车发动机,都是采用四冲程原理。

同样是1861年,德国发明家奥托通过对前人的煤气机的研究,制造出了他的第一种二冲程煤气机。随后,奥托开始了四冲程发动机的研制,他提出了自己的内燃机四冲程理论——奥托循环。奥托循环的一个周期是由吸气、压缩、膨胀做功和排气四个活塞行程构成,这为现代内燃机的发明奠定了理论基础。

根据奥托循环理论,1876年奥托制成了第一台四冲程往复式内燃机,如图1-10所示。在这部内燃机上,奥托增加了飞轮,使运转平稳,把进气道加长,又改进了气缸盖,使混合气充分形成。这是一部非常成功的内燃机,其热效率相当于当时蒸汽机的2倍。奥托循环把进气、压缩、做功及排气融为一体,使内燃机的结构紧凑和简化,从而推动了小型内燃机的实用化。奥托创建的内燃机工作原理,一直沿用于至今的现代汽车发动机上。不过,奥托的内燃机以煤气为燃料,体积较大,质量较重,还不能用在汽车上。

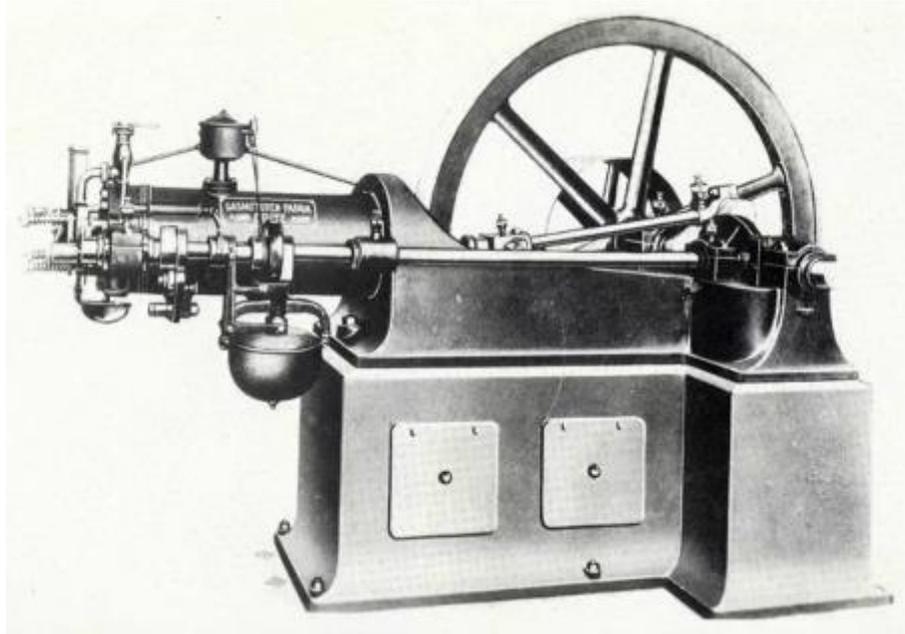


图 0-10 奥拓研制的四冲程煤气内燃机

德国人戈特利布·戴姆勒长期在奥托创建的道依茨发动机公司从事技术工作,他对汽油机更感兴趣,并认为奥托内燃机虽然质量大、转速低,但只要稍加改进就可以装在汽车上使用。1883年8月15日,戴姆勒和迈巴赫在奥托四冲程内燃机的基础上,通过改进开发出了第一台卧式汽油机。他们再接再厉,把发动机的体积尽可能缩小,终于制成了世界上第一台轻便小巧的化油器式、电点火的小型汽油机,转速达到了当时创纪录的750r/min。这是世界上第一台立式发动机,取名为“立钟”。戴姆勒把这台发动机装在一辆自行车上,1885年8月29日,戴姆勒取得了这辆“骑式双轮车”的德国专利。这实际上是世界上第一辆摩托车。所以,戴姆勒又被称为“摩托车之父”,该摩托车最快速度达到了11.2km/h。

3. 新能源车的发明

新能源汽车是指采用非常规的车用燃料作为动力来源(或使用常规的车用燃料、采用新型车载动力装置),综合车辆的动力控制和驱动方面的先进技术,形成的技术原理先进、具有新技术、新结构的汽车。新能源汽车包括纯电动汽车、增程式电动汽车、混合动力汽车、燃料电池电动汽车、氢发动机汽车等。

从1834年第一辆电动汽车诞生,到2011年新能源汽车在国际各大车展中唱起主角,新能源汽车已经走过了将近180年的历程。经过近两个世纪的曲折发展,新能源汽车无论在种类、技术、市场占有率上都得到空前的突破,作为电动汽车的细分,混合动力汽车和纯电动汽车、燃料电池汽车主导着新能源汽车的发展进程,受到了比其他类型汽车更多的重视。新能源汽车百年历程可以大体分为电动汽车诞生、电动汽车重获重视、混合动力等其它车型的

发展、以及纯电动车市场化发展四个阶段。

第一阶段：电动汽车诞生。1834年英国人 Thomas Davenport 发明的第一辆蓄电池汽车是世界上最早的电动汽车。到了20世纪初，美国汽车市场上电动汽车、内燃机汽车和蒸汽机汽车各占三分之一的份额，1910年，随着内燃机汽车开始采用大规模流水线生产，成本大幅降低，而电动汽车由于续航里程短、充电站等基础设施不完善，使得电动汽车一度退出市场。

第二阶段：电动汽车重获重视。进入20世纪60年代，美国政府由于数千万辆汽车对城市空气的严重污染，重新对电动汽车加以重视。20世纪70年代初，欧佩克石油禁运危机之后，汽油价格一路飙升，西方对电动汽车的兴趣也愈加浓厚。政府对电动汽车研发增加拨款，各地纷纷建立研发基地，导致了第二轮电动汽车研发高潮的到来。

第三阶段：混合动力等其它车型的发展。随着人们对可持续发展认识的提高，越来越多的知名公司投入到混合动力和纯电动汽车的研发上面。随着混合动力汽车车型的不断增多，产销规模的逐渐增大，许多车型表现出了良好的节能与环保性能，这标志着混合动力汽车市场已经成熟。国外汽车厂商于1965年设计出了世界上首款氢能汽车，中国也在1980年成功地造出了第一辆氢能汽车。

第四阶段：纯电动车市场化发展。1994年1月，当时世界上最好的电动车进入测试阶段。4年之后，技术上逐渐成熟的电动车进入了试运行阶段。到1996年美国已经开始制造并销售电动汽车。这是一家大型制造公司用现代化批量生产的方式推出的第一款电动汽车。2008年11月，纯电动汽车迎来新的春天。包括欧美和中国在内的主要汽车市场国家纷纷将纯电动汽车列为未来发展的主导方向。

关于新能源汽车，欧美各国在十九世纪中期就已经开始关注，并进行了相关探索，在氢燃料、生物燃料等技术方面也已经有产品推出。金融危机肆虐之下，节能环保新能源成为各个国家的战略选择。市场推广方面，新能源汽车的产销步入了快速发展的新阶段。政策规划上，近年来，美、日、德等汽车工业强国先后发布了关于推动包括混合动力汽车在内的新能源汽车产业发展的国家计划。美国奥巴马政府实施绿色新政，计划到2015年普及100万辆插电式混合动力电动汽车。日本把发展新能源汽车作为“低碳革命”的核心内容，并计划到2020年普及包括混合动力汽车在内的“下一代汽车”达到1350万。德国政府在2008年11月提出未来10年普及100万辆插电式混合动力汽车和纯电动汽车，并宣称该计划的实施，标志德国将进入新能源汽车时代。显然，作为新能源汽车技术发展最早、最先进的美日欧国家成了新能源汽车产业发展的风向标，因此通过美日欧来了解新能源汽车产业发展现状是必

然选择。

生态战略实施大背景下，我国新能源产业得到了迅速发展，并推动了新能源汽车市场及行业的兴起与发展。目前，国内外诸多汽车厂商都积极推出多款新能源电动汽车，越来越多的人也偏向选择购买此类汽车。

然而纯电动车的发展仍然差强人意。原因在于中国电动汽车技术与国外技术相比仍有差距，尤其在纯电动车电池、电机等核心技术方面还未取得突破性进展，表现在电池续航里程上与国外的差距比传统汽车要大得多。国内电动车单次充满续航里程仅有 100 公里左右，而国外纯电动车动辄续航 240 公里，高一点配置的续航能力都在 300 公里以上。所以说，中国的电动车满足上下班代步需要还行，对于欧美喜欢自驾游等长距离需要的顾客来说还有一段差距。

目前中国新能源汽车产业发展的其它挑战主要来自替代品、跨国厂商技术优势和寻租活动。在替代品的挑战方面，目前中国传统汽车产业处于快速成长期，行业利润率较高，对新能源汽车的需求并不迫切，除少数厂商外，国内汽车企业发展新能源汽车的意愿比国外同行偏低。跨国汽车厂商在新能源汽车技术上相对成熟，其中部分厂商已经有较为成熟的产品投放于中国市场，国内汽车企业在竞争中处于不利地位，加剧了跨国汽车厂商对中国汽车产业的垄断。此外，由于新能源汽车产业发展需要政策的大力扶持和大量的财政投入，国家政策和相应的优惠措施如补贴、减税等可能会引发汽车厂商的寻租活动，导致国家的优惠政策和资金投入无法有效得到实施和发挥作用。

此外，纯电动车还存在电池问题和充电便捷性问题。电动车首先要解决的就是电池的问题，电池问题在于重量和使用寿命。电动车充电便捷性也是关乎其能否量产的重要因素。普通油箱容量 50 升的轿车加满一箱油在 5~6 分钟之间。而电动车的充电时间能否控制在几分钟内是不确定的，某款电动车在专用充电站充电 10 分钟才能充 70%，在家用 220V 插座充满则需要 6~7 个小时。国内很多人的车子都停在地下停车场或者小区的停车位，很少有配套的充电插头。在加油站里设充电站是一个好的方式，但是电池充电时间要有保障，反复充电之后电池的使用寿命长短也是未知数。

4. 汽车的发展趋势

经过一百多年的发展，汽车行业已经度过了高速发展期，变得日趋成熟稳定，经过一系列破产、并购等，现如今世界汽车企业形成了大众、通用、雷诺-日产、丰田、本田等巨头集团并立的格局。而国内的汽车行业经过近几十年的高速发展后也已临近巅峰，市场接近饱

和,汽车整体销量呈现平稳中略显回落的态势。

回看近几年的汽车生产销售状况以及前沿技术研究现状,未来汽车的发展方向主要呈现为电动化与智能化。

(1) 电动化

电动汽车是指全部或部分动力由电机驱动的汽车。按技术路线,电动汽车分为传统(油电/气电)混合动力汽车(HEV)、插电式混合动力汽车(PHEV)、纯电动汽车(EV)和燃料电池汽车(FCV),后三者统称为新能源汽车。

2017年,全球电动汽车总销量约为333万辆,与上年相比增幅为26.0%。全球电动汽车保有量也快速增长,2017年新能源汽车保有量达到约426万辆,比上年增长49.2%;传统混合动力汽车保有量达到约1328万辆,比上年增长11.8%。近年来,纯电动汽车和插电式混合动力汽车占比逐年提高,燃料电池汽车崭露头角。伴随着电动汽车技术路线的变化,各类型电动汽车市场也重新洗牌。欧洲各国、美国、日本、中国在电动汽车领域各有特点。未来各主要国家和地区电动汽车推广目标均在百万辆以上,而且从传统混合动力汽车、插电式混合动力汽车向纯电动汽车、氢燃料电池汽车方向迅速转变。

汽车电动化是世界汽车工业未来转型的方向,美国(加州)、德国、法国、英国、荷兰、挪威、印度等多个国家或地区都制定了燃油汽车禁售表,大多在2025-2030年,汽车动力也将随之发生革命性变化。根据壳牌公司的研究预测,电力、氢能源将从2030年前后开始逐步“接管”汽车能源市场,2060年使用量分别占20%和60%以上,2070年乘用车市场将全面摆脱对化石燃料依赖,电动汽车将得到全面普及。

美国、日本、德国等世界主要汽车强国,都将发展电动汽车上升到国家战略的高度,设置了发展目标,并积极开发和应用动力电池为核心的汽车电动化技术,加快推进电动汽车产业化进程。从各国发布的推广目标来看,电动汽车规模都在百万辆级别。美国原计划2015年推广新能源汽车100万辆,实现程度较高,达到近50%;德国计划到2020年和2030年分别推广100万辆和600万辆;日本计划2020年电动汽车在整体乘用车的销售比例中占到50%;中国计划至2020年推广500万辆新能源汽车。

传统混合动力汽车由于在技术成熟度、价格接受度上占有一定优势,并且对充电设施依赖程度低,故率先在全球得到推广。插电式混合动力汽车可以在全电动状态下工作,也可以作为传统燃油汽车使用,它不完全依赖充电设施,更贴近用户需求,近几年进入市场后,在欧、美、日渐受追捧。纯电动汽车完全靠电力驱动,动力系统相对简单,对充电设施的依赖程度大,近几年随着充电设施网络化,充电更加便捷。燃料电池汽车的燃料为氢气,被公认为是环保性

能最好的汽车,并且燃料补给时间更短、续驶里程更长、噪声更低,最重要的一点是制取氢的原料取之不尽、用之不竭。

传统混合动力汽车和插电式混合动力汽车均具备两套动力系统,增加车重本身就是一种资源浪费,而且在使用过程中部分使用燃油,环保性能不如纯电动汽车,更不及燃料电池汽车。从全球电动汽车发展趋势来看,目前正在从传统混合动力汽车、插电式混合动力汽车向纯电动汽车发展,未来将朝着更清洁的燃料电池汽车方向发展。

(2) 智能化

近年来,随着电子信息领域新技术的发展,物联网、云计算、大数据、移动互联等新技术正在向传统行业渗透。在汽车行业,与此相关的智能汽车、车路协同、出行智能化、便捷服务、车联网等,都已成为当前的技术热点,并且正在引起行业的巨大变革。以传统汽车技术作为基础平台,将汽车电子技术、新一代信息技术和智能交通技术融合而成的智能汽车,正在成为推动现代交通运输发展的主要动力之一。

汽车作为重要的运载工具,通过车载的传感器、红外设备、可视设备、控制器、执行器等电子设备,形成一种可以在任意地点,任意时刻,能够接人任意信息的模式,为汽车提供智能环境的支持,达到提高车辆安全性的目的。安全辅助驾驶系统、车载信息服务系统,这两个系统目前已经成为汽车智能化的亮点和卖点。另外,随着专用短程通信技术、传感器技术、车辆控制技术越来越成熟,无人驾驶和无人驾驶技术从实验室走向实际应用的步伐正在加快。特斯拉、谷歌、百度等公司相继进行了无人驾驶技术相关的测试,而奔驰、宝马、奥迪、本田等厂商,都已经拥有了比较成熟的无人驾驶技术。在我国,国防科技大学和解放军军事交通学院分别在从长沙到武汉、从北京到天津的高速路上成功地完成了无人车的试验。

智能交通是我国交通运输领域发展的前沿方向之一,智能汽车的发展带动了智能交通产业的形成,正在推动交通运输产业的革命。因此,我国政府对智能汽车的关注度在不断地提升。“十二五”期间,国家 863 计划就部署了对智能车路协同的关键技术的研发,并取得了初步的成果。基于车路交互技术的车路合作系统,在实际道路上进行了应用试验。

具有自主知识产权的合作式智能运输系统、专用短程通信等一批国家标准,也在 2014 年正式发布。2015 年,工信部发布的《中国制造 2025》明确提出,到 2025 年,我国将掌握无人驾驶的总体技术以及各项关键技术,要建立起比较完善的智能网联汽车的自主研发体系,生产配套体系以及产业群,要基本完成汽车产业的转型升级。所以在政策和市场的共同作用下,我国的智能汽车技术发展迅猛,智能汽车领域相关系统以及应用软件的开发已经初步成形。

智能汽车系统的开发和应用,将为新的智能交通技术率先提供应用的场景,其市场空间

非常巨大。业内的整车厂、供应商、中大型技术公司和初创公司纷纷进入，跨界合作，跨行业融合，协同创新，创造实际的价值，发掘新的商业机会。智能汽车的发展，必将为公众提供便捷、高效、绿色、安全的出行环境，创造更加美好的生活。

第四节 无人驾驶技术发展历程研究

智能车和无人驾驶是智能体技术在交通领域的应用。智能体是指具备人类智慧的智能机器，它可以感知环境、理解语言、学习知识、做出决策和执行动作。在智能车和无人驾驶领域，智能体主要包括车辆、传感器、处理器、通信系统和人机界面等部分。

在硬件方面，智能车和无人驾驶需要高精度传感器和高性能处理器。传感器可以感知车辆周围的环境，包括路面、交通信号、车辆、行人等。传感器需要具备高精度、高分辨率和多模态等特点，例如激光雷达、摄像头、毫米波雷达、超声波传感器等。处理器是智能车和无人驾驶的大脑，负责对传感器采集到的数据进行处理和分析，并做出相应的决策和控制。处理器需要具备高性能、高效能、低功耗和可靠性等特点，例如 GPU、FPGA、ASIC 等。

在通信方面，智能车和无人驾驶需要与其他车辆、基础设施和云端进行通信。通信系统需要具备低时延、高带宽、高可靠性和安全性等特点，例如 5G 通信、车联网通信、车辆对车辆通信等。

在算力方面，智能车和无人驾驶需要强大的人工智能算法支持。无人驾驶算法需要具备高精度、高实时性、高可靠性和高效能等特点，例如深度学习、强化学习、目标检测、目标跟踪、路径规划、决策制定等算法。

无人驾驶是一种革命性的交通工具驾驶模式，其主要使用人工智能和机器学习等技术实现车辆自主行驶。传感器、数据通信和算法优化等技术支持下，无人驾驶车辆可以感知周围的环境，理解和规划行驶路径，并执行驾驶操作。

在无人驾驶技术中，传感器是非常重要的部分，因为它可以让车辆感知到周围环境的情况。常用的传感器包括激光雷达、摄像头、毫米波雷达、超声波传感器等。通过这些传感器收集到的数据，车辆可以获得关于周围环境的信息，包括路面状况、交通状况、障碍物和其他车辆的位置等。

在获得了周围环境的信息之后，无人驾驶车辆需要对这些信息进行处理和分析，以理解环境并制定相应的驾驶计划。这一过程需要依赖强大的计算和算法优化能力，例如深度学习、机器视觉和自然语言处理等。无人驾驶车辆可以通过机器学习等技术从以往的驾驶经验中学习，逐步提高自主决策的准确性和效率性。

当车辆制定好驾驶计划后，它需要将计划转化为具体的驾驶操作，例如加速、减速、转弯、换道等。这一过程需要依赖车辆的执行系统，包括电动机、转向系统、制动系统等。执行系统需要保证驾驶操作的安全性和精准性。

总体来说，无人驾驶技术可以带来许多优点，例如减少人为操作失误的风险，提高交通安全性和行驶效率，以及缓解交通拥堵等。无人驾驶技术也有一些挑战，例如确保系统的安全性和可靠性，以及保障驾驶员和乘客的隐私和安全等。不过，随着技术的不断发展和进步，无人驾驶车辆将会越来越普及，并逐渐成为未来出行的主要方式之一。

第五节 无人驾驶汽车发展的黄金十年

1. 无人驾驶时代的开启

比赛是激发技术研究热情、推动技术发展的好办法。国内外都举办过无人驾驶汽车相关比赛，其中最有代表性的当属美国 DARPA 无人驾驶车辆挑战赛和中国智能车未来挑战赛。这些比赛的共同点是：车辆在自主行驶时，不允许任何人员乘坐在车内。从一定意义上说，它们实现了真正的无人驾驶，是无人驾驶迅速发展的巨大推力。下面简要介绍美国 DARPA 比赛和中国智能车未来挑战赛的发展历程

(1) 美国 DARPA 挑战赛

2004~2007 年，美国共举办了 3 届 DARPA 无人驾驶挑战赛。DARPA 是美国国防部先进研究项目局(Defense Advanced Research Projects Agency)机构名称的缩写，这项赛事初始目的是为了促进在极限环境下无人驾驶车辆技术的发展。参赛队伍汇聚高校、企业和其他组织的研究人员，涉及技术涵盖人工智能、计算机技术、汽车设计等方面。每一届比赛的举办对无人驾驶车辆技术的发展都起到了极大的推动作用。

1) 2004 年 DARPA 挑战赛

第 1 届 DARPA 无人驾驶车辆挑战赛于 2004 年 3 月在美国莫哈韦沙漠举行。比赛要求参赛车队必须是无人驾驶的自主地面车辆，不允许远程遥控，并对每辆参赛车进行实车跟踪。

第 1 届赛事共有 21 支参赛车队，首先在加利福尼亚的高速公路上进行了一英里(1 英里 \approx 1609.344 米)长的路程自主导航与障碍测试的资格赛。有 15 支车队进入了决赛，但最后没有一支车队完成整场比赛。所有车队中，行驶最远的是卡内基·梅隆大学的 Sandstorm，共完成了 11.78km 的路程。

第 1 届比赛结果显示，比赛中一些无人驾驶车辆能够准确进行 GPS 导航，但未能成功感知前方障碍物；而一些车辆能很好地感知障碍物，但在 GPS 导航方面有较多困难。它们或在

行驶途中受到自身干扰,或检测到虚假障碍物。第1届参赛车辆配备的感知系统都庞大而且昂贵,整车系统不够稳定;但这次比赛是首次实现车辆在无人状态下的避障驾驶,激发了人们对于无人驾驶汽车以及无人驾驶技术的兴趣,提高了无人驾驶领域的创新意识,具有里程碑的意义。

2) 2005年 DARPA 挑战赛

第2届 DARPA 挑战赛共有195支队伍申报。其中43支车队通过审核进入了资格赛。资格赛按所用时间、通过项目数、绕障碍物表现、以及比赛完成程度4个方面进行排名上,23支队伍进入了决赛。在决赛中,有5支队伍通过了全部考核项目。

组委会在比赛前2个小时发放路网文件,其中包括平均每间隔72米一个的GPS点。根据路况复杂程度会调整GPS点的密集程度。第2届 DARPA 挑战赛的越野环境道路比较恶劣,其中包含3条狭窄隧道,100多个急转弯,还有很多陡坡、山路等复杂的路况。

第2届参赛车辆依然装备了大量的传感器,但已经有车队采用线控技术来控制参赛车辆。相对于第1届赛车来说,这是一个较大的提高。另外,参赛车辆的功能得到了完善,并在稳定性上也有了相对的提高。比赛中比较有代表性的队伍是来自斯坦福大学的Stanley以及来自卡内基·梅隆大学的Sandstorm和Highlander。图1-11所示为斯坦福大学所制的2005年的冠军车辆。



图 0-11 2005年的冠军车辆——斯坦福大学的 Stanley

第2届 DARPA 挑战赛是无人驾驶汽车雏形基本形成、无人驾驶汽车功能基本完成的标志。虽然车辆所用的传感器数量比较多,价格也都比较昂贵,但这也是研究无人驾驶的必经阶段,从功能实现到降低成本需要一个过程。5辆无人驾驶汽车能够完成比赛任务,证明了无人驾驶成为现实的可行性。

3) 2007 年 DARPA 挑战赛

2007 年 11 月, DARPA 城市挑战赛在加利福尼亚州一个废弃的空军基地举行。资格赛分为 3 个独立的测试区域:测试 A 区域要求车辆能够安全地并入复杂的双向交通道路,测试 B 区域要求车辆通过长为 2.8 英里的蜿蜒道路,而测试 C 区域要求车辆在一系列十字路口地区进行交互协作行驶。最终有 11 支参赛队伍进入总决赛。决赛任务是:参赛车辆在 6 小时内完成 96 公里的市区城市道路比赛,并要求参赛车辆在与其他车辆相互协调、避障和车辆交汇的同时遵守所有交通规则。在决赛开始之前,这 11 支队伍都获得了路网文件,但直到比赛开始前 5 分钟才收到任务文件。通过这种方法,迫使车队在没有先验知识的情况下,创建一个真正的自动驾驶测试。同时,为了增加道路车辆的密集度,包括有人驾驶和无人驾驶车辆在内,总共有超过 50 辆汽车行驶在比赛道路中。最终共有 6 支队伍完成了比赛。

与以往比赛相比,这届比赛的提升点在于无人驾驶汽车在检测和避开其他车辆的同时,需要遵守所有交通规则。这对于车辆软件来说是一个特殊挑战,车辆必须根据其他车辆的行动实时做出“智能”决定。

(2) 中国智能车未来挑战赛

为研发具有自然环境感知与智能行为决策能力的无人驾驶车辆验证平台,国家自然科学基金委员会启动了“视听觉信息的认知计算”重大研究计划,并决定从 2009 年起,每年举办一届“中国智能车未来挑战赛”作为其研究计划的重要组成部分,旨在推动创新、研发无人驾驶汽车,并通过真实道路环境下的自主行驶来检验研究成果,以促进研发交流及产业化应用。我国无人驾驶技术与国外研发的无人驾驶汽车的主要不同点在于:国外无人驾驶汽车主要依赖 GNSS 信息和电子地图,而中国无人驾驶则更注重展示车辆感知自然环境并自动处理视听觉信息的能力和效率。

第 1 届“中国智能车未来挑战赛”于 2009 年 6 月在西安举行。这次比赛的参赛队伍包括湖南大学、北京理工大学等。比赛要求无人驾驶车辆从起点无碰撞地自主行驶到终点。比赛中设有障碍物,考察无人驾驶车辆在直道行驶时的避障能力;设有交通信号灯,考察无人驾驶车辆识别信号灯的能力,以及红灯停、绿灯行的决策与控制能力。此外,还考察无人驾驶车辆执行 U 型转弯的能力。

第 1 届“中国智能车未来挑战赛”在中国无人驾驶车辆发展史上具有里程碑式的意义。它是中国首次举办的第三方无人驾驶车辆测试赛,打破过去自行研发、自行测试的无人驾驶车辆研究与开发模式,推动中国的无人驾驶车辆“驶出实验室,驶向实际环境”。

中国智能车未来挑战赛到 2018 年已经举办十届,参赛队伍由少到多,车上配置的传感器

由多到少,无人驾驶汽车的速度不断提升,功能不断强化,并从试验场地走向了真实道路。从单纯的实验室研究到校企合作,无人驾驶汽车技术取得了长足的发展。虽然制约无人驾驶汽车发展的因素依然存在,但是无人驾驶汽车已经得到了越来越多人的认可。无人驾驶的发展已经被各大汽车企业得到了研发日程上。

2. 研发历史

1925年8月,世界首辆无人驾驶汽车出现在纽约街头。与现在的探测设备感应+电脑自动控制决策不同,当时的无人驾驶汽车并没有使驾驶员脱离束缚,因为他们采用的是无线电操纵,模式有点像现在的遥控玩具车。美国陆军电子工程师 Francis P. Houdina 是这项技术的主导者,他坐在后面的一辆车里,通过发射无线电波对前面一辆汽车进行操控,这大概是无人驾驶的最初模样。

之后的很多年里,无人驾驶被摆上各种车展,以概念车示人。比如通用汽车在1956年推出的 Firebird II,就是世界上第一辆安装自动导航系统的概念车,神似火箭头的造型很容易让人联想到已经实现无人驾驶的飞机。

50年代和60年代,通用汽车公司还陆续推出了几款试验车——Firebirds 系列,它的广告是这样的:电子导航系统可以在驾驶员休息的时候让汽车飞速通过自动高速公路。

1977年,日本的筑波工程研究实验室开发出了第一个基于摄像头来检测导航信息的无人驾驶汽车。这辆车内配备了两个摄像头,并用模拟计算机技术进行信号处理。借助高架轨道的辅助,车速能达到30km/h。

大概在2009年以后,无人驾驶对突破车速上限就不过于执着了。这是因为当年奥迪无人驾驶汽车“Shelley”实现了210km/h的无人驾驶车速,还是在美国犹他州的邦纳维尔盐湖上。



图 0-12 奥迪无人驾驶汽车“Shelley”

现在看来，如果条件允许或者道路环境相对单一，达到很高的车速并不非常困难。比如通用已经量产的 SAE L2 高速公路单车道无人驾驶系统 Super Cruise，最高车速可达 136km/h。

现阶段看，无人驾驶的研发已经到了拼刺刀的阶段。早在去年就有数据显示，全球厂商已向无人驾驶投入超过 800 亿美元。由于这一领域的数据统计存在困难，实际的投资额还可能远超过这一数字。更有趣的一组数据是，据美国知名艾睿铂研究称，这笔巨额投资中有接近 610 亿美元是在近 8 年内注入的。

3. 无人驾驶发展趋势

未来几年，智能驾驶下半场的竞争将进入加速期，高阶智能驾驶产品商业应用将迎来大规模落地。无人驾驶行业发展有十大趋势。

趋势一：无人驾驶全面进入 3.0 时代。从全球来看，以数据驱动为标志，特斯拉领跑全球率先进入无人驾驶 3.0 时代。在中国，以毫末智行等渐进式无人驾驶企业为代表，正在通过规模量产和高阶辅助驾驶场景落地实现数据闭环，推动无人驾驶技术快速走向成熟。

趋势二：高级别智能驾驶将成为中端价位车型标配。随着无人驾驶 AI 大模型在云端的深入应用，行泊一体的无人驾驶技术持续迭代升级且效率也在快速提升，车端智能驾驶系统的综合成本将大幅度实质性降低，以重感知技术为主，主要依托视觉方案的智驾系统，将可以在中低算力的车端平台上部署，这将使得高级别智能驾驶系统有可能成为中端价位车型的标配。

趋势三：全新一代芯片、传感器进入市场，无人驾驶生态呈现出更丰富的多样性。随着我国智能汽车渗透率的快速提升，正带动车端芯片、传感器数量的强劲增长。2023 年，国内外新一代的 AI 芯片以及性能更好的 4D 毫米波雷达、补盲激光雷达将大量进入市场，使得无人驾驶的生态呈现出更丰富的多样性。

趋势四：大模型在数据合成、知识提取等方面的能力将助力无人驾驶迭代速度实现量级提升。过去一年，国内越来越多的无人驾驶公司，正在将 Transformer 大模型应用到无人驾驶算法当中，毫末则是最早投入研究和应用的公司之一。随着大模型的引入，使得无人驾驶在数据合成、知识提取等方面的能力有大幅提升，而相应开发成本则在大幅降低，无人驾驶技术的迭代速度正实现量级提升。

趋势五：智能驾驶系统比拼将由功能竞争转变为通勤效率竞争。基于真实用户数据驱动，智能驾驶系统的迭代更加精准，同时迭代速度也在快速提升，由此，高阶智能驾驶能力的比拼，将由功能完备度的竞争转变为通勤效率提升的竞争，智能驾驶的高效体验将提上日程。

趋势六：超算中心会成为无人驾驶企业的入门配置。随着无人驾驶企业向 3.0 时代迈进，“大模型+大数据”的数据驱动模式成为无人驾驶技术进化的关键，而驱动大模型和海量数据训练的超算中心，将成为无人驾驶企业的入门配置。

趋势七：城市导航辅助驾驶进入重感知阶段，大规模量产交付大幕拉开。2022 年乘用车导航辅助驾驶开始进入城市场景，未来，城市导航辅助驾驶就将开启量产落地，以重感知路线为主的城市 NOH 导航辅助驾驶系统，仅依靠普通导航地图的能力，可以更好实现覆盖更多的城市，并将开启大规模量产交付。

趋势八：智能驾驶的用户体验将从尝鲜转变为用户依赖。2022 年，搭载高速导航辅助驾驶系统的智能汽车大量进入市场，随着智能驾驶系统能力不断提升，用户使用时长和粘性也在不断增加，智能驾驶系统的核心价值将会逐步从体验尝鲜转变为功能依赖，开启 NOH 成为用户在高速出行的优先选择。

趋势九：末端物流自动配送车整体成本降至 10 万元以内，将进一步改善生产关系。在末端物流自动配送领域，一直面临着规模化商业落地的难题，未来末端物流自动配送车整体成本将降至 10 万元以内，以更加合理成本打通商业闭环，将会进一步改善和升级末端物流配送领域的生产关系。

趋势十：AI 无人驾驶领域激烈的人才竞争将会持续发展。科技领域众多公司在 2022 年出现大规模人员调整，但是在无人驾驶领域则仍保持着对于 AI 人才，特别是高端 AI 人才的激烈争抢。未来几年，汽车智能化仍将是技术重点投入的主战场，对于 AI 无人驾驶人才的争夺也依然激烈。

第六节 无人驾驶综合认识

1. 无人驾驶的定义

无人驾驶汽车作为一个复杂的软硬件结合系统，其安全、可靠地运行需要车载硬件、传感器集成、感知、预测以及规划控制等多个模块的协同配合工作。感知预测和规划控制的紧密配合非常重要。这里的规划与控制在广义上可以划分成无人驾驶汽车路由寻径、行为决策、运动规划, 以及控制等几个部分。

2. 无人驾驶级别划分

2013 年，美国交通部下辖的美国国家公路交通安全管理局，率先发布了无人驾驶汽车的分级标准，其对自动化的描述共有 4 个级别。

(1) 具有特定功能的无人驾驶:该层次汽车具有一个或多个特殊自动控制功能,例如电子稳定性控制(ESC)、自动紧急制动(AEB)等,车辆通过控制制动帮助驾驶员重新掌控车辆或是更快速地停车。

(2) 具有复合功能的无人驾驶:该层次汽车具有将至少两个原始控制功能融合在一起实现的系统(如自适应巡航控制与车道保持融合一体),完全不需要驾驶员对这些功能进行控制,但驾驶员需要一直对系统进行监视并准备在紧急情况时接管系统。

(3) 具有限制条件的无人驾驶:该层次汽车能够在某个特定的驾驶交通环境下让驾驶员完全不用控制汽车,而且可以自动检测环境的变化以判断是否返回驾驶员驾驶模式,驾驶员无须一直对系统进行监视,可称之为“半无人驾驶”。目前,谷歌无人驾驶汽车基本处于这个层次。

(4) 全工况无人驾驶:该层次系统全自动控制车辆,全程检测交通环境,能够实现所有的驾驶目标,乘员只需提供目的地或者输入导航信息,在任何时候都不需要乘员对车辆进行操控,可称之为“全无人驾驶”或者“无人驾驶”。只要输入出发地和目的地,其后责任完全交给车辆端。

一年后,也就是 2014 年,SAE(国际自动机工程师学会)也制定了一套无人驾驶汽车分级标准 SAEJ3016(标准道路机动车驾驶自动化系统分类与定义),其对自动化的描述分为 5 个等级。

(1) 驾驶支援:通过驾驶环境对方向盘和加减速中的一项操作提供驾驶支持,其他的驾驶动作都由人类驾驶员进行操作。

(2) 部分自动化:通过驾驶环境对方向盘和加减速中的多项操作提供驾驶支持,其他的驾驶动作都由人类驾驶员进行操作。

(3) 有条件自动化:由无人驾驶系统完成所有的驾驶操作。根据系统要求,人类驾驶者提供适当的应答。

(4) 高度自动化:由无人驾驶系统完成所有的驾驶操作。根据系统要求,人类驾驶者不一定需要对所有的系统请求做出应答,车辆需行驶在限定道路和环境条件下

(5) 完全自动化:在所有人类驾驶者可以应付的道路和环境条件下,均可以由无人驾驶系统自主完成所有的驾驶操作。

由于无人驾驶定义和分级标准的不确定,部分汽车制造商在无人驾驶技术的宣传上投机取巧。类似的行为给无人驾驶的发展带来了不利的影响,但作为未来交通的趋势,无人驾驶汽车有减少因为交通事故而造成人类伤亡的巨大潜力。美国交通部在 2016 年 9 月 20 号发布

了针对无人驾驶汽车的首项联邦指导方针，宣布将采用在世界范围应用更加广泛的 SAE 分级标准。

美国交通部之所以选择 SAE 的分级标准,主要是考虑 SAE 对分级的说明更加详细、描述更为严谨,且更好地预见到了无人驾驶汽车的发展趋势。虽然如此,SAE 标准也有自己的不足之处。

2018 年最新修订版 SAE J3016 进一步细化了每个分级的描述,并强调了防撞功能。在这个 SAE 最新版本的标准中,引入了“动态驾驶任务”这个概念,并依据动态驾驶任务的执行者和具体内容来定义无人驾驶所处的级别,并认为驾驶中有 3 个主要的参与者:用户、驾驶自动化系统以及其他车辆系统和组件。每个参与者的定义并不基于实际情况,也就是说,即使司机在辅助驾驶期间走神,他仍然是属于用户的级别;系统在条件无人驾驶期间出现故障不能正常行驶,它也仍然属于 L3 驾驶自动化系统。

SAE 官方表示:SAE 对支持部分或全部动态驾驶任务的机动车驾驶自动化系统进行了多次描述,为汽车行业提供了一个分类标准,其中包含 6 个级别的驾驶自动化的详细定义,从无驱动自动化(L0 级)到全驱动自动化(L5 级)及其在道路上的操作。

SAEInternational 关于自动化层级的定义已经成为自动化/无人驾驶车辆的全球行业参照标准,用以评定无人驾驶技术级别。

L0: 驾驶员完全掌控车辆。

L1: 自动系统有时能够辅助驾驶员完成某些驾驶任务。

L2: 自动系统能够完成某些驾驶任务,但驾驶员需要监控驾驶环境,完成剩余部分,同时保证出现问题时,随时进行接管。在这个层级,自动系统的错误感知和判断由驾驶员随时纠正,大多数车企都能提供这个级别的自动系统,L2 可以通过速度和环境分割成不同的使用场景,如环路低速堵车、高速路上的快速行车和驾驶员在车内的自动泊车。

L3: 自动系统既能完成某些驾驶任务,也能在某些情况下监控驾驶环境,但驾驶员必须准备好重新取得驾驶控制权(自动系统发出请求时)。所以在该层级下,驾驶者仍无法进行睡觉或者深度的休息。在 L2 完成以后,车企的研究领域从这里开始延伸。

L4: 自动系统在某些环境和特定条件下,能够完成驾驶任务并监控驾驶环境。在这个阶段,在无人驾驶可以运行的范围内,驾驶相关的所有任务和驾乘人已经没关系了,感知外界的责任全在无人驾驶系统。

L5: 自动系统在所有条件下都能完成所有驾驶任务。

而对于常说的无人驾驶系统(ADS),通常是在 L3-L5 层级;随着层级的提高,对系统的要

求也随之提高。由于目前无人驾驶的分级,特别是 L3 和 L4 处在还没有大规模在实际生活中应用的阶段,人们对待这个需求就存在一些认知上的争议。在这一标准中,SAE 给出一些定义和分析,用于 L3-L5 层级的描述。

在《中国制造 2025》中,我国将智能网联汽车分为 DA、PA、HA、FA 共计 4 个级别。完全手动驾驶没有计入其中。总体看来,分级如下:

1) 手动驾驶 (MD)

顾名思义就是最普通的手动驾驶汽车。

2) 驾驶辅助 (DA)

一项或者多项局部自动功能,例如 ESC、ACCAEB 等,并能提供基于网联的智能信息提示。

3) 半自动化 (PA)

在驾驶者短时间转移注意力仍可保持控制,失去控制十秒以上予以提醒,并能提供基于网联的智能引导信息。

4) 高度自动化 (HA)

在高速公路和市区内部均可无人驾驶,偶尔需要驾驶员接管,但是有充分的移交时间,并能提供基于网联的智能控制信息。

5) 完全自动化 (FA)

驾驶权完全交给车辆,这种自动化水平允许驾驶员从事计算机工作,休息和睡眠等其他活动。

3. 无人驾驶核心技术

无人驾驶是一个复杂的软硬件结合的系统,主要分为感知定位、决策规划、控制执行三大技术模块。感知模块主要是通过摄像头、雷达等高精度传感器,为无人驾驶提供环境信息;决策模块是依据感知系统提供的车辆定位和周边环境数据,在平台中根据适当的模型进行路径规划等决策;控制模块是以自适应控制和协同控制方式,驱动车辆执行相应命令动作。下图为典型无人驾驶系统架构框图。

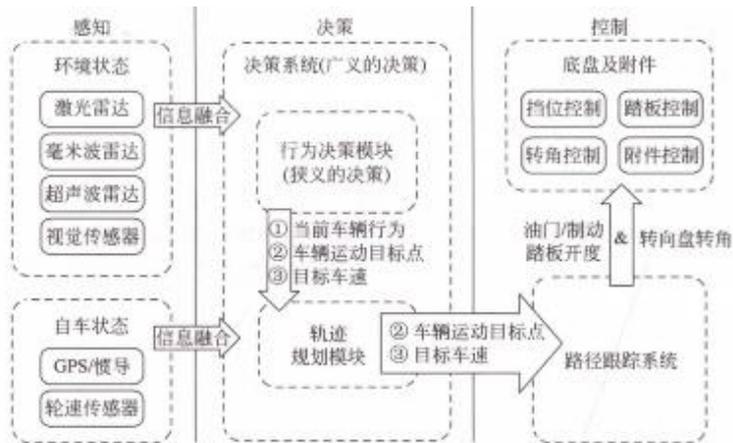


图 0-13 典型无人驾驶系统架构

(1) 感知定位

环境感知与识别能力是无人驾驶车辆安全、自主、可靠行驶的前提和基础。无人驾驶车辆的环境感知系统利用各种主动、被动传感器获取周围环境的信息，对传感器数据进行处理、融合、理解，实现无人车辆对行驶环境中的障碍物、车道线以及红绿灯等的检测，给车辆的自主导航和路径规划提供依据。

下图为博世公司的无人驾驶传感器布置图。

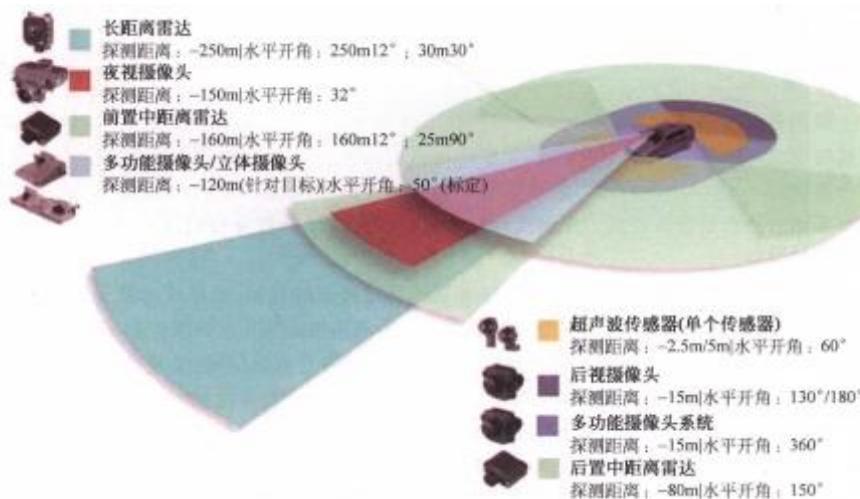


图 0-14 博世公司的无人驾驶传感器布置

环境感知与识别系统一般包括传感器、传感器数据处理以及多传感器数据融合三个子系统。传感器系统通常采用摄像机、激光雷达、超声传感器、毫米波雷达、全球导航卫星系统、里程计以及磁罗盘等多种车载传感器来感知环境。视觉传感器包括单目和多目彩色摄像机，距离探测设备包括声响、毫米波雷达和激光雷达等。其中，激光雷达和毫米波雷达能够测得目标的相对速度，获得三维点云数据；里程计和惯性传感器能够估计车辆的运动。

(2) 决策规划

无人驾驶作为一个复杂的软硬件综合系统,其安全可靠运行需要车载硬件、传感器集成、感知、决策以及控制等多个模块的协同配合工作。环境感知和决策规划的紧密配合非常重要。这里的决策规划在广义上可以划分为无人车路由寻径、行为决策、动作规划等几个部分。

路由寻径的作用在简单意义上可以理解为,实现无人车软件系统内部的导航功能,即在宏观层面上指导无人车软件系统的规划控制模块按照什么样的道路行驶,从而实现从起始地到目的地。值得注意的是,路由寻径虽然在一定程度上类似传统的导航,但其细节上紧密依赖专门为无人车导航绘制的高精地图,和传统的导航有本质区别。

路由寻径模块产生的路径信息,直接被下游的行为决策模块所使用。行为决策接受路由寻径的结果,同时也接收感知预测和地图信息。综合这些输入信息,行为决策模块在宏观上决定了无人车如何行驶。这些行为层面的决策包括在道路上的正常跟车,在遇到交通灯和行人时的等待避让,以及在路口和其他车辆的交互通过等。

无人车的动作规划问题是整个机器人动作规划领域里相对简单的一个问题,因为车辆的轨迹附于一个二维平面。车辆的方向盘、油门的操控下,其行驶轨迹的物理模型相对于普通的机器人姿态的3D动作轨迹要容易处理。车辆的实际运行轨迹总是呈现出平滑的类似螺旋线的曲线簇的属性,因此轨迹规划这一层面需要解决的问题往往可以非常好地抽象成一个二维平面上的时空曲线优化问题。

(3) 控制执行

架构最下层的模块是控制执行模块。这是一个直接和无人车底层控制接口 CAN BUS 对接的模块,其核心任务是接收上层动作规划模块的输出轨迹点,通过一系列结合车身属性和外界物理因素的动力学计算,转换成对车辆油门、刹车的控制,以及方向盘信号,尽可能地控制车辆去执行这些轨迹点。控制执行模块主要涉及对车辆自身控制,以及和外界物理环境交互的建模。

对于无人驾驶中的控制执行,线控技术显然要比传统的机械、液压技术更受青睐,目前较为成熟的无人驾驶车辆基本都是在线控应用高度成熟的车辆平台升级改造出来的。从概念上说,汽车线控技术是将驾驶员的操纵动作经过传感器变成电信号,通过电缆直接传输到执行机构的一种控制系统。汽车的线控系统主要包含线控转向系统、线控油门系统、线控制动系统、线控悬架系统、线控换挡系统以及线控增压系统等。通过分布在汽车各处的传感器实时获取驾驶员的操作意图和汽车行驶过程中的各种参数信息,传递给控制器;控制器对这些信息进行分析和处理,得到合适的控制参数并传递给各个执行机构,从而实现对汽车的控制,提高车辆的转向性、动力性、制动性和平顺性。

但目前,关于无人驾驶执行控制技术的公开资料较少,主要原因是这部分掌握在主流供应商和主机厂手中的技术都被垄断。目前汽车配件供应商提供的执行控制产品都会做成一个黑盒子,控制协议基本付费公开。控制接口的开放程度直接影响汽车操控的可调程度。

4. 行业发展现状

无人驾驶作为目前的热门技术,直接催生了一个行业。各国各企业都在大力发展无人驾驶技术,主要有两条技术路线:一条是以谷歌、百度等互联网软件企业为主要代表,依靠高精度地图开发软件算法,搭建无人驾驶平台,以开源或其他方式向合作整车厂提供完整技术链,目标直指 L4 甚至 L5 的技术路线;另一条是以特斯拉、奥迪等整车厂为主要代表,将成熟产品推向市场,从 L1、L2 逐步向上攀升,慢慢迭代至无人驾驶的技术路线。下面分别介绍这几家企业的技术发展现状。

(1) 谷歌 Waymo

谷歌主张直接以“机器人系统”为核心的全自动无人驾驶汽车作为开发目标,研究无人驾驶汽车的外部环境感知、检测、判断和控制算法。

2009 年谷歌启动无人驾驶汽车项目,并将丰田普锐斯改造成谷歌第一代无人驾驶车。该车采用 64 束激光雷达,突出地图优势,并在加州山景城进行了路测。

2011 年,谷歌将雷克萨斯 RX450HSUV 改装成第二代无人驾驶汽车,相对第一代无人驾驶汽车,第二代无人车加强环境感知技术,并通过收购知名企业,进一步增强自身的图像识别能力,提高深度学习水平,并拓展车联网应用。

2012 年,谷歌获得美国内华达州的无人驾驶汽车上路测试牌照,并将这张红色牌照贴在一辆改装的丰田普锐斯上,在内华达州首府卡森城完成首秀。

2014 年 4 月,谷歌官方微博对无人驾驶汽车项目的信息进行更新,宣布谷歌无人车可以应对数千座城市的道路交通,这是自 2012 年以来第一次正式的更新。5 月,谷歌发布了第三代无人驾驶汽车,这款车是谷歌自主研发的纯电动无人驾驶汽车。谷歌借鉴 PodCar 原型,推出了自主设计和研发的无人驾驶汽车原型。这款车整合谷歌地图和云服务等优势资源,增强人机交互体验,更加关注行人安全。

2016 年 5 月,谷歌宣布和菲亚特-克莱斯勒汽车公司(FCA)合作,FCA 为谷歌生产了 100 辆 Pacifica 混动厢式旅行车(MPV)。车上装备了整套传感器、远程信息处理和计算单元等系统,这是谷歌首次与汽车厂商展开官方合作。10 月份,搭载全新无人驾驶系统的测试车在美国多地的极端天气条件下进行了测试。

2016年12月14日，谷歌宣布成立无人驾驶公司Waymo，并展示了由Pacifica MPV改造的无人驾驶概念车(图 1-15)。该车车顶安装了雷达和摄像头套件，车前翼板子和前后保险杠都装有传感器。



图 0-15 利用 MPV 改造的无人驾驶概念车

2016年12月22日，本田和谷歌公司宣布将共同研发完全无人驾驶技术，本田将为Waymo提供开放车辆控制权限用于无人驾驶开发的改装车辆，并将这些车辆加入到Waymo公司的路测车队中。

截止2017年底，谷歌公司的无人驾驶汽车测试里程已经达到了141.3万英里（约合227.4万公里），而根据去年的测试报告显示，谷歌Waymo的每千英里人为干预次数仅为0.18次，相当于约9000公里才需要人为干预一次，排在第二名的通用Cruise为0.84次。

2017年11月24日，谷歌Waymo正式对外宣布，其实现了真正的完全无人驾驶，并向加州政府申请完全无人驾驶路测资格，未来谷歌汽车上路测试将不再需要配备安全员。

2018年1月底，谷歌Waymo已经从美国亚利桑那州交通部门拿到了正式的无人驾驶商用许可，并于2018年底正式推出其无人驾驶打车服务。这项服务的名称被命名为Waymo one。Waymo在美国亚利桑那州凤凰城正式向公众开放这些服务，并且向用户介绍了其使用方法。

谷歌无人驾驶汽车的感知核心是位于车顶的旋转式激光雷达，无人驾驶汽车会将激光雷达测得的数据和高精度地图相结合，生成反映周边环境的数据模型。安装在前挡风玻璃的摄像头可以用于近景观察，帮助无人驾驶汽车识别前方的人和车等障碍物。记录行程中的道路情况和交通信号的标志，最后通过相应算法对信息进行综合和分析。轮胎上的感应器可以保证汽车在确定轨道内行驶；倒车时，还能快速测算出后方障碍物的距离，实现安全停车。汽车前后保险杠内安装有4个雷达元件，可以保证汽车在道路上保持2-4s的安全反应距离，并根据车速变化进行距离调整，最大程度保证乘客的安全。

（2）百度 Apollo

从 2015 年开始,百度大规模投入无人车技术研发。同年 12 月即在北京进行了高速公路和城市道路的全无人驾驶测试;2016 年 9 月获得美国加州无人驾驶路测牌照;同年 11 月在浙江乌镇开展普通开放道路的无人车试运营。

2017 年 4 月 19 日,百度发布“Apollo(阿波罗)”平台,计划向汽车行业及无人驾驶领域的合作伙伴提供一个开源的无人驾驶方案,帮助他们结合车辆和硬件系统,快速搭建一套完整的无人驾驶系统。而将这个计划命名为“Apollo”计划,就是借用了阿波罗登月计划的含义。

百度开放的阿波罗平台是一套完整的软硬件和服务系统,包括车辆平台、硬件平台、软件平台、云端数据服务等 4 大部分。同期开放的还有环境感知、路径规划、车辆控制、车载操作系统等功能的代码或能力,并且提供完整的开发测试工具;并在车辆和传感器等领域选择协同度和兼容性最好的合作伙伴,推荐给接入阿波罗平台的第三方合作伙伴使用,进一步降低无人车的研发门槛。

Apollo 的核心是人工智能技术,这是搭建该平台的主要支柱。Apollo 计划用两种形式开放无人驾驶能力:一是开放代码,二是开放能力。开放能力主要基于 API 或者是 SDK,通过标准公开的方式获取百度提供的能力;开放代码跟一般开源软件一样,代码公开,开发者可以在遵守开源协议的前提下自由使用,并可参与一起开发。

2018 年 7 月 4 日,在 2018AI 开发者大会上,百度正式发布无人驾驶车辆量产方案,包含自主泊车、无人作业小车、自动接驳巴士三套无人驾驶解决方案。

Apollo 还带来了更多样化的智能仿真手段,推出真实环境 AR 仿真系统,能提供虚拟交通流结合实景渲染的仿真解决方案,帮助开发者实现相对真实的仿真测试。

（3）特斯拉

特斯拉是美国的一家电动车及能源公司,产销电动车,太阳能板及储能设备。公司创立于 2003 年,后改名为“特斯拉汽车(Tesla Motors)”,以纪念物理学家尼古拉·特斯拉。

特斯拉第一款汽车产品 Roadster 发布于 2008 年,为一款两门运动型跑车;2012 年,特斯拉发布了其第二款汽车产品——Model S,一款四门纯电动豪华轿跑车;第三款汽车产品为 Model X,豪华纯电动 SUV,于 2015 年 9 月开始交付;第四款汽车产品为 Model 3,首次公开于 2016 年 3 月,已经陆续开始交付。

2015 年,特斯拉正式启用驾驶辅助系统 Auto Pilot,并开始利用影子模式功能收集大量真实的路况数据。2016 年特斯拉发布 Auto Pilot 2.0,称其可以实现常见道路的全无人

驾驶,并且包括 Model 3 车型都可以搭载。

特斯拉太过激进,其宣传的无人驾驶功能在 SAE 的分级中只能达到 L2 级别的标准,并非其所宣称的全无人驾驶。2016 年 5 月的一个周四,史上第一起由无人驾驶技术引发的血案发生了。驾驶员 Joshua Brown 驾驶特斯拉 Model S,从侧面撞上了一辆 18 轮大型货车,致驾驶员当场死亡。事故发生后,特斯拉被指责其无人驾驶功能“越过了安全的底线”,那只是辅助驾驶功能,是特斯拉自己夸大其词,用无人驾驶来博取消费者眼球。

2018 年 3 月 3 日,一辆处于 Auto Pilot 状态的特斯拉汽车在硅谷撞上了高速护栏,车主不幸身亡。特斯拉的 Auto Pilot 系统仍然属于辅助驾驶,与谷歌 Waymo 所研发的完全无人驾驶不属于同一级别。

(4) 奥迪

作为老牌德国车企,奥迪汽车不想错过无人驾驶的大潮。2017 年 7 月 11 日,奥迪在其全球品牌峰会上推出新一代奥迪 A8/A8L,这款新车拥有无人驾驶系统,奥迪宣称其超越特斯拉 Auto Pilot 并达到了 L3 级。这是全球第一款宣布达到 Level 3 级别的无人驾驶量产车。

奥迪 A8 上配备了 4 颗鱼眼摄像头、12 颗超声波雷达、4 颗中距离毫米波雷达、1 颗长距毫米波雷达、1 颗激光雷达、1 颗前视摄像头。其中,4 颗鱼眼摄像头用于 360° 环视系统 12 个超声波雷达用于自动泊车系统;而车辆在行驶过程中的数据采集,由其他传感器来完成。

奥迪研发的无人驾驶系统被命名为 Traffic Jam Assist,可在车速 60km/h 以下时启用。并能够在驾驶员完全不干涉的情况下发挥作用。这套系统配备了显示屏,可提示车辆的实时驾驶模式。因为奥迪在与航空航天专家的合作及研发过程中发现,绝大多数飞机的无人驾驶事故均是由飞行员不清楚飞机的驾驶模式而导致的悲剧。

目前,类似特斯拉的 Autopilot 系统等都属于 L2 级无人驾驶,或被称为半无人驾驶系统。奥迪 A8 所配备的 L3 级无人驾驶功能可以使驾驶者在拥堵的公路上,将时速限制在 60 公里以内启动无人驾驶功能,然后就可以在车上阅读、浏览资讯或者回复邮件。

除了 A8 这款量产车外,在 2017 年法兰克福车展的大众之夜上,奥迪带来了另一款新车型——概念车 Audi Aicon。

这是一款具备人工智能的无人驾驶汽车。Aicon 没有方向盘,没有油门踏板,全车通过多组摄像头来感知车辆运行环境并通过无人驾驶系统控制车辆行驶。4 座椅采用“2+2”的对置座椅布局,内置人工智能可以提供具有偏好的个性化问题的解决方案。

重要的是,Aicon 具备 L5 级别的无人驾驶能力,驾驶员完全不需要介入驾驶。通过遍布

座舱四周的大型触控屏幕,驾驶员可输入目的地信息、了解路况资讯、观赏串流影音并可在互联网上“冲浪”,所有的驾驶行为都由车辆自主完成。

这是一辆概念车,能否量产需要打个问号。但至少,人们对未来的无人驾驶汽车有了更具体的幻想。

第二章 无人驾驶智能车设计研究与实现

智能小车是一种可以按照预先设定的模式在一个环境中自动完成工作的设备,不需要人为管理和操作就能够完成目标工作。其主要由传感器、控制器、执行器三部分组成,通过三者相互配合来实现自身的运作。

传感器是智能小车的“五官”,其主要用于感知和接收外界信号,并将接收到的信号传递给控制器进行处理,传感器主要由循迹模块、避障模块及超声波模块等模块组成。

控制器是智能小车的“大脑”,主要对传感器传递来的信号进行分析,再将控制信号发送给执行器。

执行器是智能小车的“四肢”,可以根据控制器所传递的信号来执行相应的动作,对于智能小车来说,其最具有代表性的执行器就是车轮。

第一节 无人驾驶视觉小车概述

智能小车是一种可以按照预先设定的模式在一个环境中自动完成工作的设备,不需要人为管理和操作就能够完成目标工作。其主要由传感器、控制器、执行器三部分组成,通过三者相互配合来实现自身的运作。

传感器是智能小车的“五官”,其主要用于感知和接收外界信号,并将接收到的信号传递给控制器进行处理,传感器主要由循迹模块、避障模块及超声波模块等模块组成。

控制器是智能小车的“大脑”,主要对传感器传递来的信号进行分析,再将控制信号发送给执行器。

执行器是智能小车的“四肢”,可以根据控制器所传递的信号来执行相应的动作,对于智能小车来说,其最具有代表性的执行器就是车轮。

1. 智能小车发展现状

随着电子技术、计算机技术、传感器技术、智能制造等技术的高速发展,作为这些技术领域交叉点的智能小车,世界各国都对其进行研究与开发,时至今日已取得了诸多成果。

(1) 国外智能小车发展背景

最早的智能小车是斯坦福研究院（SRI）人工智能中心于 1966—1972 年成功研制的，其名为 Shakey。Shakey 是由两台计算机通过无线通信系统进行控制的，但当时的计算机运算速度非常缓慢，导致

Shakey 需要数小时的时间来感知和分析环境，并规划行动路径。

日本智能小车是在 1967—1972 年由日本早稻田大学研发的。这是世界上第一台人形机器人，这台机器人不仅能与人对话，还能在视觉系统的引导下在室内走动和抓取物体。

德国在 1985 年开始研发智能工业机器人，其仅用了十年时间就取得了重大突破，这次的研发成果为德国由“工业 2.0”向“工业 3.0”的发展起到了推动作用。

（2）国内智能小车发展背景

我国对智能小车的研究始于 20 世纪 80 年代。1980 年国家立项了“遥控驾驶的防核化侦察车”项目，而我国首辆智能小车于 1989 年由国防科技大学研制成功。

20 世纪 90 年代，清华大学通过采用图像识别功能实现了智能车辆的自动导航，该智能车辆采用垂直式的结构体系，通过二维色彩摄像机及超声波测量获取路况信息，从而实现导航控制。

1994 年，吉林大学成功研制了一款具有无人驾驶功能的智能车辆，该智能车通过 GPS 控制系统、光电编码器、CCD 摄像机及三维激光测距仪等仪器来完成信息的获取，再通过微机测控系统、通讯系统、避障系统等实现对车体的控制。

（3）国内智能小车发展成果

自古以来我国都是一个农业大国。在农业方面，我国已成功研制出多种类型的智能蔬果采摘移动机器人。智能蔬果采摘机器人作为农业智能移动产品的重要组成部分，具有很大的发展潜力，也相继取得了一些阶段性成果。例如用于采摘黄瓜的“黄瓜采摘机器人”，其系统融合了多种传感器，可实现对采摘对象的信息获取、成熟度判别，最后根据识别到的成熟黄瓜的位置进行避障采摘。该类智能蔬果采摘机器人能够实现在非结构环境下的自主导航运动、快速搜索、果实成熟度辨别、空间定位、自动采摘等功能。

应用于物流行业中的 AGV (Automated Guided Vehicle) 小车是一辆安装有电磁、光学、视觉等自动引导装置的运输小车，可在无人驾驶的情况下进行货物运输工作，其动力来源是能够自动充电的蓄电池。AGV 小车的核心是控制管理系统，其主要由图形监控系统、无线通信系统、信息采集系统、反射板导航系统、激光引导系统以及自动充电系统组成。AGV 小车通过视觉软件对目标进行高精度特征匹配，在进行标定转换、定量计算后再把信号发送给系统进行具体位置及距离的计算，从而驱动小车进行取放料操作。

2. 智能小车技术应用特征

智能小车是一个集多种功能于一体的系统,其应用技术由硬件技术和软件技术两部分组成,二者相互配合,从而实现小车的运作。

(1) 硬件技术

目前,智能小车的设计与开发多是以 51 单片机、Arduino、STM32、树莓派为基础,结合智能小车的工作环境,从而安装其他特定的功能模块。

智能小车常用的模块主要有 5 种:

循迹模块:其工作原理是红外发光二极管不断发射红外线,发射出的红外线被物体反射后,继而被红外接收器接收,并输出信号到控制主板进行处理,再对电机驱动模块进行控制,通过对黑线和小车位置进行判断,从而控制小车沿黑线行进。循迹模块在智能小车行进过程中主要发挥着检测障碍的作用。

避障模块:其工作原理是采用超声波传感器对前方进行检测,若检测到前方有不可穿越的障碍物时,便避过障碍物,其能够很好地判断小车在行进过程中是否有不可穿越的障碍。

超声波模块:其主要功能是对距离进行测量,由于其信息处理流程比较简单、快速且价格不高,因此被广泛应用于各类机器人的测距、定位中,且超声波的检测距离很远,不易受外界因素的干扰,因此其也被广泛地应用于具有稳定性要求的场合中。

蓝牙模块:该模块是一种集成了蓝牙功能的 PCBA 板,是集成蓝牙功能的芯片基本电路集合,其功能是完成设备的无线网络通信,按功能可分为蓝牙数据模块和蓝牙语音模块,蓝牙模块在智能小车中的无线音频、远程控制及自动化领域应用广泛。

Wi-Fi 模块:该模块在智能化产品中的应用范围非常广,Wi-Fi 模块对产品设备的联网和远程控制的实现起着非常重要的作用,是产品实现智能化的关键。

(2) 软件技术

智能小车的软件一般是采用 Python、C、C++、Java 等语言开发的。智能小车的内置程序通过计算发出相应指令,智能小车传感器所接收的信号经过编程软件所编写的程序分析,再将结果反馈给执行部分做出动作。

整体而言,智能小车是计算机、传感、通信、人工智能、自动控制等技术的集合,将环境感知、自动决策、无人驾驶等功能融为一体,是现代高新技术结合体。近年来,智能小车不论是应用或技术都有了非常大的进步,而且因其可以搭载多种模块以及强大的环境适应能力,被广泛地应用于各领域。

如今在智能制造技术高度发展的时代，智能小车在智能制造市场中占据着很大的比重，且每年呈上升趋势，在未来几年内的发展也将更为迅猛。

第二节 无人驾驶视觉小车的类型

1. 蓝牙控制小车

基于遥控小车的车模运动集知识、技能、娱乐和休闲为一体，以其独有的趣味性和实践性吸引了众多学生的目光。遥控小车的使用场地广泛、价格相较于航模船模等更为优惠、娱乐性和学习性都比较强。这些特性使得遥控小车相关研究迅速发展，中小学实验室和大学生校内比赛中都出现了遥控小车。

遥控小车的类型有很多，按照动力来源可以分为电动遥控模型车和油动遥控模型车，本次报告介绍一个基于蓝牙遥控的电动遥控小车，电动小车更适合入门，操作较为方便，可实现功能也很多。

制作材料：

车体、4 个轮子、4 个减速马达；

12V 锂电池 x1；

电源开关 x1；

STM32F103C8T6 最小系统单片机 x1；

JLINK 烧写器 x1；

TB6612FNG 直流电机驱动模块 x2；

HC-08 蓝牙 4.0 模块 x1；

DC-DC12V 转 3.3V 模块 x1；

母-母、公-母、公-公杜邦线若干。

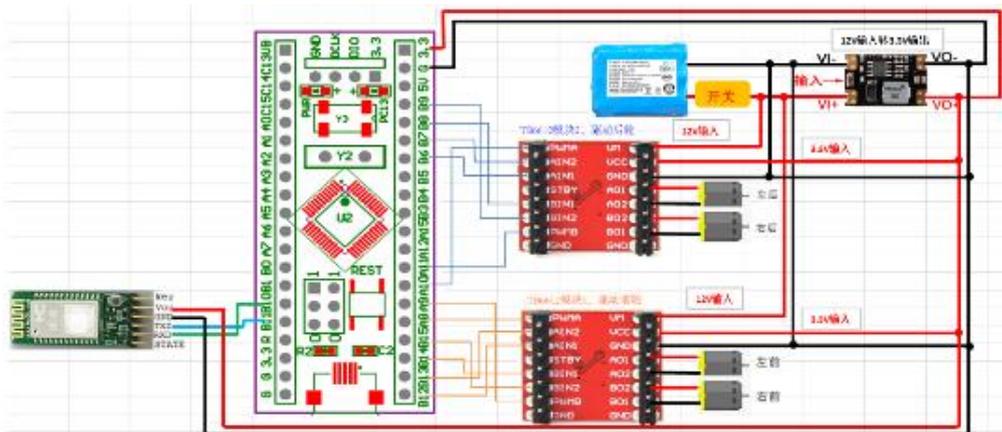


图 0-16 小车接线图

图中显示了蓝牙模块、单片机、电机驱动模块、电机、电池、开关以及电压转换模块的连接方式，如图所示使用杜邦线进行连接即可。

TB6612FNG 电机驱动模块介绍：

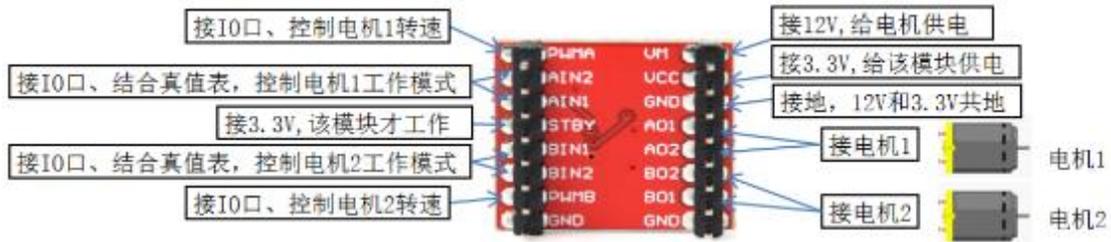


图 0-17 TB6612FNG 电机驱动模块

本次实验小车设定为四驱，因此电机驱动模块为两个，分别控制前轮和后轮，另一个模块与此同理。

蓝牙模块介绍：



图 0-18 蓝牙串口通信模块

HC-08 蓝牙串口通信模块是新一代的基于 Bluetooth Specification V4.0 BLE 蓝牙协议的数传模块。无线工作频段为 2.4GHz ISM，调制方式是 GFSK。模块最大发射功率为 4dBm，接收灵敏度-93dBm，空旷环境下和 iPhone4s 可以实现 80 米超远距离通信。

模块大小 26.9mm×13mm×2.2mm，集成了邮票封装孔和排针焊接孔，既可以贴片封装，也又可以焊接排针，很方便嵌入应用系统之内。自带 LED 状态指示灯，可直观判断蓝牙的连接状态。

此处小车通过中间四个引脚与系统进行连接，蓝牙的嵌入方式有两种，贴片嵌入和插针式嵌入。

部分代码：

遥控小车部分

```

#include "car_ctrl.h"
#include "bsp_usart.h"
#include "bsp_motor.h"

extern uint8_t rx_end;
extern uint8_t rx_data;

void RUN_Prg(void)
{
    if(rx_end)
    {
        rx_end = 0;
        if(rx_data == 'U')           //前进   (左前、左后轮反转, 右前、右后轮正转)
        {
            MotorCtrl(LEFT_FRONT, REVERSE);
            MotorCtrl(LEFT_REAR, REVERSE);
            MotorCtrl(RIGHT_FRONT, FORWARD);
            MotorCtrl(RIGHT_REAR, FORWARD);
        }
        else if(rx_data == 'L')     //左转   (左前、左后轮正转, 右前、右后轮正转)
        {
            MotorCtrl(LEFT_FRONT, FORWARD);
            MotorCtrl(LEFT_REAR, FORWARD);
            MotorCtrl(RIGHT_FRONT, FORWARD);
            MotorCtrl(RIGHT_REAR, FORWARD);
        }
        else if(rx_data == 'R')     //右转   (左前、左后轮反转, 右前、右后轮反转)
        {
            MotorCtrl(LEFT_FRONT, REVERSE);
            MotorCtrl(LEFT_REAR, REVERSE);
            MotorCtrl(RIGHT_FRONT, REVERSE);
            MotorCtrl(RIGHT_REAR, REVERSE);
        }
        else if(rx_data == 'D')     //后退   (左前、左后轮正转, 右前、右后轮反转)
        {
            MotorCtrl(LEFT_FRONT, FORWARD);
            MotorCtrl(LEFT_REAR, FORWARD);
            MotorCtrl(RIGHT_FRONT, REVERSE);
            MotorCtrl(RIGHT_REAR, REVERSE);
        }
        else if(rx_data == 'B')     //刹车
        {
            MotorCtrl(LEFT_FRONT, BRAKE);
            MotorCtrl(LEFT_REAR, BRAKE);
            MotorCtrl(RIGHT_FRONT, BRAKE);
            MotorCtrl(RIGHT_REAR, BRAKE);
        }
        else if(rx_data == 'u'|'l'|'r'|'d'|'s'|'b') //前进|左转|右转|后退|关闭电机按下|松开|刹车|松开后都关闭电机
        {
            MotorCtrl(LEFT_FRONT, OFF);
            MotorCtrl(LEFT_REAR, OFF);
            MotorCtrl(RIGHT_FRONT, OFF);
            MotorCtrl(RIGHT_REAR, OFF);
        }
    }
}

```

图 0-19 遥控小车代码展示



图 0-20 运动中的小车展示

2. PYNQ-Z 智能车

智能小车由核心部件、配件之间相互连接组装构成，用于实现不同功能的小车所使用的部件会有所区别，下面会介绍一些常用的智能小车部件。

(1) 核心部件



图 0-21 车身框架

用于承托智能小车各部件，具体实施时可根据需安装的部件进行调整，除圆形外常用的还有长方形。

(2) 智能灰度传感器

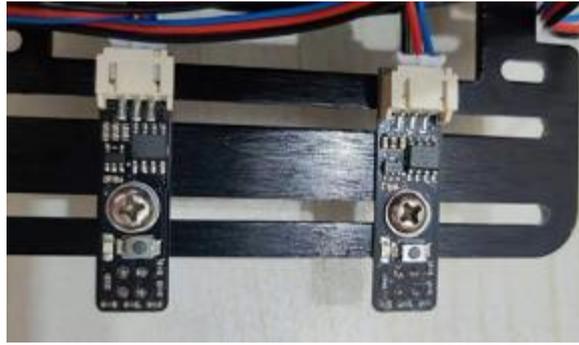


图 0-22 灰度传感器的安装

智能灰度传感器可以与 Arduino 专用传感器扩展板结合使用，与其他传感器不同的是，智能灰度传感器既可以输出模拟量，也可以输出数字量，通过短按按键可以实现模拟量与数字量之间的切换。

智能灰度传感器可以识别不同的颜色并返回不同的电压值，用万用表可以观察到电压值会发生线性变化，同时 LED 灯的明暗程度也随着电压值的变化而变化。通过颜色采集，智能灰度传感器也可以感知任意两种颜色然后输出相应的电压值。

灰度传感器内置光敏探头，可以根据不同颜色的检测面对光的反射程度不同、以及光敏电阻对不同检测面返回的光的阻值也不同的原理进行颜色深浅检测。

(3) URM09 超声波传感器



图 0-23 超声波传感器

DFRobot URM09 模拟超声波传感器设计用于快速测距和避障应用，测量频率高达 30Hz。该超声波传感器采用内置温度补偿和模拟输出。

(4) 直流电机驱动器

结合了 IO Expansion Shield 和 DC Motor Driver Shield 的开发板。具有重力传感器接口、集成的 XBee 插座和用于与外部设备通信的 UART 端口。该扩展板与大多数 micro DC 电机兼容。这种盾牌适用于智能机器人控制。

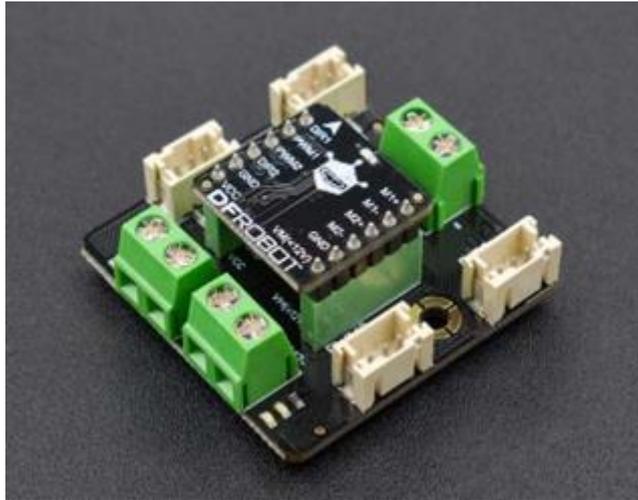


图 0-24 电机驱动器

(5) 金属齿轮舵机

MicroServo 是一款微型舵机，重量约为 9g，可轻松承载高达 200g 的负载。它可以在大量的小型研究中使用，如机器人，自动鱼食喂食器等。舵机是一种精确控制角度的装置，您可以使用任何舵机的代码，硬件或库来控制这些舵机，主要是控制舵机的旋转角度，在组建摄像头云台时通常会使用到舵机。

(6) 摄像头



图 0-25 单目摄像头

用于小车视觉功能开发，数据采集等，是智能小车的眼睛，可以安装一个也可以安装多个，型号也可根据需要进行挑选，一般使用 usb 接口与开发板进行连接。

(7) 开发板

目前，智能小车的设计与开发多是以 51 单片机、Arduino、STM32、树莓派、PYNQ 等为基础，下图展示的型号为 PYNQ-Z2，可用于实现传感器巡线避障等功能。

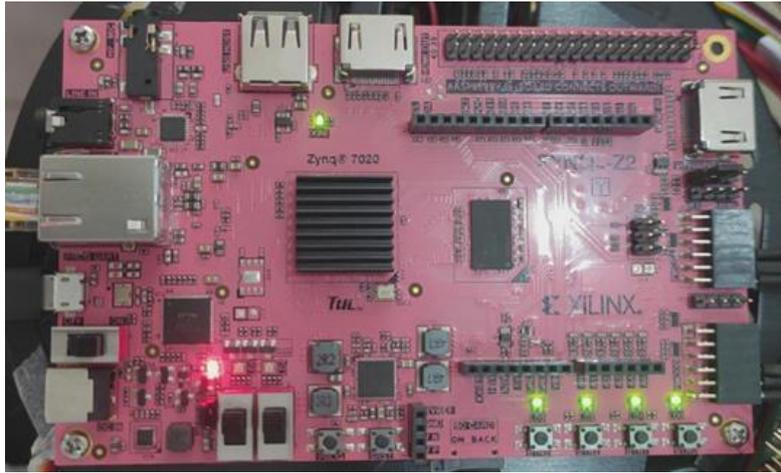


图 0-26 PYNQ 开发板

DFRobot PYNQ-Z2 开发板基于 Xilinx Zynq XC7Z020 芯片系统(SoC)。PYNQ-z2 是为支持 PYNQ 而设计的，PYNQ 是一个开源框架，嵌入式程序员可以在不设计编程逻辑电路的情况下探索 Xilinx Zynq soc 的可能性。得益于 Zynq 的可编程逻辑和先进的 Arm 处理器，设计人员可以构建强大的嵌入式应用程序。soc 可以用 Python 编程，代码可以直接在 PYNQ-Z2 上开发和测试。可编程逻辑电路作为硬件库导入，并通过 api 进行编程，其导入和编程方式与软件库导入和编程的方式基本相同。

PYNQ-Z2 板具有以太网连接、HDMI 输入和输出、MIC 输入、音频输出、Arduino 接口、Raspberry Pi 接口、2 个 Pmod 头、一个用户 LED、一个用户按钮和一个用户开关。该板设计为易于扩展与 Pmod, Arduino, 外设，以及通用 GPIO 引脚。

(8) 部件相互连接

这里为了连接红外和灰度传感器，需要添加一个 PYNQ Grove 系统附加板(下称附加板)。

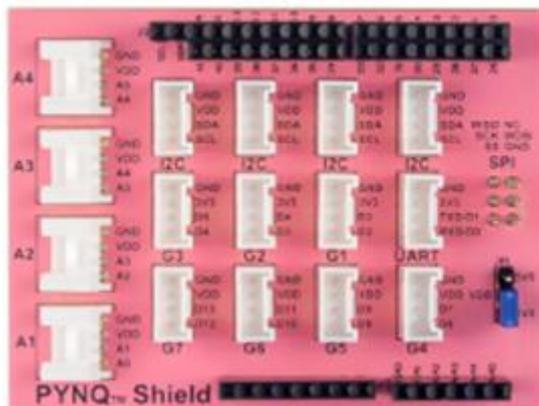


图 0-27 附加板

可将 Grove 外围设备轻松连接到 PYNQ 板。Pynq Grove Adapter 连接到 12 针 Pmod 端口，PYNQ Grove Adapter Shield 连接到开发板的 Arduino™接头。

使用杜邦线进行 PMOD 口与电机控制板进行连接，而电机控制板负责连接开关，电池组和电机，并通过主板传递的控制信息控制电机转速和方向，从而实现智能小车的运动控制。

两个灰度传感器和一个红外传感器使用 Grove 转 4Pin 跳线跳线连接到附加板。

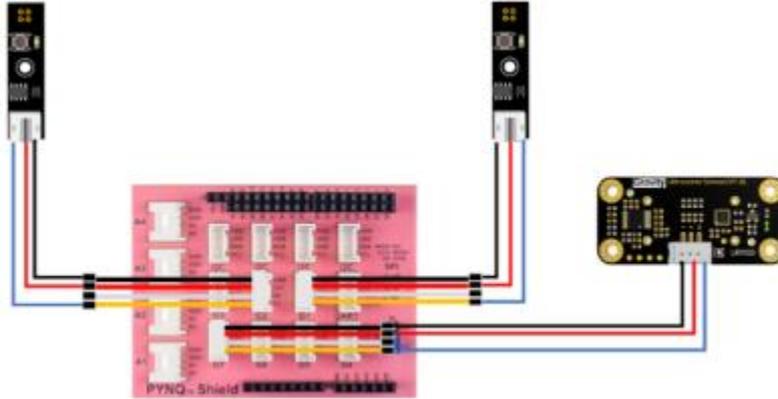


图 0-28 传感器连接附加板

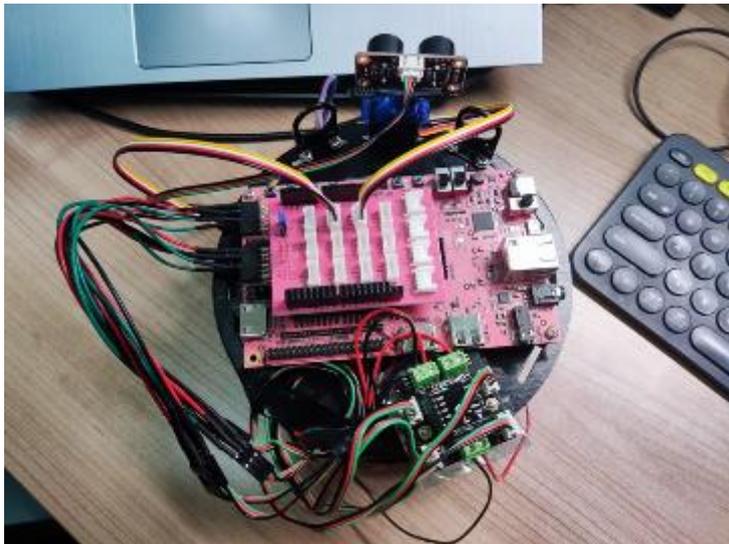


图 0-29 整体安装完成后的小车

此时小车已经可以实现基础的前进、后退、转向、循迹和避障功能，其中循迹和避障功能是通过传感器和摄像头来实现的。

代码展示：

(1) 定义电机对象

设置前进方向：`motor.forward()`

将方向设置为向后：`motor.backward()`

设置速度：`motor.set_speed(10)`

```
right_motor = adapter_A.G4
left_motor = adapter_B.G4
right_motor.backward()
left_motor.backward()
right_motor.set_speed(0)
left_motor.set_speed(0)
```

图 0-30 定义电机对象代码

(2) 定义传感器对象

```
left_line_finder = arduino_adapter.G5
right_line_finder = arduino_adapter.G6
usranger = arduino_adapter.G4
```

图 0-31 定义传感器对象代码

(3) 电机测试

运行以下代码后，小车将顺时针旋转 3 秒

```
def rotate(speed):
    right_motor.forward()
    left_motor.backward()
    right_motor.set_speed(speed)
    left_motor.set_speed(speed)

def stop():
    left_motor.set_speed(0)
    right_motor.set_speed(0)
    left_motor.backward()
    right_motor.backward()

import time

rotate(48)
time.sleep(3)
stop()
```

图 0-32 电机测试代码

第三节 无人驾驶智能小车的核心构成

实现无人驾驶的首要条件，是通过“看”与“听”来感知小车周围的环境情况。感知系统依赖来自于传感器的大量数据，进而实现对车辆运动环境，以及智能车状态的感知与监测。无人驾驶感知系统用到了各种各样的传感器，包括摄像头、毫米波雷达、激光雷达、超声波雷达、红外夜视，以及用于定位和导航的 GNSS(全球导航卫星系统)和 IMU(惯性测量单元)。还有一类技术虽然不是主动式的探测元件，但是属于协同式的全局数据辅助，可以扩展智能车的环境感知能力，在感知系统中同样扮演着不可或缺的角色。这些技术包括高精地图、V2X

车联网等。每种类型的感知技术都有自己的优势和弊端，它们互相进行充分的信息融合，最终形成全面可靠的感知数据供决策与控制系统使用。

1. 主控模块

(1) 常用开发板

PYNQ-Z2：是一款基于赛灵思 Zynq®-7000 系列的开发板，它可以运行 PYNQ 框架，使用 Python 语言和 Jupyter Notebook 进行嵌入式系统设计¹。它配备了双核 ARM Cortex-A9 处理器，85K 逻辑单元，220 个 DSP 切片和多种外设接口。

DE10-Nano：基于 Intel Cyclone V SoC 芯片的开发板，具有 FPGA 和 ARM 双核处理器，支持 Linux 操作系统和 OpenCL 编程。国内的价格大约在 999 元到 1399 元之间。

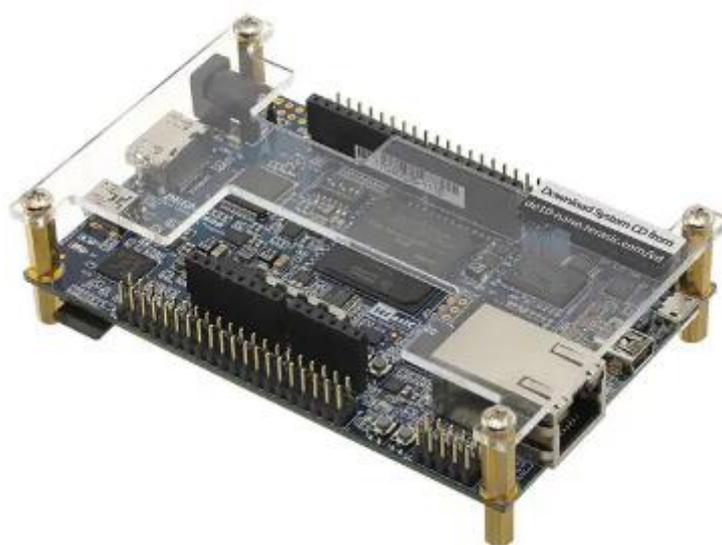


图 0-33 DE10-Nano

Arty Z7：也是基于 Xilinx Zynq-7000 系列芯片的开发板，具有 FPGA 和 ARM 双核处理器，与 PYNQ-Z2 相比，其逻辑单元、块 RAM、DSP 切片等资源略少一些。国外的价格大约在 169 美元到 199 美元之间。

Ultra96-V2：也是基于 Xilinx Zynq UltraScale+系列芯片的开发板，具有 FPGA 和 ARM 四核处理器，支持 AI 加速和边缘计算。约合人民币 1930 元。



图 0-34 Ultra96-V2

ZedBoard: 基于 Xilinx Zynq-7000 系列芯片的开发板, 具有 FPGA 和 ARM 双核处理器, 但是比 PYNQ-Z2 更高端, 拥有更多的接口和资源, 价格在 3000 元左右。

ZYBO Z7: 也是基于 Xilinx Zynq-7000 系列芯片的开发板, 具有 FPGA 和 ARM 双核处理器, 与 PYNQ-Z2 相比, 其逻辑单元、块 RAM、DSP 切片等资源略多一些。国内的价格大约在 3699 元到 3999 元之间。



图 0-35 ZYBO-Z7

(2) 性价比较高的开发板

CH579: 这款芯片是一款基于 8051 架构的微控制器, 具有 48MHz 的 CPU 速度, 128KB 或 256KB 的 Flash 内存和 16KB 或 32KB 的 RAM。它支持 USB2.0 功能, 并且有多种外设可供选择。它的价格大约是 10 元。



图 0-36 CH579

STM32F103C8T6: 基于 STM32F103C8T6 芯片的开发板, 具有 ARM 单核处理器, 支持 C/C++ 编程, 价格在 20 元左右。

GD32F103C8T6: 这款芯片与 STM32F103C8T6 完全兼容, 可以直接烧录原来的程序并正常运行。它的 CPU 速度可以达到 108MHz, Flash 内存也有 128KB, 外设也很丰富。它的价格大约是 22 元。

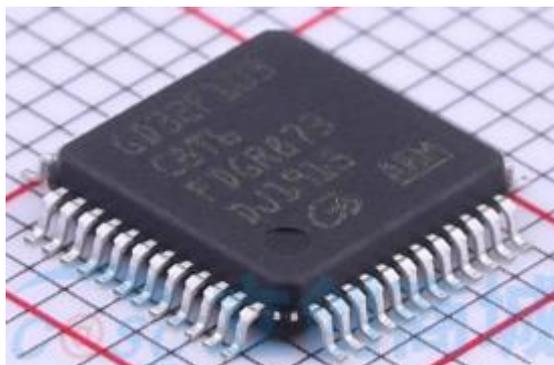


图 0-37 GD32F103C8T6

Arduino Uno: 基于 ATmega328P 芯片的开发板, 具有 AVR 单片机, 支持 C/C++编程, 价格在 100 元左右。

Raspberry Pi 4B: 基于 Broadcom BCM2711 芯片的开发板, 具有 ARM 四核处理器, 支持 Linux 操作系统和 Python 编程, 价格在 1200 元左右。



树莓派4B(2GB/4GB/8GB)

图 0-38 Raspberry Pi 4B

(3) 支持复杂运算的开发板

ZCU104: 这是一款 Zynq UltraScale+MPSoC 开发板, 支持 PYNQ 框架 3。它具有高性能视频处理能力, 包括 4K 视频输入/输出、HDMI2.0、DisplayPort1.2 等。



图 0-39 ZCU104

ZCU111: 这是一款 Zynq UltraScale+ RFSoc 开发板, 支持 PYNQ 框架 3。它具有高性能射频处理能力, 包括 8 个 12 位 ADC 通道、8 个 14 位 DAC 通道、RF 数据转换器等。

ZedBoard: 这是一款 Zynq 7000 开发板, 不支持 PYNQ 框架, 但有丰富的扩展接口和资
源 6。它具有双核 ARM Cortex-A9 处理器、512MB DDR3 内存、256MB QSPI 闪存等。

2. 电机驱动模块

电机 (一辆车四个电机, 增大马力, 方便应对复杂路况)。

安装完成效果展示

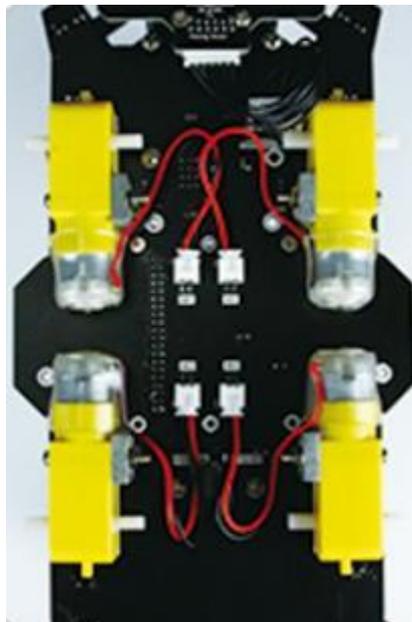


图 0-40 车背面图

图例小车使用 4 个 TT 直流减速电机。它们由 TB6612 芯片来驱动。驱动芯片没有直接连接到主板, 而是通过 IIC 与 STM8 单片机通讯, 由 STM8 单片机驱动 TB6612 芯片, 从而驱动

电机。

功能实现代码：

导入电机驱动库 Pcb_Car 和 time 库

控制小车以 150 的速度前进两秒(速度取值范围是 0~255)

```
car.Car_Run(150, 150)
time.sleep(2)
car.Car_Stop()
```

注:控制小车车速前进代码

图 0-41 小车前进

控制小车以 150 的速度右转两秒(速度取值范围是 0~255)

```
car.Car_Right(150, 0)
time.sleep(2)
car.Car_Stop()
```

注:控制小车车速右转代码

图 0-42 小车右转

控制小车以 150 的速度左旋两秒(速度取值范围是 0~255)

```
car.Car_Spin_Left(150, 150)
time.sleep(2)
car.Car_Stop()
```

注:控制小车车速左旋代码

图 0-43 小车左旋

小车停止

```
car.Car_Stop()
```

注:控制小车停止代码

图 0-44 小车停止

使用后需要释放 car 对象，否则当下一个程序需要使用该对象模块时，它将会因为被占用而导致无法使用。

```
del car
```

注:释放小车对象代码

图 0-45 释放小车对象

当程序运行之后，我们就可以看到小车完整相应的运动。

3. 舵机驱动模块

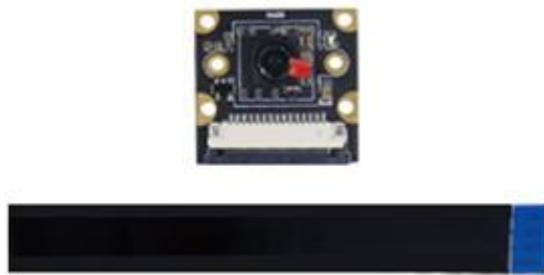


图 0-46 云台组件及摄像头

摄像头搭配舵机组成云台，云台完成效果展示

功能实现代码：

导入电机驱动库 Pcb_Car 和 time 库

控制两个舵机运动到最中间位置

连接到 s1 的舵机，旋转 90 度，连接到 s2 的舵机也旋转 90 度

```
car.Ctrl_Servo(1, 90)
time.sleep(0.5)

car.Ctrl_Servo(2, 90)
time.sleep(0.5)
```

图 0-47 舵机旋转

控制两个舵机运动到 180 度

```
car.Ctrl_Servo(1, 180)
time.sleep(0.5)

car.Ctrl_Servo(2, 180)
time.sleep(0.5)
```

图 0-48 舵机运动

使用后同样需要释放 car 对象。程序运行之后，我们可以看到摄像头云台的两个舵机会转动到 $90^\circ \rightarrow 0^\circ \rightarrow 180^\circ$ 。

4. 视觉传感模块

(1) 摄像头

车载摄像头的工作原理，首先是采集图像，将图像转换为二维数据；然后，对采集的图像进行模式识别，通过图像匹配算法识别行驶过程中的车辆、行人、交通标志等；最后，依据目标物体的运动模式或使用双目定位技术，以估算目标物体与本车的相对距离和相对速度。

相比其他传感器,尽管无人车上配置的摄像头采集的数据量远大于 LDAR 产生的数据量,但可以获得最接近人眼获取的周围环境信息。同时,现今摄像头技术比较成熟,在无人车上使用成本很低。但是,摄像头作为感知工具同样存在缺点。首先,基于视觉的感知技术受光线、天气影响较大,在恶劣天气和类似于隧道内的昏暗环境中其性能难以得到保障;其次,物体识别基于机器学习资料库,需要的训练样本很大,训练周期长,也难以识别非标准障碍物;此外,由于广角摄像头的边缘畸变,得到的距离准确度较低

表 2-1 列出了当前摄像头在无人驾驶领域的应用。在无人车上使用的摄像头主要有单目、双目(立体)和环视摄像头 3 种类型。单目摄像头一般安装在前挡风玻璃上方,用于探测车辆前方环境,识别道路、车辆、行人等。先通过图像匹配进行目标识别,再通过目标物体在图像中的大小估算目标距离。这要求对目标物体进行准确识别,然后建立并不断维护一个庞大的样本特征数据库,保证这个数据库包含待识别目标物体的全部特征数据(例如三维尺寸等)。如果缺乏待识别目标物体的特征数据,就无法估算目标物体的距离。因此,单目视觉方案的技术难点主要在于模型用到的机器学习算法的智能程度或者模式识别的精度。

表 0-1 摄像头在无人驾驶领域的应用

无人驾驶辅助功能	使用摄像头	具体功能简介
车道偏离预警 LDW	前视	当前视摄像头检测到车辆即将偏离车道线时,会发出警报
前向碰撞预警 FCW	前视	当摄像头检测到与前车距离过近,可能发生追尾时,会发出警报
交通标志识别 TSR	前视、侧视	识别前方道路两侧的交通标志
车道保持辅助 LKA	前视	当前视摄像头检测到车辆即将偏离车道线时,会向控制中心发出信息,然后由控制中心发出指令,及时纠正行驶方向
行人碰撞预警 PCW	前视	前摄像头会标记前方道路行人,并在可能发生碰撞时及时发出警报
盲点监测 BSD	侧视	利用侧视摄像头,将后视镜盲区内的景象显示在驾驶舱内
全家泊车 SVP	前视、侧视、后视	利用车辆四周摄像头获取的影像,通过图像拼接技术,输出车辆周边的全景图
泊车辅助 PA	后视	泊车时将车尾的影像显示在驾驶舱内,预测并标记倒车轨迹,辅助驾驶员泊车
驾驶员注意力检测	内置	安装在车内,用于检测驾驶员是否疲劳、闭眼等

无人车的环境成像是机器视觉在车辆上的应用,需要满足车辆行驶环境及自身行驶状况的要求。天气变化、车辆运动速度、车辆运动轨迹、随机扰动、相机安装位置等都会影响车载视觉。无人车任务中对图像质量要求高,不仅在图像输出速度上需要较高帧频,且在图像质量上也具有较高要求。

单目相机是只使用一套光学系统及固体成像器件的连续输出图像的相机。通常对无人车任务的单目相机要求能够对其实现实时调节光积分时间、自动白平衡，甚至能够完成开窗口输出图像功能。另外，对相机光学系统的视场大小、景深尺度、像差抑制都有一定要求。

双目摄像头是通过对两幅图像视差的计算，直接对前方景物(图像所涉及的范围)进行距离测量，因此无须判断前方出现的物体是什么类型的障碍物，不用像单目摄像头那样建立并维护庞大的样本特征数据库。依靠两个平行布置的摄像头产生的视差，找到同一物体所有的点，依赖精确的三角测距，就能够算出摄像头与前方障碍物的距离，实现更高的识别精度和更远的探测范围。使用这种方案，需要两个摄像头有较高的同步率和采样率，因此技术难点在于双目标定以及双目定位。相比单目，双目的解决方案没有识别率的限制，无须先识别再测量；直接利用视差计算距离精度更高；无须维护样本数据库。双目摄像头的测距精度依赖两个摄像头的安装距离，对安装精度和设备刚性也有较高的要求。在实际的使用过程中，在大部分常见障碍物测距上没有明显的优势。优势在于测距算法不依赖于检测算法对障碍物类型不依赖。缺点在于处理规则性物体时容易出现错误。因为检测原理上的差异，双目视觉方案在距离测算上相比单目以及其他感知技术对硬件及计算量的要求都上了一个新台阶，这也是双目视觉方案在应用时的一个难关。

以加拿大 Point Grey 公司的 Lady bug 相机为代表的多相机拼接成像的全景相机被用于地图街景成像的图像传感器 9，它是由完全相同 6 个相机对上方和 360 度全周进行同时成像，然后再进行 6 幅图像矫正和拼接，以获得同时成像的全景图像。使用该全景相机的无人车可以同时获得车辆周围环境的全景图像，并进行处理和目标识别。另外，使用鱼镜头的单目相机也能呈现全景图像，虽然原始图像的畸变较大，但其计算任务量相对多相机拼接方式较小，且价格低廉，也开始受到无人车领域的重视。

环视摄像头一般至少包含 4 个摄像头，分别安装在汽车的前后左右侧，实现 360° 环境感知，难点在于畸变还原与图像之间的对接。

根据不同无人驾驶功能的需要，摄像头的安装位置也有所不同，主要分前视、环视、后视、侧视以及内置。实现全部无人驾驶功能至少应安装 6 个以上的摄像头。前视摄像头一般采取 55° 左右的镜头得到较远的有效距离，有单目和双目两种解决方案。双目摄像头需要装在两个位置，成本比单目贵一倍左右。环视使用的是广角摄像头，通常在车辆四周装备 4 个摄像头进行图像拼接形成全景视图，通过辅助算法实现道路感知。后视采用广角或者鱼眼摄像头，主要为倒车后视使用。侧视一般使用两个广角摄像头，完成盲点检测等工作，也可以代替后视镜，侧视功能在某些无人驾驶方案中也可由超声波雷达代替。内置摄像头也使用

广角摄像头，安装在汽车内后视镜处，实现驾驶过程中对驾驶员进行监控，及时对驾驶员状况发出提醒。前视摄像头可以实现车道线偏离预警、车辆识别、行人识别、交通标志识别等无人驾驶方案中主动安全的核心功能，未来将成为自动紧急制动(AEB)、自适应巡航(ACC)等主动控制功能的信号入口。这种摄像头安全等级较高，应用范围较广，是目前开发的热点。

车载摄像头需要具备的首要特性是高速采集图像，特别是在高速行驶场合，无人驾驶系统必须能够记录关键驾驶状况，评估这种状况并实时启动相应的措施。在 140km/h 的车速下，汽车每秒要移动 40m 距离，为避免两次图像信息获取间隔期间无人驾驶汽车驶过的距离过长，要求车载摄像头具有不低于 30f/s 的率。在汽车制造商的规格中，甚至提出了 60f/s 乃至 120f/s 的指标要求。在功能上，车载摄像头需要在复杂的运动路况环境下保证采集到稳定的数据。要求如下：

1) 高动态范围：在较暗环境以及明暗差异较大时仍能实现识别，要求摄像头具有高动态的特性。

2) 中低像素：为了降低对图像处理器的性能要求，摄像头的像素并不需要非常高目前 30 万~120 万的像素就可以满足要求。

3) 角度要求：对于环视和后视，一般采用 135 以上的广角镜头前置摄像头对视距要求更大，一般采用 55° 范围。

同时，相比工业级与消费机摄像头，车载类型在安全级别上要求更高，尤其是对前置摄像头安全等级要求更高。主要体现在以下几方面：

1) 温度要求：车载摄像头要求能在一 40~80C 的环境下工作。

2) 防磁抗震：汽车启动时会产生极高的电磁脉冲，车载摄像头必须具备极高的防磁抗震性能。

3) 较长的使用寿命：车载摄像头的寿命要求至少满足 8~10 年的稳定工作。

(2) 视觉小车常用摄像头

OpenMV：此摄像头模块是一款小巧，低功耗，低成本的开发板。为了实现这些目标，在硬件方面，最新版的 OpenMVH7 以 STM32H743VI ARM Cortex M7 芯片为核心，拥有 480MHz 的主频，性能非常强大；在算法方面，OpenMV 做了各种集成和优化，支持大量的视觉算法；在编程方面，采用 microPython 语言进行编程，大大降低了入门难度；此外还拥有多个 IO 管脚，支持 ADC, DAC, PWM、I2C、串口和 SPI 等接口；在扩展方面，官方也推出了类似于 Arduino 的各种扩展板，让你可以轻松扩展 OpenMV 的功能，如添加 LCD 显示屏扩展来显示 OpenMV 所获取的图像，添加 WiFi 或蓝牙扩展模块，让其加入到网络中。另外，OpenMV 还可与 Arduino，

树莓派等控制器结合使用，市场价格在 500~600 之间。

OpenMV 支持的算法或应用非常多，主要有：运动检测、颜色跟踪、标记跟踪、人脸检测、眼动追踪、光流检测、二维码检测/解码、数据矩阵检测/解码、条形码解码、AprilTag 标记跟踪、图形检测（直线、圆形、方形）、模板匹配、图像捕获、视频录制。

Pixy: Pixy 系列是卡内基-梅隆大学和 Charmed 实验室共同推出的图像识别系统，Pixy2 是其最新的第 2 代产品。与 OpenMV 相比，Pixy2 只能作为传感器使用，而不能作为主控使用。市场价在 200 元~300 元。

HuskyLens（中文名：哈士奇，或二哈），是由 DFRobot 针对中小学、创客和爱好者开发的一款人工智能摄像头。它采用了新一代的 AI 人工智能专用芯片 Kendryte K210，内置 64 位 400MHz 双核 RISC-V 处理器，运行神经网络算法的速度比 STM32H743（即 OpenMV 摄像头模块的处理芯片）快 1000 倍以上。市场价在 300 元~400 元。

除了性能强大之外，HuskyLens 还是一款简单易用的 AI 视觉传感器，内置 6 种功能：人脸识别、物体追踪、物体识别、巡线追踪、颜色识别、标签（二维码）识别。

KOI 锦鲤人工智能模块：是小喵科技针对中小学和爱好者开发的一款可图形化编程的 AIoT（AI+IoT）人工智能模块，搭载了 Kendryte K210 人工智能专用芯片。市场价在 200 元左右。

在硬件上，KOI 含有摄像头、麦克风、喇叭、1.3 寸 IPS 显示屏（240×240 分辨率）、WiFi 模块、支持外接 TF 卡等。它的摄像头还突破性的采用了可调整视角设计，支持 0~180° 旋转，不管作为前置摄像头还是后置摄像头场景，都可轻松切换。IPS 显示屏，可用于显示摄像头的实时图片与一些操作的交互信息。有了这些硬件的加持，KOI 可实现视、听、说全方位的 AI 功能，比如视觉识别、语音识别、语音合成、物联网等功能。齐备的功能可以让中小学学生系统性体验与学习人工智能。

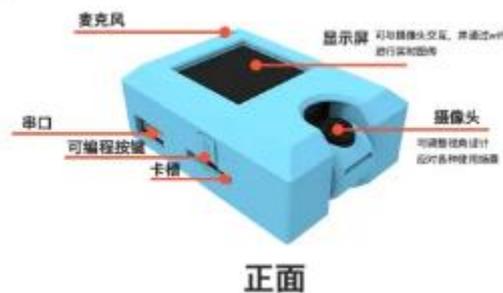


图 0-49 KOI 锦鲤人工智能模块

K210: 这款芯片是由中国的公司嘉楠科技自主研发设计的，芯片中包含了一个自研的神经网络硬件加速器 KPU，可以高性能地进行卷积神经网络运算，简单来说，就是非常适合应

用于人工智能机器听觉与机器视觉领域。市场价在 200 元左右。

开发板+普通摄像头+OpenCV: 除了前面提到的集成摄像头的模块以外,在中小学教育中,采用树莓派(或其他类似性能的单板计算机),再加上普通摄像头和 OpenCV 算法,也是一个很好的选项。



图 0-50 开发板+普通摄像头

OV5640: 500W 像素 STM3250 元左右

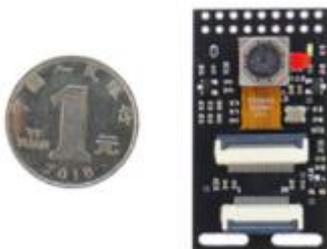


图 0-51 OV5640

sonyCCD: SONYCCD 4141+663 超宽动态强光抑制 140 元左右

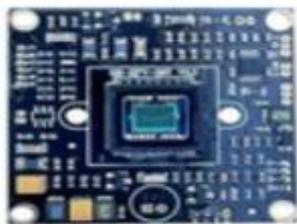


图 0-52 sonyCCD

OV7620: 是一款 CMOS 摄像头器件,是彩色 CMOS 型图像采集集成芯片,提供高性能的单一小体积封装,该器件分辨率可以达到 640X480,传输速率可以达到 30 帧。



图 0-53 OV7620

(3) 智能小车视觉功能实现代码

将图片转为 jpeg 格式

```

image = cv2.VideoCapture(0) #打开摄像头

# width=1280
# height=960
# cap.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH,width)#设置图像宽度
# cap.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT,height)#设置图像高度

image.set(3,600)
image.set(4,500)
image.set(5, 30) #设置帧率
image.set(cv2.CAP_PROP_FOURCC, cv2.VideoWriter_fourcc('M', 'J', 'P', 'G'))

image.set(cv2.CAP_PROP_BRIGHTNESS, 64) #设置亮度 -64 - 64 0.0
image.set(cv2.CAP_PROP_CONTRAST, 50) #设置对比度 -64 - 64 2.0
image.set(cv2.CAP_PROP_EXPOSURE, 156) #设置曝光值 1.0 - 5000 156.0

ret, frame = image.read() #读取摄像头数据
image_widget.value = bgr8_to_jpeg(frame)
print(frame.shape)

```

图 0-54 视觉功能实现代码

颜色识别并使用线圈将对象圈出来

颜色识别主函数

```

def Color_Recongnize():
    t_start = time.time()
    fps = 0
    while True:
        ret, frame = image.read()
        frame = cv2.resize(frame, (320, 240))
        frame_ = cv2.GaussianBlur(frame, (5,5),0)
        hsv = cv2.cvtColor(frame,cv2.COLOR_BGR2HSV)
        mask = cv2.inRange(hsv,color_lower,color_upper)
        mask = cv2.erode(mask,None,iterations=2)
        mask = cv2.dilate(mask,None,iterations=2)
        mask = cv2.GaussianBlur(mask, (5,5),0)
        cnts = cv2.findContours(mask.copy(),cv2.RETR_EXTERNAL,cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)[-2]
        if len(cnts) > 0:
            cnt = max(cnts, key = cv2.contourArea)
            (color_x,color_y),color_radius = cv2.minEnclosingCircle(cnt)
            if color_radius > 10:
                # 将检测到的颜色用原形线圈标记出来
                cv2.circle(frame,(int(color_x),int(color_y)),int(color_radius),(255,0,255),2)
                # Proportion-Integration-Differentiation
            fps = fps + 1
            mfps = fps / (time.time() - t_start)
            cv2.putText(frame, "FPS " + str(int(mfps)), (40,40), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.8, (0,255,255), 3)
            # 实时传回图像数据进行显示
            image_widget.value = bgr8_to_jpeg(frame)
            # print(g_mode)

```

图 0-55 颜色识别主函数

人脸识别

```

faces = face_haar.detectMultiScale(gray_img, 1.1, 3)
for face_x,face_y,face_w,face_h in faces:
    cv2.rectangle(frame, (face_x, face_y), (face_x+face_w, face_y+face_h), (0,255,0), 2)

eyes = eye_haar.detectMultiScale(gray_img, 1.1, 3)
for eye_x,eye_y,eye_w,eye_h in eyes:
    cv2.rectangle(frame, (eye_x,eye_y), (eye_x+eye_w, eye_y+eye_h), (255,0,0), 2) #蓝

image_widget.value = bgr8_to_jpeg(frame)
time.sleep(0.010)

```

图 0-56 人脸识别部分代码

5. 多传感器信息融合

前一节介绍了无人驾驶汽车环境感知系统不同类型的传感器,为了方便对比将各类型的传感器的各项性能指标列举在表 2-2 如下:

表 0-2 传感器的性能指标对比

传感器	照明影响	天气影响	颜色识别	深度	检测范围	准确性
单目相机	√	—	√	—	—	—
双目相机	√	—	√	√	中	低
全景相机	有限	—	√	—	—	—
激光雷达	—	—	—	√	中	高
毫米波雷达	—	√	—	√	长	中
超声波雷达	—	√	—	√	短	低

由于工作原理不同,每种传感器都有自己的优势和劣势,利用其长处来实现其价值,满足其在环境感知方面的不同应用。具体见表 2-3:

表 0-3 传感器的性能指标对比

传感器	优势	劣势	成本	应用
摄像头	像素高，刷新颜色识快；能识别物质	受光线影响大；依赖算法；不稳定	低	车辆，行人，车道线检测；交通标志识别；场景分割
激光雷达	探测精，分辨率高；受光线影响小；视野宽，无盲区一	受雾霾影响大；同频干扰	高	探测障碍物，3D 识别；高精度地图；高精度定位
毫米波雷达	体积小安装方便；距离远穿透力强	测量角度受限；采样点稀疏，分辨率低；不能识别小动物	中	自适应巡航等
超声波雷达	近距离较准确	距离近，受温度影响	低	倒车雷达，自动泊车

从以上两个表格可以看出，不同的传感器互有优缺点，单一的传感器并不能解决所有问题无人驾驶汽车要安全运行，必须保证多传感器协同工作和信息冗余。因此传感器融合，多种传感器协同工作，优势互补共同组成环境感知系统是无人驾驶汽车发展的必然同时，除了车辆自身进行环境感知，借助外界手段获取信息，也越来越被重视。例如，车路协同技术就是通过 V2X 技术实现车和车、车和外界环境的信息交互，从而实现超越车辆自身车载传感器的感知能力。

在过去的几年里，国内外学者在基于单一传感器的车辆检测领域进行了大量的研究，但单一传感器本身存在一定的缺陷，见于表 2-4。虽然有研究人员通过研发新的算法改善了现有单一传感器部分缺陷，但仍无法满足实用化要求，因此基于多传感器信息融合的方法被提出。多传感器信息融合是指多个传感器在时间或空间上或者同一传感器的多个特征，按照一定的规则进行信息的相互配合与合并，从而实现对环境某些特征的描述问。采用多传感器信息相融合的方法，可弥补单一传感器在获取信息时的局限性，尤其在复杂环境条件下，提高了整个系统的鲁棒性。因此，基于多传感信息相融合的方法在前方车辆的研究中使用的越来越多，应用也将会日益广泛。现在比较常用的多传感器信息融合的方法为：视觉与激光雷达融合，视觉与毫米波雷达融合以及两个以上传感器的融合方式。

Lili Huang 等人提出的基于视觉与激光雷达相融合的车辆检测方法具有很好的可靠性，并可以应用在交通监控和高速公路巡航测试中²。在该融合系统中，激光雷达使用特征聚类模型估计车辆可能存在的位置，并将激光雷达获取的信息转换为图像坐标信息形成不同的感兴趣区域，最后基于 Adaboost 的方法进行感兴趣区域判定；上海交通大学利用摄像头和激

光雷达传感器实现了对视野中车辆的检测和跟踪，利用激光雷达获取的车辆距离信息，摄像头获取图像的车辆特征信息并对车辆存在性进行验证，使用 Kalman 滤波和粒子波相结合的方法进行了车辆的跟踪，解决了在急转弯时车辆跟踪丢失的问题。

激光雷达传感器和机器视觉传感器相结合弥补了激光雷达获取障碍物信息量少和摄像机无法获取精准距离信息的缺点，但二者都易受环境的影响。相对于激光雷达毫米波雷达具有受环境影响小的优点。与机器视觉进行信息融合将更好地弥补各自在车辆识别时存在的缺陷，已成为目前研究热点。

表 0-4 车辆检测中常用传感器

种类	优点		缺点	主要用途
机器视觉	探测范围广、检测信息量大、能够遥测等		计算量大，系统实时性较易受环、气候影获得深度信息	路径识别与跟踪、才探测物识别、驾驶人状态监测、驾驶人视觉增强等
微波雷达	可直接获得距离、速度，比红外或激光传感器适应性好，可穿透雨、雾、战场浓烟、尘埃进行探测	探测距离远，技术成熟，应用较早	分辨率较低	障碍物探测、深度信息获取、测速
毫米波雷达		同微波雷达相比，体积小、重量轻；波束窄，具有更高的叫分辨率力和距离分辨率；带宽大、抗干扰能力强	同微波雷达相比，作作用距离较近，大气传输损耗较大	
激光测距	与机器视觉相比，可直接获取环境的三维信息；与雷达相比，方向性好、体积小、波束窄、成本低、无电磁干扰、距离及位置探测精度高		数据噪声较大，受环境影响大，距离成像速度慢	障碍物探测、深度信息获取、距离成像
超声波	数据处理简单、快速，价格低		探测波束角过大、方向性差、分辨率低、作用距离药	近距离障碍物探测
红外	环境适应性好；体积小，重量轻，功耗低；与超声波相比，器探测视角小，方向性强一些，测量精度也有所提高		分辨率低、作用距离短	障碍物探测，红外成像，红外夜视等

丰田技术中心提出了融合摄像机和毫米波雷达的障碍物分类系统。首先，毫米波雷达从摄像机获得的大量候选图像里选择最有效的一个，建立感兴趣区域，红色点为毫米波雷达的三维坐标点，蓝色矩形区域为关注区域。然后，基于神经网络识别感兴趣区域内的车辆 128。基于神经网络的方法识别速度快，但分类器训练速度慢，而与 Adaboost 相比识别精度低。Anselm Haselhof 等人改用 Adaboost 方法进行车辆的识别，提高了识别准确率。

国内外对车辆识别已经进行了大量的研究，分为基于单一传感器的识别方法和基于多传感器融合的方法，单一传感器本身存在一定的不足，使得基于多传感器相融合的方法已成为

车辆识别领域研究的重点和热点。基于多传感器相融合方法中毫米波雷达与机器视觉相融合的方法相对于其它传感器融合更适合于高等级公路上的车辆识别。因此，本文采用基于毫米波雷达与机器视觉信息融合的方法对前方车辆进行检测。

6. 人机交互模块

智能汽车人机交互是集环境感知、控制决策、执行机构于一体的多功能的综合系统，代替了传统汽车通过人类的眼、脑、手配合，完成驾驶操作的功能。智能汽车主要是通过先进的环境感知传感器、高精度地图以及 V2X (vehicle to everything) 设备等来理解周围环境，然后汽车进行自主决策，完成驾驶操作。由此可知，智能汽车与传统汽车最大的不同在于设计上，传统汽车完全依赖于人类驾驶员完成所有的操作，而智能汽车则几乎无需人类的参与，驾驶过程绝大多数由车辆自己完成。

在智能汽车上，良好的人机交互技术是使驾驶员从传统的驾驶操作中解放出来的关键技术，驾驶员无需将注意力放在驾驶操作中，而是可以读书、玩手机、聊天、吃东西等。但是在高级别无人驾驶阶段，无人驾驶车辆仍然无法彻底脱离驾驶员的接管操作。所以人机交互的重要任务之一就是需要时时刻刻了解人类驾驶员的状态在智能汽车不能自主完成驾驶时，人机交互技术检测出驾驶员的当前状态，并根据当前驾驶员与车辆的状态，在合适的接管时间，以恰当的方式提醒驾驶员，让人类驾驶员来接管驾驶任务

人机交互系统，本质上是通过传感技术、接口技术、控制技术及计算机技术等实现人与智能机器间的相互理解认知、互动，从而完成某种特定的功能或任务。本文研究的智能汽车人机交互系统，主要是指车载系统通过汽车上布置的摄像头、人体状况监测传感器、酒精传感器等设备实时采集驾驶员行为状态、身体状况等信息，然后将信息作为驾驶员状态识别系统的输入，对于驾驶员状态进行识别判断。当车辆无人驾驶过程中需要驾驶员接管车辆驾驶时，人机交互系统能够根据驾驶员状态决策接管时机，同时采取相应措施提醒驾驶员并干预车辆控制。



图 0-57 无人驾驶汽车

(1) 驾驶人员状态检测及交互

目前这种检测大概可以分为基于驾驶员行为、基于车辆的行驶信息、基于驾驶员生理信号、基于驾驶员语言信号等 4 个方面。由于这种检测方式应当具有普适性，而不同人的驾驶习惯和说话方式等会对第二方面和第四方面造成较大影响，所以这里主要介绍关于第一方面和第三方面的研究，这两方面的检测通常提取驾驶员面部头部特征和其生理电信号。例如有研究人员通过对驾驶员的生理电信号采集分析，实现了疲劳监测，并对驾驶员的行为进行预测，使用预测模型调整驾驶员的意图，保证驾驶的安全性，疲劳监视器如图 2-33 所示。



图 0-58 疲劳监视器

Zhu Z 等建立了驾驶员疲劳检测数学模型，其模型主要借助高精度相机获取驾驶员眼部、头部和表情特征等生理信息。Sayed R 等四将车辆的转向运动操作频率与驾驶员当前是否疲劳进行数学关联，利用车辆转向特征参数计算出当前驾驶员的疲劳状态。He J 主要采用深度神经网络学习算法将手机拍摄到的驾驶员面部图像与驾驶员疲劳状态进行非线性关联，构建相关识别模型。Liang 等主要提出一种依据人类眼睛眨眼频率推算驾驶员当前心理及疲劳状态的数学方法。Takei Y 等 P 利用车辆动力学仿真软件构建车辆转向运动环境及工况，并将车辆转向参数与驾驶员状态进行有效关联，提出一种基于混沌理论的数学分析方法，基于仿真环境中的转向数据有效判断驾驶员当前状态。Friedrichs F 等提出一种基于 BP 神经网络的，综合考虑车辆方向盘转角以及横摆角速度的驾驶员状态识别算法。Munla N 提出一种基于人体大脑脑电波的驾驶员状态识别系统及方法。后来相关学者构建基于支持向量机的模型对人类大脑电波进行深入分析和识别。Chai R 等基于信息熵的数学分析方法，提出一种基于人类脑电波的驾驶员状态识别算法。

随着实验方法的改进和完善，越来越多的驾驶员状态识别方法被挖掘出来。He O C 等对驾驶员脑电波 EEG 指标进行分析处理，将驾驶员头部以及躯干的数据输入到动态贝叶斯网络中，进而得到驾驶员的疲劳程度评价模型。Fan J 等 lo 进行了六自由度虚拟现实驾驶模拟实验，在脑电信号的基础上，对驾驶员的人员情绪与工作符合程度进行判断针对驾驶员面部和头部特征，美国的卡内基梅隆大学在大量的实验以及反复尝试之后，定义了一种可以

表示人体疲劳状态的算子——PERCLOS 算子，主要是利用每秒钟人眼睛的张开闭合程度和时间来表示。如果人眼闭合程度超过 80%，并超过一定时间，就可以基本断定人处于疲劳状态。卡内基梅隆大学还成功研制出了一套用于采取驾驶员面部表情信息的 Copilot 系统，如图 2-34 所示该系统可以快速识别驾驶员的面部信息，并发出相应的状态信息提醒信号。



图 0-59 Copilit 系统

Soualmi B 等根据车辆运动通过运用模糊控制来求得线性二次型优化问题，提出一种确定人机驾驶权分配的决策算法。Bi L Z 等采用模型预测控制的方法实现人机系统控制，主要是通过脑机接口来实现人机协同的控制，同时考虑驾驶员的意图和保证车辆安全问题。Li R 等将人机交互系统分为直接和间接的两种形式，通过感知驾驶员的意图来实现高度自动化车辆的间接共享控制。Gray A 等利用驾驶员模型预测驾驶员未来的驾驶行为，设计了一种非线性模型预测控制器，利用转角和制动控制，在最小干预情况下帮助驾驶员完成避障和车道偏离，后续又分析了人机共驾的过程中存在的不确定性问题，设计了一种具有鲁棒性的控制器，在不确定的驾驶员行为下，优化出保证驾驶员顺利接管的最小转角。

在国内，哈尔滨工业大学的张晶秋对驾驶员呼吸频率以及血压的变化和心率变化进行了实验和分析，给出了血压、心率、呼吸与驾驶员疲劳状态的变化关系。电子科技大学的龙伶敏结合人脸表情特征以及呼吸频率等，提出基于模糊数学理论的状态识别非线性数学模型构建方法。

梅赛德斯奔驰等国外顶尖车企，以及国内自主品牌车企比亚迪都开始将车机系统中融入了人机实时交互的功能模块。最近几年，特斯拉采用极具视觉冲击力的中控大屏引领了车内人机交互的最新潮流。但是，人机交互的界面以及相关标识五花八门，给消费者也带来了不少困扰，无法快速适应相应的人机交互功能，同时，消费者普遍反映人机交互的最终效果并不是很理想，没有较好地实现人与车辆的快速且无障碍的交流。

(2) 无人驾驶接管及交互

无人驾驶接管及协同控制是 3 级驾驶自动化(Condition-ally automated driving)阶段的关键核心技术，许多高校及科研院所已经在该领域开展了深入的研究工作。鲁光泉等人使用双因素方差分析来研究不同次任务与不同接管请求时间对接管时间的影响。Russell H E B 等指出驾驶员从无人驾驶模式下比较轻松的状态切换到人工驾驶模式时必须经过一段

时间的休息才能较好地完成任务否则会产生造成车辆失稳的误操作。Gold C 等人经过研究发现,接管请求时间直接影响着接管之后的驾驶品质二者成正相关的关系,分析了不同年龄的驾驶员在驾驶接管过程中的表现,最终发现年龄与接管表现的关联程度并不大,通过搭建的无人驾驶接管评价模型对驾驶员的接管反应时间进行预测 Happee R 等人提出一种基于 TTC 评价紧急情况下的接管任务完成情况的方法,并研发一种控制策略来抑制由于接管任务而使转向和制动等操作滞后的现象 Seppelt B D 等人经过研究发现,逐渐加强式的报警提醒方式要比突发式的报警提醒方式对于接管任务的高效完成更有效。

在汽车主机厂及零部件供应商方面, Bosch 概念车系统会提前让用户得知可以使用无人驾驶的路线。并且用户可以折叠隐藏方向盘,将控制权暂时移交给智能汽车。除此之外,在智能汽车介入式控制的过程中,系统会通过各传感器探测,告知用户恢复手动驾驶的时间,帮助用户由无人驾驶转变为人为驾驶,完成控制权的接管。Tesla 在 2016 年 9 月更新的车载系统中,加入了一个方向盘触控检测系统,该系统的作用是实时监控驾驶员是否对车辆进行了实际的控制。日产公司于 2018 年前后提出了他们的“脑-车”技术,该技术的主要作用是根据驾驶员佩戴的终端设备监控驾驶员的生理信号,从而识别驾驶员的当前状态。丰田公司于 2017 年前后,提出一种自动识别驾驶员状态并可以进行快速接管的人机交互系统,该系统可以感知人类眼部和面部表情的细致特征,当驾驶员进入疲劳或其他不适于驾驶的状态时,自动对车辆的驾驶权进行接管,提高车辆的安全性。

(3) 无人驾驶人机交互系统未来展望

尽管汽车领域人机交互系统及驾驶员状态识别相关技术已经相对成熟,但相对于无人驾驶领域的人机交互系统还处于起步阶段,还没有成熟的解决方案。人机共驾型人机交互及接管系统,需要双方的相互配合,并不能完全依赖一方的独立操作,同时,人机交互系统可以使驾驶员更好地理解无人驾驶系统当前的工作状态及意图,可以进一步降低驾驶员在乘车阶段的紧张感。

尽管已经有大量的研究成果发现接管瞬间会对车辆行驶稳定性造成负面影响,但是针对接管行为造成的负面影响并没有给出行之有效的解决方案,在解决上述问题的人机协同控制方面的研究还不够深入。

在后续的研究中,需要加快引入人工智能、大数据云控平台、高算力车载计算平台等技术,使智能车辆与人类驾驶员可以以更为流畅及智能的方式进行人机共驾和人机信息交互。相关人机交互系统需要在不断学习和更新过程中,更加适应用户的驾乘习惯,达到更好的人机交互体验感受。将充电口的坐标信息发送给充电机器人。通过合作特征的加入,可以大幅

度降低充电口及充电座的识别定位门槛提升识别速度和准确度,为自动充电机器人的普及铺平道路。自动充电机器人通过提升充电体验,未来将与电动汽车产业形成战略互补力,有效促进中国新能源汽车又好又快发展。

第三章 无人驾驶智能车算法研究与实现

第一节 智能小车目标检测功能详解

随着无人驾驶和人工智能的发展,智能小车应用变得越来越先进,它不仅是能够把代码与实践连接起来的简单实例,而且在即将到来的智能时代,也将是最先广泛使用的智能产品。

本章节基于 AI 视觉和嵌入式小车结合的研究,集中于道路目标的检测实现。视觉识别是无人驾驶小车的—个主要内容,通过摄像头捕捉周围环境,是信息输入的重要方式。因此, AI 视觉和机器小车的互相配合加持对实际生产生活也具有很大的意义。

在本节中演示了实现了控制小车行进,实时检测颜色、人脸、车牌功能。

1. 主要硬件

(1) 电机(—辆车四个电机,增大马力,方便应对复杂路况)

安装完成效果展示:



图 0-60 电机安装效果图

(2) 云台组件及摄像头

摄像头搭配舵机组成云台,云台完成效果展示:

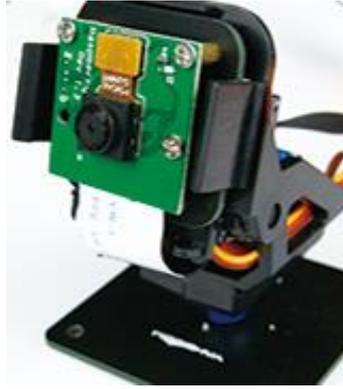


图 0-61 云台展示

(3) 四路巡路模块



图 0-62 四路巡路模块

(4) 线路连接示例图

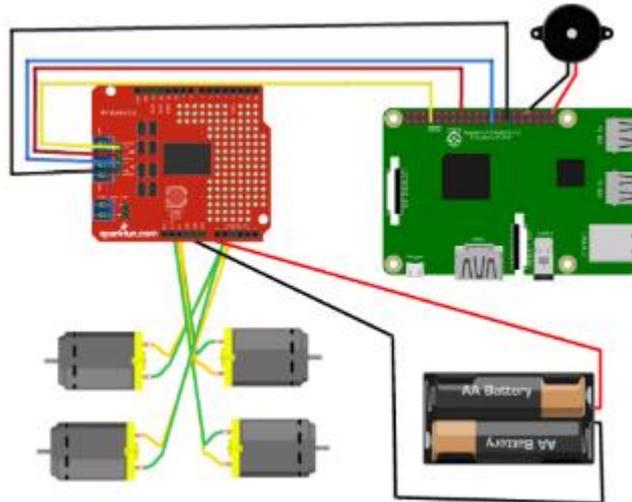


图 0-63 线路连接示例图

2. Ultra96 v2 开发板基础使用

(1) 主板连接电脑

本次实验使用 Ultra96 v2 开发板，其主要构成如下所示：

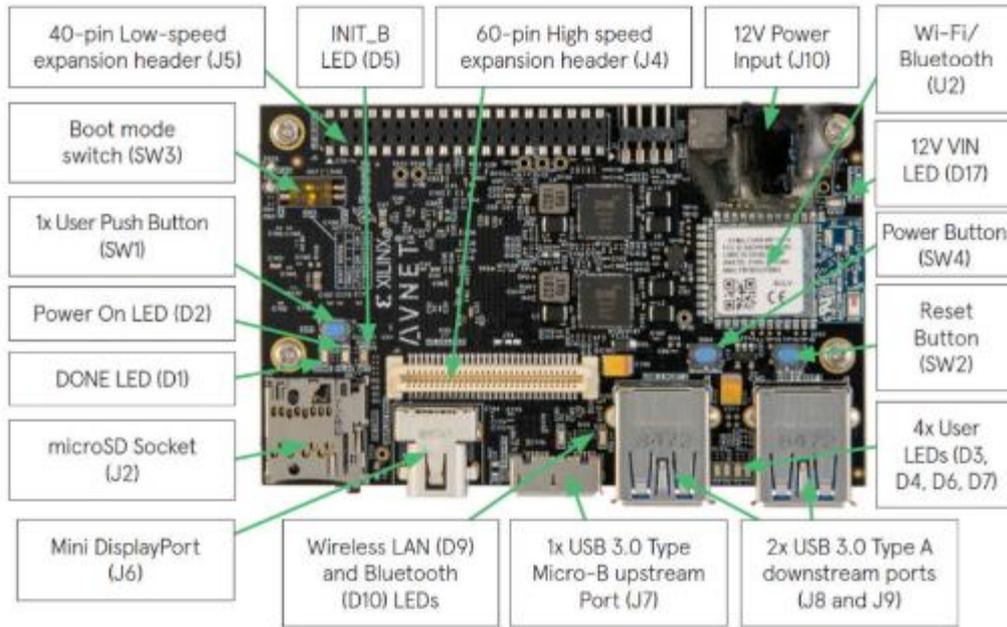


图 0-64 Ultra96 开发板各接口功能

首次使用开发板需要进行 SD 卡烧录，制作启动盘，这里集中于实现智能小车目标检测功能，故省略此过程。使用 4.0*1.7mm 接头连接电源，使用 SD 卡启动时，需要设置一下启动方式，之后按下电源开关 SW4 键，4 个用户 LED 灯亮起绿色时表示开发板成功启动。

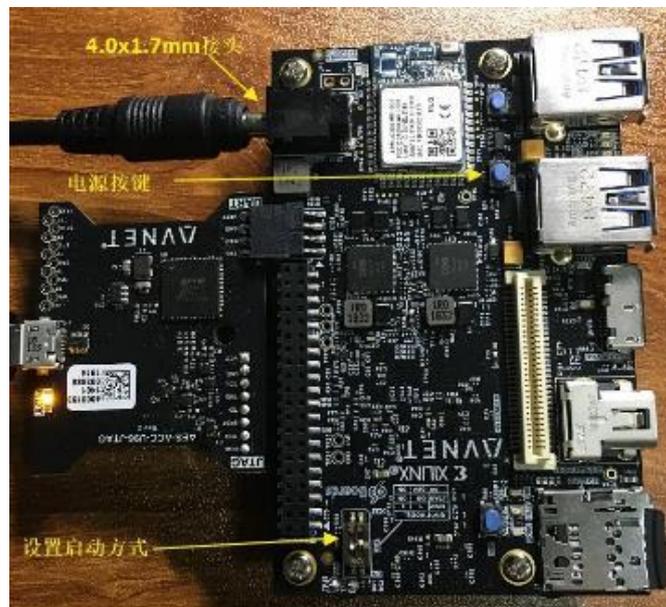


图 0-65 Ultra96 开发板启动方式

使用 USB 3.0 线连接电脑和开发板，很快 PC 就会识别 FPGA 板子（在 WIN10 的设备管理中可以看到虚拟串口 COM3，如图 3-7），然后就可以登录了。

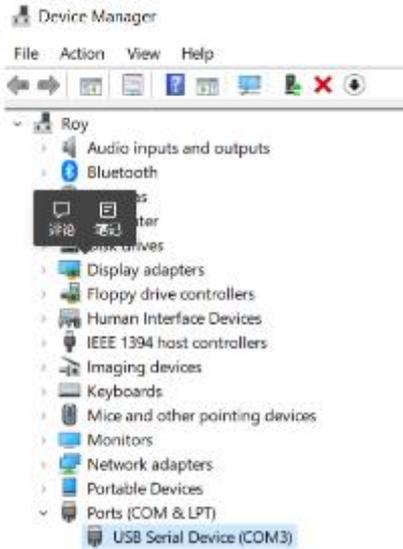


图 0-66 设备管理器接口图

在 PC 上打开浏览器，输入 192.168.3.1（密码是 xilinx），登录后就可以使用 jupyter notebook 进行编程了。



图 0-67 jupyter 浏览图

主板提供了一些示例程序，可以通过这些程序熟悉开发板的基础操作。

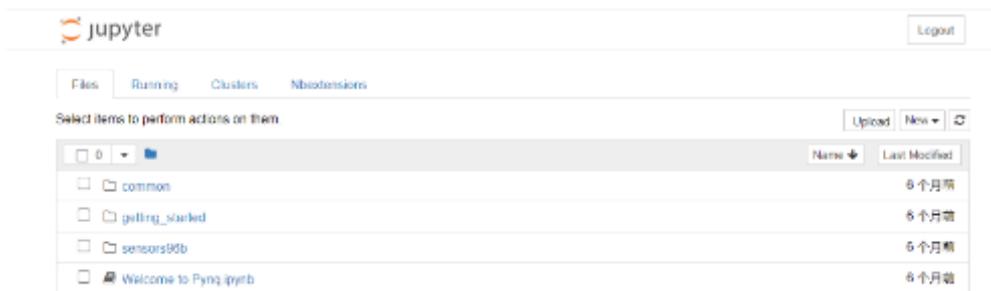


图 0-68 代码界面图

(2) 摄像头模块驱动

部分核心代码展示如下：

导入所需要的库，其中 Open CV 是最主要的，python 编程中大部分操作都是使用库函数来完成的，这也是 python 编程简洁的原因。

```
import cv2
import ipywidgets.widgets as widgets
import threading
import time
```

图 0-69 导入所需要的库

设置摄像头显示组件并显示：

```
image_widget = widgets.Image(format='jpeg', width=600, height=500)
display(image_widget)
```

图 0-70 设置摄像头显示组件

每次完成任务后都要记住释放对象，否则下一个程序使用这个对象模块会被占用，导致无法使用。摄像头完成驱动后我们就可以在屏幕上看见小车摄像头所捕捉到的内容了。



图 0-71 小车捕捉环境图

(3) 基础驱动介绍

在 jupyter notebook 可以通过编程实现小车的电机驱动。

示例小车使用的是 TB6612FNG 驱动芯片来驱动电机。通过控制驱动芯片的电平高低来控制电机的正转，反转，停止。本次实验主要是控制电平状态，进而在 0-255 之间控制小车的速度。

示例小车使用的是 TB6612FNG 驱动芯片来驱动电机。通过控制驱动芯片的电平高低来控制电机的正转，反转，停止。本次实验主要是控制电平状态，进而在 0-255 之间控制小车的速度。

部分代码展示：

表 0-5 小车基础控制代码展示

```
#小车电机引脚定义
IN1 = 23
```

```

        IN2 = 21
        IN3 = 12
        IN4 = 26
        ENA = 16
        ENB = 13

        #设置 GPIO 口为 BCM 编码方式
        GPIO.setmode(GPIO.BCM)
    
```

```

        #电机引脚初始化操作
        def motor_init():
            global pwm_ENA
            global pwm_ENB
            global delaytime
            GPIO.setup(ENA, GPIO.OUT, initial=GPIO.HIGH)
            GPIO.setup(IN1, GPIO.OUT, initial=GPIO.LOW)
            GPIO.setup(IN2, GPIO.OUT, initial=GPIO.LOW)
            #设置 pwm 引脚和频率为 2000hz
            pwm_ENA = GPIO.PWM(ENA, 2000)
            pwm_ENB = GPIO.PWM(ENB, 2000)
    
```

```

        #小车前进
        def run(delaytime):
            GPIO.output(IN1, GPIO.HIGH)
            GPIO.output(IN2, GPIO.LOW)
            pwm_ENB.ChangeDutyCycle(80)
            time.sleep(delaytime)

        #小车后退
        def back(delaytime):
            GPIO.output(IN1, GPIO.LOW)
            GPIO.output(IN4, GPIO.HIGH)
            pwm_ENA.ChangeDutyCycle(80)
            pwm_ENB.ChangeDutyCycle(80)
            time.sleep(delaytime)

        #小车左转
        def left(delaytime):
            GPIO.output(IN1, GPIO.LOW)
            GPIO.output(IN2, GPIO.LOW)
            GPIO.output(IN3, GPIO.HIGH)
            GPIO.output(IN4, GPIO.LOW)
            time.sleep(delaytime)

        #小车右转
        def right(delaytime):
            GPIO.output(IN1, GPIO.HIGH)
            GPIO.output(IN2, GPIO.LOW)
            GPIO.output(IN3, GPIO.LOW)
            pwm_ENB.ChangeDutyCycle(80)
            time.sleep(delaytime)

        #小车停止
        def brake(delaytime):
            GPIO.output(IN1, GPIO.LOW)
            GPIO.output(IN2, GPIO.LOW)
            pwm_ENB.ChangeDutyCycle(80)
            time.sleep(delaytime)
    
```

```

        try:
            motor_init()
    
```

```

while True:
    run(5)      #小车前进 5s
    brake(2)   #小车停止 2s
    back(5)    #小车后退 5s
    brake(2)   #小车停止 2s
    left(5)    #小车左转 5s
    brake(2)   #小车停止 2s
    right(5)   #小车右转 5s
except KeyboardInterrupt:
    pass

```

3. 颜色识别

(1) 基础理论

RGB 颜色空间是大家最熟悉的颜色空间，即三基色空间，任何一种颜色都可以由该三种颜色混合而成。然而一般对颜色空间的图像进行有效处理都是在 HSV 空间进行的，HSV (色调 Hue, 饱和度 Saturation, 亮度 Value) 是根据颜色的直观特性创建的一种颜色空间, 也称六角锥体模型。

为什么会选择 HSV 空间而不是 RGB 空间?对于图像而言，识别相应的颜色在 RGB 空间、HSV 空间或者其它颜色空间都是可行的。之所以选择 HSV，是因为 H 代表的色调基本上可以确定某种颜色，再结合饱和度和亮度信息判断大于某一个阈值。而 RGB 由三个分量构成，需要判断每种分量的贡献比例。即 HSV 空间的识别的范围更广，更方便。

在 OpenCV 中有超过 150 种的颜色空间转换的方法，但是我们经常会用到的也就只有两种，即 BGR→Gray 和 BGR→HSV。注意 Gray 和 HSV 不可以互相转换。颜色空间转换:cv2.cvtColor(input_image, flag)

BGR→Gray:flag 就是 cv2.COLOR_BGR2GRAY

BGR→HSV:flag 就是 cv2.COLOR_BGR2HSV

OpenCV 中 HSV 颜色空间的取值范围:

H[0, 179]S[0, 255]V[0, 255]

(2) 核心代码

表 0-6 颜色识别核心代码

```

#bgr8 转 jpeg 格式
import enum
import cv2

def bgr8_to_jpeg(value, quality=75):
    return bytes(cv2.imencode('.jpg', value)[1])

# 线程功能操作库

```

```

import threading

import inspect

import ctypes

origin_widget = widgets.Image(format='jpeg', width=320, height=240)
mask_widget = widgets.Image(format='jpeg',width=320, height=240)
result_widget = widgets.Image(format='jpeg',width=320, height=240)

cap = cv2.VideoCapture(0)
cap.set(cv2.CAP_PROP_FOURCC, cv2.VideoWriter_fourcc('M', 'J', 'P', 'G'))

#默认选择红色的，想识别其他请注释下面红色区间代码，放开后面其他区间代码段
# 红色区间
color_lower = np.array([0, 43, 46])
color_upper = np.array([10, 255, 255])

# #绿色区间
# color_lower = np.array([35, 43, 46])
# color_upper = np.array([77, 255, 255])

# #蓝色区间
# color_lower=np.array([100, 43, 46])
# color_upper = np.array([124, 255, 255])

# #黄色区间
# color_lower = np.array([26, 43, 46])
# color_upper = np.array([34, 255, 255])

def Color_Recongize():

    while(1):
# get a frame and show 获取视频帧并转成 HSV 格式，利用 cvtColor() 将 BGR 格式转成 HSV 格式，参数为 cv2.COLOR_BGR2HSV。
        ret, frame = cap.read()
        #cv2.imshow('Capture', frame)
        origin_widget.value = bgr8_to_jpeg(frame)

        # change to hsv model
        hsv = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2HSV)

```

```

# get mask 利用 inRange() 函数和 HSV 模型中蓝色范围的上下界获取 mask，mask 中原视频中的蓝色部分会被弄成白色，其他部分黑色。
mask = cv2.inRange(hsv, color_lower, color_upper)
cv2.imshow('Mask', mask)
mask_widget.value = bgr8_to_jpeg(mask)

cap.release()
cv2.destroyAllWindows()

#启动进程
thread1 = threading.Thread(target=Color_Recongnize)
thread1.setDaemon(True)
thread1.start()

```



图 0-72 红色物体识别结果展示

4. 物体识别

(1) 核心代码

导入算法模型，这里使用 mobilenet v2 作为主干网络，ssdlite 作为头部网络，使用 coco 数据集训练完成的。

```

MODEL_NAME = 'ssdlite_mobilenet_v2_coco_2018_05_09' #fast
PATH_TO_CKPT = MODEL_NAME + '/frozen_inference_graph.pb'
PATH_TO_LABELS = os.path.join('data', 'mscoco_label_map.pbtxt')
NUM_CLASSES = 90
IMAGE_SIZE = (12, 8)
fileAlreadyExists = os.path.isfile(PATH_TO_CKPT)

if not fileAlreadyExists:
    print('Model does not exist !')
    exit

```

图 0-73 导入算法模型

判断物体类别以及区域画框，物体位置确定。

```

image_np_expanded = np.expand_dims(frame, axis=0)
image_tensor = detection_graph.get_tensor_by_name('image_tensor:0')
detection_boxes = detection_graph.get_tensor_by_name('detection_boxes:0')
detection_scores = detection_graph.get_tensor_by_name('detection_scores:0')
detection_classes = detection_graph.get_tensor_by_name('detection_classes:0')
num_detections = detection_graph.get_tensor_by_name('num_detections:0')

print('Running detection..')
(boxes, scores, classes, num) = sess.run(
    [detection_boxes, detection_scores, detection_classes, num_detections],
    feed_dict={image_tensor: image_np_expanded})

print('Done. Visualizing..')
vis_utils.visualize_boxes_and_labels_on_image_array(
    frame,
    np.squeeze(boxes),
    np.squeeze(classes).astype(np.int32),
    np.squeeze(scores),
    category_index,
    use_normalized_coordinates=True,
    line_thickness=8)

for i in range(0, 10):
    if scores[0][i] >= 0.5:
        print(category_index[int(classes[0][i])]['name'])

```

图 0-74 判断物体类别及区域

(2) 结果展示



图 0-75 物体识别成果展示图

5. 人脸识别

人脸识别的最基础任务是“人脸检测”。你必须首先“捕捉”人脸才能在未来与捕捉到的新人脸对比时识别它，我们这里只提供了人脸检测的方法，有兴趣的同学可以自建分类器和自己的人脸数据集来进行名字识别。最常见的人脸检测方式是使用“Haar 级联分类器”。使用基于 Haar 特征的级联分类器的目标检测是 Paul Viola 和 Michael Jones 2001 年在论文中提出的一种高效目标检测方法。这种机器学习方法基于大量正面、负面图像训练级联函

数，然后用于检测其他图像中的对象。这里，我们将用它进行人脸识别。最初，该算法需要大量正类图像（人脸图像）和负类图像（不带人脸的图像）来训练分类器。然后我们需要从中提取特征。好消息是 OpenCV 具备训练器和检测器。

如果你想要训练自己的对象分类器，如汽车、飞机等，你可以使用 OpenCV 创建一个。这里我们使用的是预训练分类器，在 OpenCV 中，静态图像和实时视频对人脸的检测有类似的操作，通俗来讲，视频人脸检测只是从摄像头读出每一帧的图像，然后再用静态图像的检测方法进行检测。

OpenCV 中检测的 API 函数：

```
detectMultiScale (const Mat& image, vector& objects, double scaleFactor=1.1,  
int minNeighbors, int flag, cvSize)
```

--image: 为输入的灰度图像

--objects: 为得到被检测物体的矩形框向量组

--scaleFactor: 为每一个图像尺度中的尺度参数，默认值为 1.1。scale_factor 参数可以决定两个不同大小的窗口扫描之间有多大的跳跃，这个参数设置的大，则意味着计算会变快，但如果窗口错过了某个大小的人脸，则可能丢失物体。

--minNeighbors: 参数为每一个级联矩形应该保留的邻近个数，默认为 3。minNeighbors 控制着误检测，默认值为 3 表明至少有 3 次重叠检测，我们才认为人脸确实存在。

--minSize: 为目标的最小尺寸

--maxSize: 为目标的最大尺寸

(1) 核心代码

绿色框线圈出眼睛和嘴巴，蓝色框线圈出整张面部

```
face_haar = cv2.CascadeClassifier("haarcascade_frontalface_default.xml")  
  
faces = face_haar.detectMultiScale(gray_img, 1.1, 3)  
for face_x,face_y,face_w,face_h in faces:  
    cv2.rectangle(frame, (face_x, face_y), (face_x+face_w, face_y+face_h), (0,255,0), 2)  
  
eyes = eye_haar.detectMultiScale(gray_img, 1.1, 3)  
for eye_x,eye_y,eye_w,eye_h in eyes:  
    cv2.rectangle(frame, (eye_x,eye_y), (eye_x+eye_w, eye_y+eye_h), (255,0,0), 2)  
  
image_widget.value = bgr8_to_jpeg(frame)  
time.sleep(0.010)
```

图 0-76 使用不同颜色的框线圈圈出边界框

(2) 结果展示

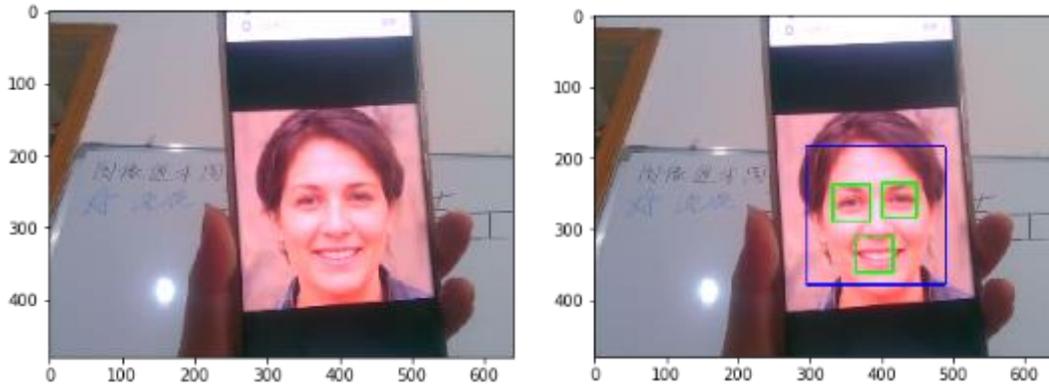


图 0-77 人脸识别结果展示

第二节 智能小车目标跟踪算法实践

目标跟踪算法主要探索如何在连续的视频图像序列中确定目标的坐标、大小、运动速度、方向、轨迹等信息，得到场景中的目标位置以及目标在一段时间内的持续状态。基于目标跟踪算法，可以对运动目标行为的分析和理解，完成更高级的任务。本文以前导车作为目标，使智能小车可通过对于目标的跟踪得到前导车运行路径，并控制自身沿前导车的路径跟随行驶。其整体结构框图如下：

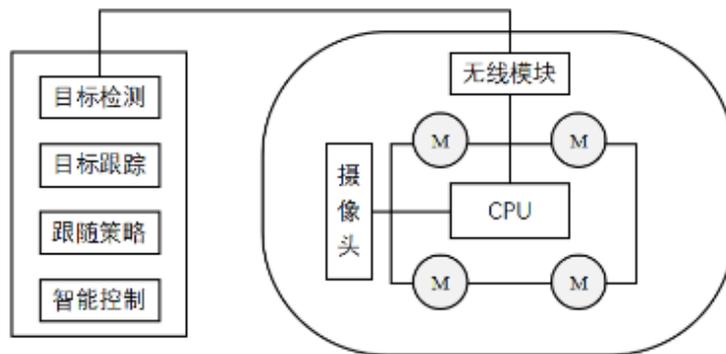


图 0-78 智能车目标跟随系统框图

1. 前导车信息

本文所选取的前导车为 PYNQ-Z2 智能小车套件，这是一款面向初学者的 PYNQ 套件。它包括一块 Xilinx PYNQ-Z2 FPGA 开发板、DFRobot 提供的基本传感器和一个移动机器人平台，如图 3-20 所示。下文将以 PYNQ-Z2 智能小车作为目标，通过 YOLO+DeepSORT 算法完成该目标的探测和跟踪。

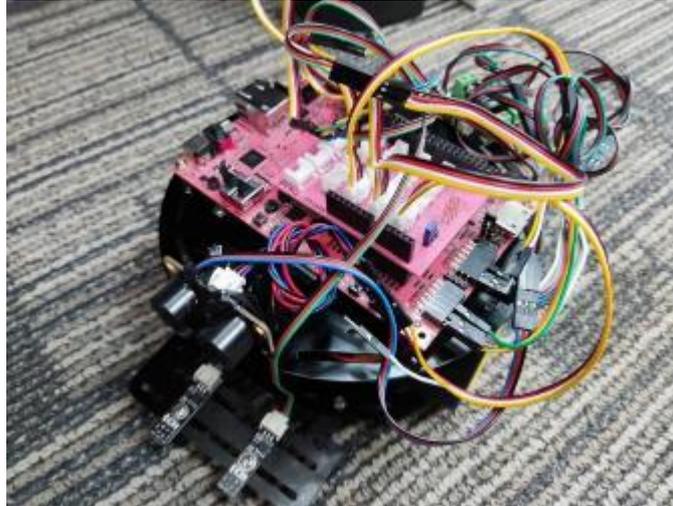


图 0-79 PYNQ-Z2 前导车

2. 算法模型训练

为了使智能小车能够检测到目标车辆，首先需要制作目标车的数据集，然后通过算法训练检测到目标。由于目标跟踪所需的输入是视频流或者连续的图像序列，故本次制作数据集时采用视频录制的方式。在录制时注意应涵盖不同角度、不同环境、不同的运动状态等情况。

目标车的视频录制片段如下图所示：

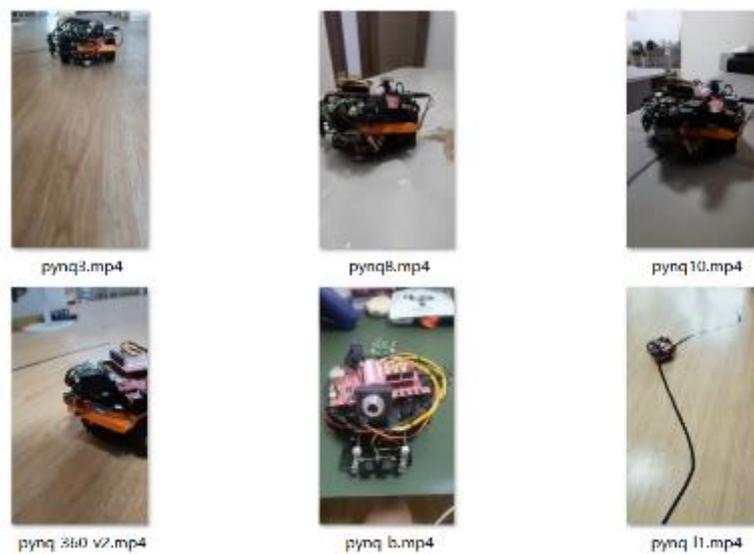


图 0-80 PYNQ-Z2 前导车视频流

通过 CV2 库的相关函数，从视频中每隔一定频率提取一张图像，得到原始图像集。为了避免过拟合，通过数据增强技术对图像进行空间变换、像素变换。主要包括：放缩、旋转、明亮度变换、像素平衡、添加噪声等。下图所示依次为：原始图像、高斯模糊、椒盐噪声处理后所得到的图像。

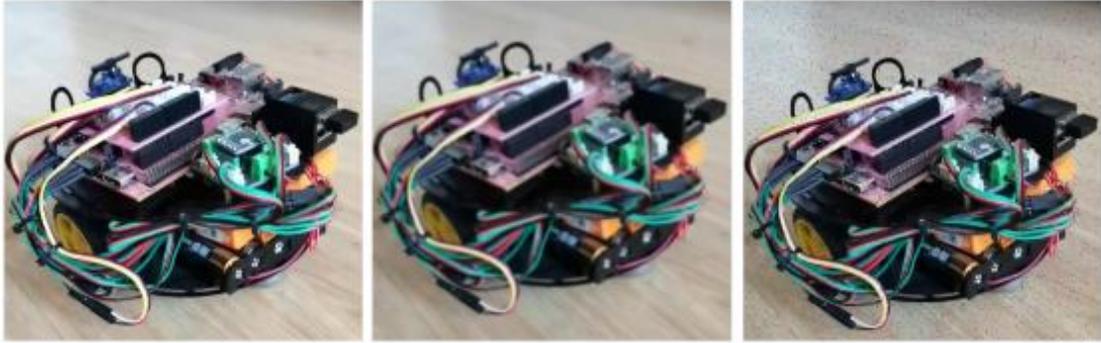


图 0-81 图像增强

对数据增强处理后的数据集，使用 labeling 对图像进行标注，格式选择 PascalVOC，标注时将目标车类型定义为“minicar”。

图像标注完成后，保存后生成的 Annotations 文件如下图所示：

```
pynq3-15.xml 记事本
文件 编辑 查看

<annotation>
  <folder>images</folder>
  <filename>pynq3-15.jpg</filename>
  <path>D:\pythonProject\yolov5-master\VOCData\images\pynq3-15.jpg</path>
  <source>
    <database>Unknown</database>
  </source>
  <size>
    <width>544</width>
    <height>960</height>
    <depth>3</depth>
  </size>
  <segmented>0</segmented>
  <object>
    <name>minicar</name>
    <pose>Unspecified</pose>
    <truncated>1</truncated>
    <difficult>0</difficult>
    <bndbox>
      <xmin>2</xmin>
      <xmin>162</xmin>
```

图 0-82 图像标注文件

将所得到的数据集划分为：训练集、验证集、测试集。本次训练选择的比例为：80%、10%、10%。

然后进行训练前的配置：

采用自动获取 anchors 方式，训练时自动调用；

选择轻量版本 Yolov5s. yaml 配置文件；

根据电脑配置选择适用的设备参数；

设置训练轮次，本次训练设置 Epoch=100。

配置完成后，即可开始训练。训练过程中或者训练完成后可以通过控制台或 tensorboard 查看训练日志和可视化效果。

```

Epoch   GPU mem  box_loss  obj_loss  cls_loss  Instances  Size
99/99   0.998  0.808112  8.82523    E         14         64B: 100% | 187/187 08:29
      Class  Images  Instances  P         R         mAP50  mAP50-95: 100% | 6/6 08:00
      all    48      48        0.999     1         0.995  0.947

100 epochs completed in 1.209 hours.
Optimizer stripped from runs/train/exp10/weights\last.pt, 14.4MB
Optimizer stripped from runs/train/exp10/weights\best.pt, 14.4MB

Validating runs/train/exp10/weights\best.pt..
Fusing layers...
YOLOv5s summary: 157 layers, 7612822 parameters, 0 gradients, 15.8 GFLOPs
      Class  Images  Instances  P         R         mAP50  mAP50-95: 100% | 6/6 08:01
      all    48      48        0.999     1         0.999  0.959

```

图 0-83 训练日志

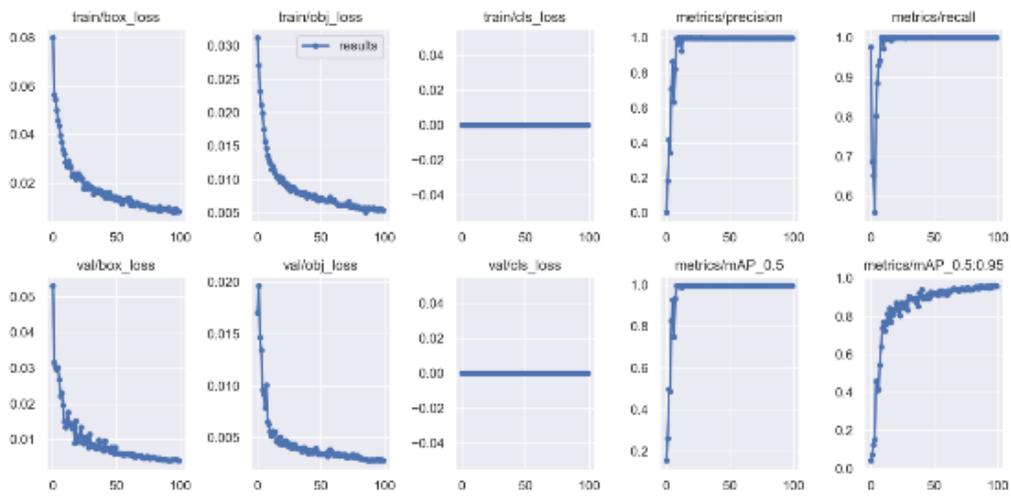


图 0-84 可视化结果

训练结束后，在工程目录 run/train/exp/weights 下会产生两个权重文件，一个为最后一轮的权重文件，一个为最好的权重文件。我们使用训练效果最好的权重文件传入到 Detect 函数中，选择图像进行测试，测试结果如下图所示。可以看出，车辆在不同情况下的探测成功率比较高，在部分遮挡时仍可识别。

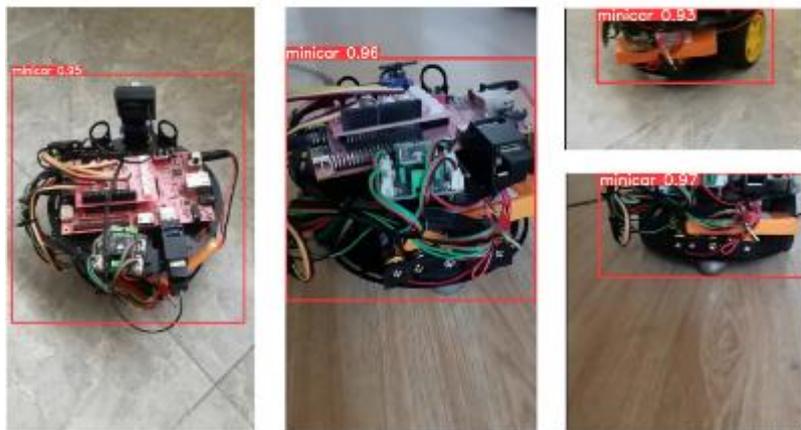


图 0-85 前导车探测试验

DeepSORT 通过将探测到的智能小车目标进行关联匹配从而实现跟踪，输入 PYNQ-Z2 智能小车巡线行驶的视频后，通过运行 YOLO+DeepSORT 算法后，跟踪结果如下：

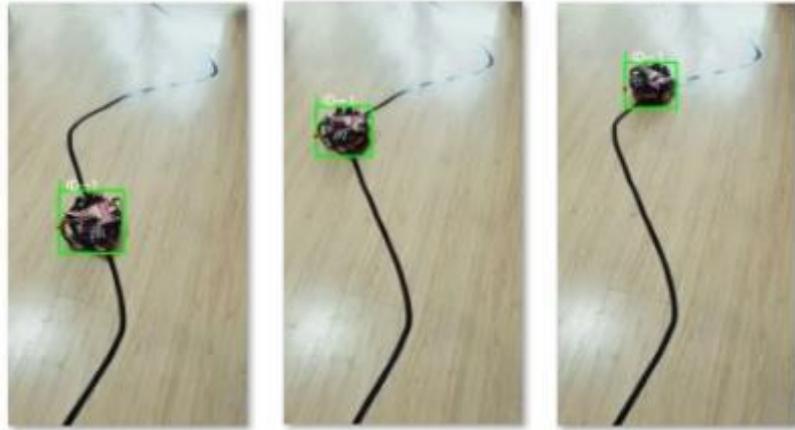


图 0-86 前导车跟踪结果

3. 跟随车信息

本文所选取的跟随车为树莓派小车。智能小车由三大部分组成：主控部分、感知部分、执行部分。

(1) 主控部分：由树莓派完成，负责感知系统信息的采集与分析，并根据分析结果控制小车的运行方向；



图 0-87 跟随车-树莓派主板

(2) 感知部分：由摄像头+云台等组成，完成前导车运行轨迹的识别以及障碍物的探测。

(3) 执行部分：由直流电机和车轮来完成，控制小车的运行方向和速度。智能小车的供电系统是电池，电压表可以实时监测电池的电压状态。

4. 获取前导车视频流

程序均运行在 JupyterLab 中，这里说明所需用到的各种图像显示组件。

(1) 导入库：`import ipywidgets.widgets as widgets`

(2) 设置 Image 组件：`image_widget = widgets.Image(format='jpeg', width=600,`

height=500)

(3) 显示 Image 组件: `display(image_widget)`

(4) 打开摄像头并读取图像:

`image=cv2.VideoCapture(0)#打开摄像头`

`ret,frame=image.read()#读取摄像头数据`

(5) 赋值给组件

`#转化图像为 jpeg 并赋值给视频显示组件 image_widget.value=bgr8_to_jpeg(frame)`

```
[1]
import cv2
import ipywidgets.widgets as widgets
import threading
import time

image_widget = widgets.Image(format='jpeg', width=600, height=500) #使用opencv库的cv2库
display(image_widget)

Image(value=b'', format='jpeg', height='500', width='600')

[2]
@bgr8_to_jpeg@CCT
import sys
import cv2

def bgr8_to_jpeg(value, quality=75):
    return bytes(cv2.imencode('.jpg', value)[1])
```

图 0-88 驱动摄像头获取视频流代码 (部分)

其运行结果如下图所示:



图 0-89 摄像头视频流图像帧

5. 跟随车智能控制

(1) 控制原理

本文通过驱动树莓派小车的电机实现车辆控制。对于树莓派小车采用了 4 个 TT 直流减速电机, 它们由 TB6612 芯片来驱动。驱动芯片并非直接连接到树莓派引脚, 而是树莓派通

过 IIC 与 STM8 单片机通讯，由 STM8 单片机驱动 TB6612 芯片，从而驱动电机。

(2) 编码方式

STM8 与树莓派通讯采用的是树莓派主板上的 SDA. 1, SCL. 1。

此处采用的是 BOARD 编码方式。用于驱动电机的代码示意如下：

```
def Control_Car(self, speed1, speed2):
    try:
        if speed1 < 0:
            dir1 = 0
        else:
            dir1 = 1
        if speed2 < 0:
            dir2 = 0
        else:
            dir2 = 1

        self.Ctrl_Car(dir1, int(math.fabs(speed1)), dir2, int(math.fabs(speed2)))
    except:
        print ('Ctrl_Car I2C error')
```

图 0-90 驱动电机代码（部分）

(3) 控制实验

控制小车以 150 的速度前进两秒(速度取值范围是 0~255)

```
car.Car_Run(150, 150)
time.sleep(2)
car.Car_Stop()
```

注:控制小车固定车速前进代码

图 0-91 小车前进代码

控制小车以 150 的速度右转两秒(速度取值范围是 0~255)

```
car.Car_Right(150, 0)
time.sleep(2)
car.Car_Stop()
```

注:控制小车固定车速右转代码

图 0-92 小车右转代码

控制小车以 150 的速度右旋两秒(速度取值范围是 0~255)

```
car.Car_Spin_Right(150, 150)
time.sleep(2)
car.Car_Stop()
```

注:控制小车固定车速右旋代码

图 0-93 小车右旋代码

小车停止

```
car.Car_Stop()
```

图 0-94 小车停止代码

使用后需要释放 car 对象，否则当下一个程序需要使用该对象模块时，它将会因为被占用而导致无法使用。我们可进入 Jupyter lab 界面点击如下图选中对应的程序，点击三角图标运行程序，旁边的方形图标则停止程序。



图 0-95 运行程序

程序运行之后，我们可以看到小车完整相应的运动。

(4) 跟随策略设计

以前导车的运行轨迹为输入，设置智能车的跟随路径，使其以给定的速度沿该路径行驶。其跟随策略流程图如下：

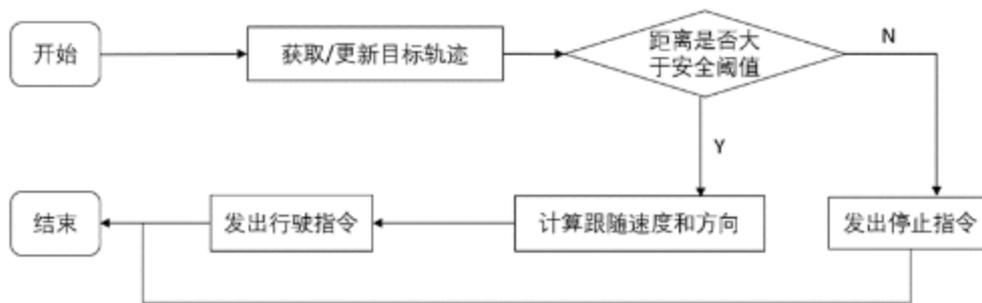


图 0-96 跟随策略流程图

(5) 跟随行驶

跟随行驶是依据识别前导车在图像中呈现的大小和位置进行判断的，获取到前导车的坐标后，将中心点作为车身左右运动的输入，然后根据识别的前导车的长和宽的外切圆大小进行前进速度的控制，通过二者叠加来整体控制小车电机运动。

第三节 本研究技术发展展望

无人驾驶技术是未来交通出行的重要方向之一，它将会为人们的出行带来更多的便利和安全保障。以下是无人驾驶未来的一些展望：

(1) 更加普及：随着技术的不断发展和进步，无人驾驶技术将会逐渐普及到更多的汽车和交通工具中，从私家车、出租车、公交车到货运车等，无人驾驶技术将会渗透到各个领域，提升出行的便利性和效率性。

(2) 更加安全：无人驾驶技术可以减少人为操作的误判和误操作，从而降低交通事故的发生率。通过感知周围环境、规划路径和执行行动等功能，无人驾驶技术可以实现精准的驾驶操作，从而提高交通出行的安全性。

(3) 更加环保：无人驾驶技术可以通过智能的驾驶模式实现更加高效的驾驶，包括更加准确的加减速和行驶路线规划，从而减少燃油的消耗和排放，降低环境污染。

(4) 更加舒适：无人驾驶技术可以让驾驶员和乘客从繁琐的驾驶操作中解放出来，享受更加舒适的出行体验。在无人驾驶模式下，驾驶员和乘客可以进行休息、工作或娱乐等活动，从而更好地利用时间。

(5) 更加智能化：随着技术的不断发展和进步，无人驾驶技术将会变得更加智能化和智能化。例如，基于物联网和云计算等技术，无人驾驶车辆可以实现实时的数据共享和交互，从而更加智能化地理解和适应周围环境。

(6) 更加社会化：无人驾驶技术将会改变人们的出行方式，促进社会的共享和协作。例如，无人驾驶出租车可以为出租车行业带来更加高效的服务模式，促进出租车的普及和使用。此外，无人驾驶技术还可以促进交通出行和城市规划的更加协调和可持续发展。

总的来说，无人驾驶技术的未来展望十分广阔和美好，将会对未来的交通出行的便利性和用户的生命健康，带来极大的进步。

1. 巡迹跟随技术展望

(1) 多模态技术

传统的智能小车使用单一的光传感器（摄像头）对周围实地场景进行观察分析并做出行驶决策，在硬件发展到了今天，其他种类的传感器，对于智能驾驶功能的研发，可以其他强大的辅助作用，提升了无人驾驶的安全性。传感器会在以下几个方面与智能小车进行高度融合。

传感器多样化：未来智能驾驶车辆可能会增加更多的传感器，如激光雷达、红外传感器等，以获取更加全面和准确的环境信息。

传感器融合处理：将来智能驾驶车辆将更加注重多模态传感器数据的融合处理，通过深度学习、强化学习等技术，实现传感器数据的优化融合和决策。

多模态决策：未来智能驾驶车辆将采用更加先进的多模态决策算法，将传感器数据融合后进行智能分析和决策，以实现更加准确和高效的驾驶，传统的视频识别技术，采用三维图像卷积运算，来识别摄像头中的事物，使用多模态传感器并行识别路面信息，可以补充摄像

头无法识别的死角，使用除视频外其他层的数据，从而将原有的三维数据扩展为四位数据，提高对路面信息的识别精度，进而提升安全性。

车联网和云端技术：未来智能驾驶车辆将与云端平台和其他车辆进行通信，实现信息共享和车辆协同，从而提高驾驶的安全性和效率。

（2）车辆跟随技术

车辆跟随技术，当前实现方式以视频实时画面分析为主要方式，雷达传感器数据为辅助。当前应用于车辆行驶的主要的算法逻辑，仅仅是基于前车距离与车辆运行时的速度进行给出刹车油门的策略推荐。目前的跟随算法存在以下缺陷。

首先需要平衡安全距离与速度的关系，厂商为了保证安全性，通过牺牲速度的方式。使得限速 120KM/H 的高速公路，使用无人驾驶功能，只能限制在 100KM/H。如果未来的算法能够提升车辆协同，在车辆协同的基础上进一步提升跟随能力，这里就依赖车辆间通信技术的升级了。

具体来说，未来车辆跟随技术将在以下方面得到进一步发展。

增强车辆之间的通信能力。车辆之间的通信将变得更加可靠、快速和安全，以确保车辆之间的信息交换更加准确和及时。这将使车辆更加适应高速公路等路况复杂的场景。

引入更多传感器，提高车辆感知能力。未来车辆将配备更多的传感器，包括激光雷达、摄像头、毫米波雷达等，以提高车辆的感知能力，从而更好地适应多变的路况。

改进决策算法，车辆跟随技术将采用更加先进的决策算法，能够更好地适应不同的交通场景，实现更加灵活的跟随方式。

优化控制系统，提高跟随精度和安全性。未来车辆控制系统将更加精准地控制车辆的跟随速度和距离，并且能够更好地识别道路上的障碍物和其他车辆，提高跟随的安全性和精度。

2. 硬件技术展望

无人驾驶技术的硬件发展是实现无人驾驶的关键之一。在未来，无人驾驶的硬件将会发生一系列的变革和进步。

传感器技术：无人驾驶汽车需要依靠高精度的传感器来获取周围环境信息，包括雷达、激光雷达、摄像头和超声波等传感器。未来，传感器技术将会进一步提升精度和可靠性，包括增强对复杂天气和路面状况的适应性和准确性。

通信技术：无人驾驶汽车需要通过通信技术和外部环境进行数据共享和交互，包括车联网、5G 和卫星导航等技术。未来，通信技术将会进一步提升数据传输速度和稳定性，从而更

好地支持无人驾驶车辆的实时感知和决策。

处理器技术：无人驾驶汽车需要高效的处理器来实现数据的快速处理和计算，包括嵌入式处理器、GPU 和 FPGA 等技术。未来，处理器技术将会进一步提升计算能力和能效比，从而更好地支持无人驾驶车辆的复杂决策和控制。

软件算法：无人驾驶汽车需要依靠复杂的软件算法来实现感知、决策和控制，包括计算机视觉、机器学习和路径规划等技术。未来，软件算法将会进一步提升精度和鲁棒性，从而更好地支持无人驾驶车辆在复杂环境下的驾驶操作。

电池技术：无人驾驶汽车需要高能量密度和高安全性的电池来支持电动化驱动和无人驾驶系统的供电。未来，电池技术将会进一步提升能量密度和安全性，从而更好地支持无人驾驶汽车的电动化和可持续发展。

(1) 传感器技术展望

无人驾驶技术的核心是传感器技术，因为它们负责收集车辆周围环境的信息并将其转换为数字信号以便处理。未来几年内，我们可以预计无人驾驶传感器技术将继续快速发展，以提高车辆的安全性和性能。

无人驾驶传感器技术未来可能会在以下方面进行进一步发展。

多模式传感器，无人驾驶汽车需要获取多种类型的传感器数据，例如雷达、激光雷达、摄像头和超声波传感器。未来的传感器系统将集成多个传感器，以提高精度和可靠性，同时降低成本和复杂性。

更高的分辨率和带宽，传感器将具有更高的分辨率和带宽，以提高对环境的理解和反应速度。这将为无人驾驶汽车提供更准确、实时的数据，从而提高驾驶员的安全性和性能。

增强现实，通过增强现实技术，传感器将能够实时显示车辆周围的信息，以帮助驾驶员更好地理解路况和环境。这将提高无人驾驶汽车的交互性和可靠性。

云端处理，将传感器数据上传到云端进行分析和处理，可以提高无人驾驶汽车的感知和反应速度。这将使无人驾驶汽车能够更好地预测和应对交通状况，并提高其安全性和性能。

智能传感器，未来的传感器将配备人工智能技术，可以通过学习来适应环境和路况，并提高无人驾驶汽车的性能和安全性。

无人驾驶传感器技术的未来发展将使无人驾驶汽车更加智能、高效和安全。这将使我们在未来的道路上更加安全、舒适和放心。

(2) 处理器技术发展

无人驾驶处理器技术是实现无人驾驶的重要基础之一。目前，无人驾驶处理器技术已经

取得了长足的发展，但仍然存在一些挑战和机遇。

未来，无人驾驶处理器技术发展的主要趋势包括，更高的处理性能，随着无人驾驶技术的不断进步，处理器需要更高的性能来支持更复杂的任务，如高精度定位、环境感知、智能决策等。因此，未来的无人驾驶处理器将会不断提高性能。更低的功耗，无人驾驶处理器需要长时间连续工作，因此需要低功耗的设计。

未来，无人驾驶处理器将会更加注重功耗的控制，以提高能效和续航能力。更高的可靠性，无人驾驶处理器需要满足高可靠性的要求，因为一旦出现故障可能会造成严重后果。未来，无人驾驶处理器将会更加注重可靠性的设计和测试，以确保安全性和稳定性。更好的智能化，无人驾驶处理器需要具备一定的智能化能力，以支持环境感知、决策等复杂任务。

未来，无人驾驶处理器将会更加注重智能化能力的提高，以实现更加高效的无人驾驶。更加标准化，目前无人驾驶处理器市场竞争激烈，但不同处理器厂商的产品性能、接口和软件架构等存在差异，导致无人驾驶系统集成和开发的难度较大。未来，无人驾驶处理器将会更加趋向标准化，以提高无人驾驶系统的可靠性和互操作性。

(3) FPGA 未来展望

FPGA (Field Programmable Gate Array, 现场可编程门阵列) 是一种硬件电路可编程的器件。在无人驾驶领域，FPGA 主要应用在车载计算机和无人驾驶处理器中。

FPGA 在无人驾驶领域的主要优势是其高性能和低延迟。由于 FPGA 是专门设计用于执行硬件加速器，因此它们可以提供比通用处理器更高的性能和效率。在无人驾驶系统中，FPGA 可以用于加速各种任务，如传感器数据的预处理、图像识别、物体检测和跟踪等。同时，FPGA 还可以支持高速数据流和低延迟响应，使无人驾驶系统能够更快地做出决策和响应。

另外，FPGA 还具有可编程性的优势，使得开发人员可以根据特定的需求和算法，对 FPGA 进行编程和优化，从而实现高效的无人驾驶系统设计。

FPGA 在无人驾驶领域有着广泛的应用前景和发展空间，其高性能和低延迟的特点使其成为实现高效无人驾驶系统的重要工具之一。

3. 车路协同展望

无人驾驶车辆的通信技术是保证车辆之间通信，以及与基础设施、云端等其他方面进行通信的关键。未来几年，无人驾驶通信技术将继续发展，以提高车辆之间和车辆与其他方面之间的通信效率和安全性。

以下是无人驾驶通信技术未来的一些发展展望。5G 技术，5G 技术将提供更高的带宽和

更低的延迟，这将使车辆之间和车辆与基础设施之间的通信更加可靠和高效。5G 还将提供更好的覆盖范围，使无人驾驶汽车在更广阔的地区内通信。车辆到车辆（V2V）通信，V2V 通信使车辆能够共享自身状态和位置信息，从而提高车辆之间的协同性和交通安全性。V2V 通信还将使无人驾驶汽车更加高效地规划路线和避免拥堵。车辆到基础设施（V2I）通信，V2I 通信将使车辆与基础设施（例如交通信号灯和道路监控系统）之间进行通信，以获得更精确和实时的道路信息。这将提高无人驾驶汽车的精准度和反应速度。云端通信，通过将车辆和基础设施的数据上传到云端进行处理和分析，可以提高无人驾驶汽车的感知和决策能力。这将使无人驾驶汽车能够更好地预测和应对交通状况，并提高其安全性和性能。安全性，未来的无人驾驶通信技术将加强安全性，包括使用更加安全的通信协议、进行身份验证和防止网络攻击等措施。这将确保无人驾驶汽车之间和车辆与其他方面之间的通信是安全和可靠的。

无人驾驶通信技术的未来发展将使无人驾驶汽车更加高效、安全和可靠。这将为未来的交通带来更多的便利和安全性。

第四章 无人驾驶技术科普化实现路径

第一节 校园科普调研

无人驾驶汽车，又称智能汽车、自主汽车、无人驾驶汽车或轮式移动机器人，是一种通过计算机实现无人驾驶的智能汽车。

调查内容：中小学学生对智能小车的了解程度

调查地点：石家庄桥西区、长安区、新华区三各片区中的 5 所中小学

调查方式：实地调查、问卷调查

调查情况：虽然无人驾驶是近几年非常火爆的领域之一，但是对绝大数中小学生对他的原理比较陌生。

解决方法：举办智能小车进校园系列活动。

1. 活动目的

（1）科技越来越影响我们的生活，科技越来越改变着我们的生活，通过科普宣传，让广大师生越来越关注科技、关心科技、感受科技的迅猛发展。

（2）培养学生独立思考能力、综合学习能力、主动创作能力，培养学生热爱科学，重视科学的态度，激发他们对无人驾驶的热情，从而达到德智体美劳全面发展。

（3）让学生感受科技魅力，激发他们努力学习科学文化知识的兴趣。

(4) 通过科普宣传，增强学生的创新意识，为培养他们的实践能力营造氛围。

(5) 鼓励并引入更多学校教师产业人士等加入到人工智能科技创新思维科普推广中，从而增强区域范围或更大范围的科普实践。

2. 实施方案

(1) 在校园内悬挂智能小车进校园的宣传标语。

(2) 在综合楼一楼大厅播放智能小车科普知识宣传视频，邀请学校有关领导视察和指导工作。

(3) 举行科普智能小车的知识讲座，讲解智能小车的发展历史、基本原理、现状、应用场景等内容。

(4) 师生参观智能小车，引导师生代表操控智能小车，培养学生的动手操作能力，激发他们对智能小车的兴趣。

(5) 把智能小车作为一些人工智能比赛的赛项，发起小规模青少年人工智能比赛活动。

(6) 利用校园网，对上述活动进行文字和图片宣传、报道。

第二节 具体活动安排

(1) 活动名称

智能小车进校园

(2) 活动时间

课后服务时间或第二课堂

(3) 活动地点

室内理论讲解，室外演示教具。

(4) 活动对象

青少年、中小学在校生等。

1. 组织开展校园科普教育，科普宣传和科普成果展

各中小学要结合本校实际，组织开展丰富多彩的校园科普活动，举办校级科普知识竞赛活动及科技制作成果展览，激励广大师生参与科技创新实践，提高师生的动手能力和创新意识。

制作横幅标题，在校园内张贴智能小车的宣传标语，在教学楼内循环播放智能小车的宣

传视频。

科普知识讲座，走进课堂或者学校的大礼堂，为每个学段的学生讲解适合他们年纪段的无人驾驶知识，初步认识智能小车。

观看智能小车的相关视频，了解无人驾驶技术的台前幕后。

组织成果展览，了解无人驾驶最新的研究成果。

2. 组织青少年科学体验活动

组织中小學生参加科学体验活动，认识并使用智能小车的各个元件和超声波等。了解如何将程序写入硬件内，并解决各种问题。学会操控智能小车进行目标检测和避障等。

3. 组织科普知识竞赛活动

为在广大青少年中普及科学知识，提高中小學生科学素养，大力营造学科学，爱科学，用科学的良好氛围，由各个学校组织参加体验活动的学生进行科普知识竞赛，竞赛采取书面答题形式。

4. 组织智能小车的比赛活动

知识的获取，不仅来源于课本，更来源于生活实践。而组织科技实践活动是提升学生知识水平综合能力的有效途径。丰富多彩的科技活动对于学生科学素质的培养十分重要，而深受广大师生喜爱的智能小车比赛活动无疑是众多科技活动的一个亮点。智能小车比赛主要是为学生提供平台，让学生有机会参加科技交流活动，开阔视野，让学生在和平友好的氛围中展示他们的设计能力，和在科技方面的杰出才华和丰富的想象力创造力，激发他们对科技创新的兴趣，能够在智能小车的世界上不懈的探索与追求。在比赛中，队员们要通力合作，共同面对挑战，从而培养合作精神和沟通技巧。同时，比赛能够激发他们的潜能，挑战自身的极限，增强克服苦难的能力，培养成就感、自信心和创新精神。

（1）参赛形式

1) 参赛范围：我校在籍学生

2) 参赛学生组成竞赛代表队，自定领队一人，负责本队竞赛工作。参赛学生自愿组合，每一组至多 3 人。

3) 竞赛使用的小车模板及控制元件均不做限制。但不能外接电源，只能用电池供电。

4) 赛采用全开放的模式，学生可以使用各种图书资料和计算机，也可对赛车模型进行改进。

5) 竞赛分为电磁组、光电组、摄像头组三个组别。

(2) 评奖要求

1) 由专家组将竞赛评审情况报竞赛组委会。

2) 组委会根据各参赛报名及竞赛情况评选出:一等奖、二等奖、三等奖、优胜奖各若干名。

3) 学校为获奖一、二、三等奖及优胜奖的参赛队或获奖个人颁发奖励证书和奖。

第三节 成果展示

经过这几天的努力,学生们取得了优异的成绩,并大开脑洞,展开对无人驾驶的无限畅想。



图 0-97 竞赛智能小车



图 0-98 学生代码操控智能小车

一位老师这样评价道:对小学阶段的学生来说,新鲜事物更容易激起他们的兴趣爱好,这次的“无人驾驶进校园”科普活动能够让每一位学生内心种下一粒“科技梦”的种子,只

要开始“发芽”，学生们就会有所收获，通过这次活动培养了学生们独立思考能力、综合学习能力、主动创作能力，让每一位学生都了解科学、热爱科学、创造科学，从而达到德智体美劳全面发展。

该项活动鼓励并引入更多学校教师产业人士等加入到人工智能科技创新思维科普推广中，从而增强区域范围或更大范围的科普实践。

参考文献

- [1] HeLinjia, WangXuesong. Calibrating Car-Following Model on Urban Streets Using Naturalistic Driving Data[J]. Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, 2023, 149(4).
- [2] QinPinpin, LiHao, LiZiming, GuanWeilai, HeYuxin. ACNN-LSTM Car-Following Model Considering Generalization Ability [J]. Sensors, 2023, 23(2).
- [3] ZhangWei, WangZhiming. PCA-Pruner: Filter pruning by principal component analysis [J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2022, 43(4).
- [4] JGong, T Chen, Y Zhang. Complex lane detection based on dynamic constraint of the double threshold[J]. Multimedia Tools and Applications, 2021(2):1-19.
- [5] Redmon. J, Farhadi A. Yolov3: An incremental improvement[J]. arXiv preprint arXiv:1804.02767, 2018.
- [6] Redmon J, Parhadi A. YOLO9000: better, faster, stronger[C]. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2017:7263-7271.
- [7] Cai Z, Fan Q, Feris R S, et al. A Unified Multi-scale Deep Convolutional Neural Network for Fast Object Detection[J]. Springer International Publishing, 2016.
- [8] Ren S, He K, Girshick R, et al. Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks[C]. Advances in neural information processing systems. 2015:91-99.
- [9] Redmon J, Divvala S, Girshick R, et al. You only look once: Unified, real-

- time object detection[C] Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016, Las Vegas, 779-788.
- [10] Tian Y, Ping L, Wang X, et al. Deep Learning Strong Parts for Pedestrian Detection[C]//IEEE International Conference on Computer Vision. IEEE, 2016.
- [11] Girshick R. Fast r-cnn[C]. Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. 2015:1440-1448
- [12] Girshick R, Donahue J, Darrell T, et al. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation[C]. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2014:580-587.
- [13] Sermanet P, Lecun Y. Traffic sign recognition with multi-scale Convolutional Networks[C] International Joint Conference on Neural Networks. IEEE, 2011:2809-2813.
- [14] K Kluge, S Lakshmanan. A deformable-template approach to lane detection[C]//Proceedings of the Intelligent Vehicles'95. Symposium. IEEE, 1995:54-59.
- [15] 张新宇, 徐子贤, 闫冬梅等. 基于深度学习的 3D 目标检测算法综述[J/OL]. 控制工程: 1-10[2023-03-07].
- [16] 黄嘉健. 基于无监督学习的行人重识别算法[D]. 大连理工大学, 2022.
- [17] 吴宇航. 基于 FPGA 的人体行为识别算法加速与实现[D]. 南京信息工程大学, 2022.
- [18] 黄泽意. 无人驾驶车辆避撞算法研究[D]. 长安大学, 2022.
- [19] 李嘉欣. 基于多尺度卷积神经网络的小目标交通标示识别研究[D]. 辽宁工程技术大学, 2022.
- [20] 倪浩鹏. 基于深度学习的红外小目标检测关键算法研究[D]. 南京邮电大学, 2022.
- [21] 刘洵. 基于小目标检测的交通道路目标识别算法研究[D]. 西安邮电大学, 2022.
- [22] 贾世娜. 基于改进 YOLOv5 的小目标检测算法研究[D]. 南昌大学, 2022.
- [23] 石博文. 基于深度强化学习的拟人化无人驾驶行为决策研究[D]. 吉林大学, 2022.
- [24] 王强. 基于深度强化学习的无人驾驶控制决策研究[D]. 东北石油大学, 2022.
- [25] 石启飞. 基于深度学习方法的目标检测技术在无人驾驶汽车的应用研究[J]. 景德镇学院学报, 2022, 37(06):58-61.
- [26] 任柯燕, 谷美颖, 袁正谦等. 无人驾驶 3D 目标检测研究综述[J/OL]. 控制与决策: 1-

24[2023-03-07].

- [27] 刘子龙, 沈祥飞. 融合 Lite-HRNet 的 Yolov5 双模态无人驾驶小目标检测方法[J]. 汽车工程, 2022, 44(10):1511-1520+1536.
- [28] 刘丽伟, 侯德彪, 侯阿临, 梁超, 郑贺伟. 基于 SimAM-YOLOv4 的无人驾驶目标检测算法[J]. 长春工业大学学报, 2022, 43(03):244-250.
- [29] 茅智慧, 朱佳利, 吴鑫等. 基于 YOLO 的无人驾驶目标检测研究综述[J]. 计算机工程与应用, 2022, 58(15):68-77.
- [30] 李彦辰, 张小俊, 张明路等. 基于改进 Efficientdet 的无人驾驶场景目标检测[J]. 计算机工程与应用, 2022, 58(06):183-191.
- [31] 陆慧敏, 杨朔. 基于深度神经网络的无人驾驶场景三维目标检测算法[J]. 北京工业大学学报, 2022, 48(06):589-597.
- [32] 张凯祥, 朱明. 基于 YOLOv5 的多任务无人驾驶环境感知算法[J]. 计算机系统应用, 2022, 31(09):226-232.
- [33] 牛国臣, 王晓楠. 基于交叉注意力的多任务交通场景检测模型[J/OL]. 北京航空航天大学学报:1-12[2023-03-07].
- [34] 段续庭, 周宇康, 田大新等. 深度学习在无人驾驶领域应用综述[J]. 无人系统技术, 2021, 4(06):1-27.
- [35] 黎国溥, 陈升东, 王亮等. 基于改进 YOLOv5 的车辆端目标检测[J]. 计算机系统应用, 2022, 31(12):127-134. DOI:10.15888/j.cnki.csa.008758.
- [36] 邓小豪. 基于深度强化学习的车辆跟随决策算法研究[D]. 西南交通大学, 2021.
- [37] 詹康. 基于 FPGA 的低位宽量化卷积神经网络加速器的研究[D]. 北京工业大学, 2021.
- [38] 戚金凤, 罗国荣. 无人驾驶汽车车道目标及后座乘客检测识别研究[J]. 无锡商业职业技术学院学报, 2020, 20(06):108-112.
- [39] 张新钰, 邹镇洪, 李志伟等. 面向无人驾驶目标检测的深度多模态融合技术[J]. 智能系统学报, 2020, 15(04):758-771.
- [40] 叶语同, 李必军, 付黎明. 智能驾驶中点云目标快速检测与跟踪[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2019, 44(01):139-144+152.
- [41] 张贵英, 向函, 赵勇. 基于计算机视觉的无人驾驶算法研究综述[J]. 贵州师范学院学报, 2016, 32(06):14-19.
- [42] 万琴, 李智, 李伊康, 葛柱, 王耀南, 吴迪. 基于改进 YOLOX 的移动机器人目标跟随方法

- [J/OL]. 自动化学报: 1-15[2023-03-09].
- [43] 陈宏鑫, 张北, 王春香, 杨明. 基于自适应随动机构的机器人目标跟随[J]. 浙江大学学报(工学版), 2022, 56(06):1071-1078.
- [44] 张嘉辉, 赵威, 王子琛, 蒙志君. 基于检测和重识别的无人机行人跟踪算法[J/OL]. 北京航空航天大学学报:1-10[2023-03-09].
- [45] 迟勇欣. 联合检测重识别任务的集成式多目标跟踪算法研究[D]. 西安电子科技大学, 2021.
- [46] 林彬, 王华通, 封全喜. 基于双模型竞争机制的目标跟踪算法[J/OL]. 电子学报: 1-8[2023-03-09].
- [47] 刘庭圆, 段喜萍, 李浩溥. 基于 Res2NeXt 的无人机目标跟踪算法[J]. 长江信息通信, 2023, 36(01):46-49.
- [48] 余陆斌, 田联房, 杜启亮. 基于多分支注意力孪生网络的目标跟踪算法[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2022, 50(12):30-40.
- [49] 侯志强, 郭凡, 杨晓麟, 马素刚, 范九伦. 基于混合注意力的 Transformer 视觉目标跟踪算法[J/OL]. 控制与决策: 1-9[2023-03-09].
- [50] 汪强, 卢先领. 时空模板更新的 Transformer 目标跟踪算法[J/OL]. 计算机科学与探索: 1-15[2023-03-09].