**1、无人驾驶车辆定义**

地面无人车辆 UGV(Unmanned Ground Vehicle)是一种能够通过传感器感知环境和自身状态，实现在地面各种复杂环境中面向目标的自主运动，从而完成各项行驶任务的典型智能机器人。 它集中了电子、机械、计算机、自动控制以及人工智能等众多学科领域的最新成果， 其关键技术涉及平台设计、体系结构、环境感知与信息融合、路径规划以及运动控制等方面，是一项高度综合的研究课题。

无人车(ALV:Autonomous Landing Vehicle)是一种以车辆为载体的智能移动机器人。地面无人车是运行在地面上的无人车辆。由于地面无人车不但在军事上有特殊用途，而且在民用交通运输领域也有广泛的应用前景，因此引起了各国的普遍重视，欧美等国的研究走在了世界了前列。

地面无人车辆是指在各种环境中无须人工干预就可以自主完成行驶任务的车辆。

移动机器人是机器人技术当中的重要组成部分，它是一种可以自主感知和适应环境，能够自动规划和完成指定任务的机电装置。无人驾驶车是一种典型的移动机器人。首先在机械结构上，它需要具备速度、方向、刹车等部件的自动控制。然后还需要各式各样的传感器来获取环境信息，通过计算得到局部定位、可行区域、运动方向等用于导航决策的信息。无人驾驶也已经建立了自己的等级标准。无人驾驶车的典型应用包括智能交通和对未知环境的探索。

智能机器人可通过自身携带的传感器有效获取环境和自身位姿的信息，同时完成环境中障碍物和目标的检测，并且自主规划从起始位置运动到目标位置的路径，从而实现对目标物体进行操作。其本身具有完备的感知、分析、决策和执行等模块，可以像人类一样独立地在环境中从事生产活动。

无人驾驶车辆，又称为无人车、自主车、智能车辆、室外轮式移动机器人等，涉及认知科学、人工智能、机器人技术与车辆工程等交叉学科。

智能移动机器人是一个具有自治能力执行行为或任务的平台，是一个集环境感知、智能决策、路径规划、行为控制等多功能于一体的综合系统。

无人车是一种集环境感知、动态决策与规划、行为控制与执行等诸多功能于一体的高自动化、智能化的轮式移动机器人。能够自主的感知和理解周边环境，并能根据环境实时做出行为决策，具有较高的自我学习能力。

地面智能机器人是一种能够利用自身携带的多传感器装置获取当前行驶环境的有效信息，并通过感知、处理、决策及执行等模块之间的配合，实现自主或半自主行驶的机器人。

无人车通过视觉图像、激光雷达、毫米波雷达、高精度GPS、惯性导航等多种传感器进行自身与环境信息的感知，并能够依据感知的障碍信息、行人信息、道路信息快速做出决策，车体控制系统能够实现髙精度的车体控制与定位，准确的从出发点自主行驶至终点。

地面自主车辆（Autonomous Land Vehicle, ALV） 是一种能够自主完成复杂地形机动、辅助或取代人类完成特定任务的无人驾驶地面机动平台，是信息技术与工业技术高度复合发展的产物。它利用先进的车载传感器系统、信息处理系统和执行系统等对车辆周围环境、车辆自身状态进行监控， 完成操作功能。其目的是提高陆路交通的安全性、提高道路的通行能力、节约能源等。

智能车辆作为智能交通系统的重要组成部分，将环境感知、规划决策、自动驾驶以及多等级辅助驾驶等功能融于一身，能够极大的提高交通安全，并且提高现有道路的车辆通行效率，在一定程度上降低运送单位质量货物的能源消耗，从而减少污染物排放。

无人车(UV: Unmaned Vehicle)是一种以车辆为载体的智能移动机器人，除此之外还有有基于仿生学的智能移动机器人，如步行机器人、爬行机器人、螺动式机器人和游动式机器人等。得益于较为成熟的车辆控制技术，无人车有更大的运动范围以及更好的运动能力，是实现自主功能的重要载体。

智能车辆（Intelligent vehicle, IV）又称轮式移动机器人，是一个集环境感知、规划决策、操作控制等功能于一体的智能体，其研究涉及机械、运动学、电子、计算机、信息处理、控制和人工智能等科学技术领域。由于研究的历史时期和应用背景不同，出现了地面无人车辆、陆地自主车、移动机器人等不同名称，但其研究内容和关键技术是相同的。从控制理论的角度，它可分为环境感知层、决策控制层和执行层三个层次。

智能交通系统(Intelligent Transportation System，ITS) 是将先进的信息技术、通信技术、自动控制技术、计算机处理技术以及人工智能等有效地综合运用于交通管理体系和车辆系统而建立的一种大范围、实时、高效、准确的先进运输系统,其目的主要是提高道路交通安全性、减少交通事故，提升交通系统的通行能力和效率、节约能源等。ITS America将美国的ITS 项目开发划分为六个领域：先进出行信息系统(Advanced Travel Information System，ATIS)、先进车辆控制与安全系统(Advanced Vehicle Control and Security System，AVCSS)、商用车辆操作系统(Commercial Vehicle Operation，CVO)、高级公共交通系统(Advanced Public Transportation System，APTS)、乡村交通系统(Rural Transportation System，RTS)和高级交通管理系统(Advanced Transportation Management System，ATMS)，其中的AVCSS、CVO和APTS等都是紧紧围绕智能车辆进行的。

ITS 的核心理念是从系统的观点出发，将道路系统和车辆系统综合起来考虑来解决相关交通问题，故智能车辆(Intelligent Vehicle，IV)成为ITS的一个重要组成部分。

智能车辆是通过先进的车载传感系统、信息处理与决策系统以及执行系统等对驾驶员、道路环境、车辆自身状态等进行实时监控，部分或者完全代替驾驶员完成驾驶操作，从而减轻驾驶员劳动强度，提高交通安全性及通行效率、节约能源等。研究开发智能车辆有助于减轻驾驶员的劳动强度，提高车辆行驶安全性，减少道路交通事故和提高交通系统通行效率。

自动驾驶控制是指车辆能够根据车载传感器感知自身车辆状态和车外环境等信息，利用各种数据处理算法获得决策控制所需信息，并以此作为依据进行决策控制，同时根据当前行驶任务自主发出控制命令，控制车辆在没有驾驶员监督下完全自主、安全、有效地实现驾驶。

由于陆地环境具有多样性，地面移动机器人的机动系统选择相对复杂。常见的地面移动机器人有轮式、履带式、轮腿式、双足式等比较典型的地面机动形式。智能移动机器人需要具备以下三方面的能力：环境感知、任务规划和决策执行能力。

**2、无人驾驶车辆涉及领域**

作为一个复杂的智能系统，地面无人车辆主要涉及的内容概括起来可以分为体系结构、环境感知、定位导航、路径规划、运动控制以及一体化涉及等几个方面。

机器人高度智能化的一个重要标志就是具备自主导航的能力，其中包含了环境信息的自动获取，处理，分析，理解和决策等一系列关键环节。

无人车是一个结合了传感器、信号处理、数据融合、定位导航等多领域技术与一体的髙度智能化的综合系统。

近年来，视觉传感器在移动机器人导航定位和环境感知中的应用越来越广泛。其涉及计算机技术、传感器技术、图像处理与分析技术、人工智能与模式识别、自动控制理论等等，已经成为先进机器人研宄领域的学科前沿课题，是目前智能机器人研究的热点和难点问题之一。

无人车从职能模块上划分，其涉及的关键技术有环境感知与理解、车体定位与导航、路径规划、控制决策等。

无人驾驶技术涉及认知科学、传感器技术、计算机技术、人工智能及车辆工程等交叉学科内容，既包含基础理论方法的研究与关键技术的突破，也涉及到大量的工程设计与实现问题。

涉及模式识别、图像处理、控制与决策、传感器等多个学科的理论与技术。

无人驾驶技术主要包含以下关键技术：环境感知技术，智能决策技术，路径规划技术，控制技术，车辆体系结构。

无人驾驶技术涉及的研究领域非常广，包括计算机科学、自动控制、计算机视觉、通讯技术以及信息融合技术等。

无人驾驶技术发展至今，基本形成了感知、融合、规划、决策、控制的设计模式，从早期的DARPA挑战赛到Google无人车，基本都沿用了这一模式。

智能移动机器人正朝着基于多传感器融合、高度自主化发展，它集中了传感器技术、信息处理、电子工程、计算机科学、自动化控制工程以及人工智能等多学科的研究成果。

智能车辆是典型的高新技术集合体，作为一个新型的交叉学科领域，智能车辆的研究涉及到机械制造、信息感知、人工智能、自动控制、电子及通信技术等多个学科的理论与技术，集成了所涉及学科研究的最新成果，其发展必将推动相关学科和技术的迅猛发展。

智能车辆是一个集环境信息感知，智能规划决策，辅助及自主驾驶等多种功能于一体的综合车辆系统，它集中运用了计算机科学、现代传感、信号处理、人工智能、信息通信及自动控制等技术。

**3、无人驾驶车辆应用**

地面无人车辆在工业、交通运输、服务业、航天和国防等领域都展现出广泛的应用前景。

随着计算机和控制技术的发展，无人驾驶车辆已经在军事、民用和科学研究等诸多方面得到了广泛应用，其相关技术的研究也越来越受到人们的重视。

无人驾驶汽车作为智能机器人的一类，它的发展对社会和经济发展、国防建设和科学技术具有重大影响力，已经成为世界各个国家高科技领域研究的战略性目标。

地面智能机器人技术的在军事和民用领域(如大范围的环境及自然灾害检测，救援行动，还有行星探测等方面)，具有巨大应用空间，因此引起了相关领域研究人员的广泛关注。

在民用方面，无人驾驶技术能提高车辆行驶的安全性，通过安装处理器以及多种传感器设备，无人车可以实现对道路环境的感知，报告各种危险情况给驾驶者，并给出预警提示，或者在危险即将发的 情况下能智能的迅速采取相应安全措施。

在军事上，无人车也可以代替士兵，安装既定的意图行驶通过危险区域，执行各种危险任务，如侦查、排雷、电子战等。无人车还能在战争中通过自主导航来运输大量物资与装备，从而增加了作战的机动性和补给能力。无人车生存能力强，且无人员伤亡风险，同无人机一样，是“未来作战系统”的重点组成部分，具有举足轻重的作用。

在科学研究领域，无人驾驶技术同一的促进了各学科的理论与技术的发展以及各交叉学科的融合。无人驾驶技术涉及的研究领域非常广，

具体而言，不管是在日常生活中，还是军事和科研中，无人驾驶车辆的研究目标都是完全或部分取代驾驶员的功能，它们涉及的关键技术都是一样的。在日常生活中，车辆的驾驶不仅枯燥而且存在着危险，驾驶员需要时刻都关注着环境的变化，同时还需要克服自身疲劳、大意等身体局限，无人驾驶及其衍生技术可以在一定程度上让驾驶员从枯燥繁琐的驾驶行为中解脱出来；在军事上，无人驾驶技术可以代替人类执行侦察、排雷、辐射和战场等危险任务，从而减少人员伤亡在科学研究上，无人驾驶车辆可以帮助人类从事月球、火星等外星勘探活动。

近些年，研究人员开始将重点转移到辅助驾驶方面，自主泊车、自适应巡航、危险超车报警、车道偏离报警等功能已经被广泛地应用于民用车辆上。

随着科学技术的发展，人类的研究和活动领域遍布陆地、海洋和空间探测。利用智能机器人替代人类从事危险、极端、未知环境下自主探索和开发，己经成为世纪世界各个主要科技发达国家开展资源竞争的主要手段之一。

研究地面自主车辆有着重大的理论和现实意义，可以大大促进相关学科的迅猛发展。地面自主车辆是典型的高技术集合体，研究地面自主车辆对相关学科有极大的促进作用，如对智能控制、人工智能、机器视觉和传感器技术的促进。

随着智能移动机器人性能不断地完善，其被广泛应用于医疗、救援、清洁、辅助驾驶等民用领域以及军用、科学研究等领域中。因此，开展智能移动机器人的研究具有广泛的科学价值和现实意义。发展智能车辆技术不仅有助于改进车辆的安全、环保、节能性能；减少道路交通事故，提高交通系统效率，而且在工业、军事、科学等领域都具有广阔的发展空间和应用前景，已经成为世界各国共同关注的问题

智能车辆技术不仅在智能交通、辅助驾驶等方面有着广泛的应用前景，在工业上，可以应用在自动仓库、港口、码头、车间等物流作业部门的自动引导车上，提高货物搬运效率，降低生产成本；同时它还可以用在那些人类无法工作的环境中代替人类完成恶劣、有毒环境下货物的搬运、设备的检测等任务，从而避免某些有害物质对人体造成的伤害。在军事上，智能车辆可以按设计者意图在战场上自动行驶，代替人类完成巡逻、侦察、排雷及对有毒物品的采样，迅速准确地搜集相关信息，从而提高军事任务执行的效率，有效地避免军事人员伤亡；在智能武器系统的开发上，智能车辆可作为其安装平台，能够实现自动搜索和攻击目标，提高攻击力和安全性。可见，智能车辆在军事领域也有着重要的意义。在航空航天科学研究方面，空间自主移动机器车是其中重要的组成部分。因此，智能车辆还可用在外星球探索和勘探上，将对人类探测外星球，开发和利用外星球起到巨大的推动作用。综上所述，智能车辆在工业、军事、民用、科学等领域都具有广阔的发展空间和应用前景，国内外众多的科研院所、企业，正投入大量的人力、物力开展智能车辆中关键技术的研发。因此，研究开发智能车辆技术具有重要的科学理论意义和实际应用价值。

**4、无人驾驶车辆系统结构**

目前无人车系统主要有两种结构：功能模块分解型和基于行为分解型。

功能模块分解型是一种依序分解排列结构，故又被概括为SMPA(Sense-Model-Plan-Act)，它可以粗略地分为四类模块：感知理解模块、信息融合模块、行为规划模块、行为执行模块。感知理解模块对从车载底层传感器中获取的环境信息进行分析，提取特征描述和建模环境。通常多个感知理解模块是并行工作，并将所得结果以同步时序传入信息融合模块。信息融合模块获取到多种感知理解信息后，将信息进行融合，去除底层信息中可能出现的噪声和错误，为行为规划模块提供高置信度的融合结果，并且进行完整的环境建模。行为规划模块则在已建模的环境中，为自主系统下一时刻的行为进行决策，比如前进、后退、转弯、加速、减速等等。行为执行模块则负责执行由行为规划模块发出的动作命令，调整规划命令和底层执行机构产生的误差，从而使得无人车到达规划命令指定的位置和运动状态。四个模块顺序执行成为一个周期，待行为执行模块机构执行完毕后，无人车到达一个新的位置，环境也随之改变，改变后的信息流再通过感知理解模块开始新一轮的循环。

在功能模块分解型体系结构中，环境感知理解模块处于底层环境信息流入自出车系统的关键位置，很大程度上决定了整个系统的性能。对环境准确鲁棒地感知理解，降低了信息融合模块的容错压力，保证了后续行为决策模块正确运行，使得行为执行模块对底层执行机构发出与实际环境相符合的动作命令。反之，一旦环境感知的错误超过信息融合模块所能容错的限度，会导致整个体系结构错误累积，最终造成无人车行驶偏离正确的轨道。基于此，下文首先从无人车对环境理解感知出发，

环境感知层是智能车辆体系结构中的基础和核心层次，为规划决策层和控制执行层的各种研究提供必要的基础信息，其关键是利用传感器技术、多传感器信息融合技术、信号处理、图像处理等技术实现环境感知层所涉及到的各种静态障碍物的检测、道路识别和跟踪、动态障碍物的检测与跟踪、交通信号灯以及交通指示牌的识别、本车的定位等多方面的研究。

智能车辆环境感知系统的主要功能是通过传感器获取车辆以及环境信息，具体为车辆的位姿及状态信息获取、结构化公路中车道线及车道边沿的识别与跟踪、交通标志及交通信号的识别与跟踪、车辆周围障碍物的识别与跟踪（其中包括动态及静态障碍物，如行人、障碍车辆等）以及车辆行驶路面的交通状况分析等。

智能车辆的环境感知系统有两个广义上的性能指标：实时性和准确性，即系统必须能够在特定时间段内完成对车辆及环境信息数据的获取，同时还要保证所获得数据的可靠性。这两个指标是实现车辆自动驾驶的重要基础。

**5、环境感知意义**

在非结构化复杂环境下自主式地面车辆的环境感知问题一直是一个重要的研究热点问题。

无人车队行驶环境的感知和理解是保证其后续行为规划正确的前提和基础，也是人工智能领域一直以来具有挑战性的课题之一。

对地面智能机器人来说，决定这些车辆自主程度的正是它们所具备的环境理解能力，因此如何使地面智能机器人对当前环境准确理解是车辆系统最为重要的问题。

环境感知是无人车的五官，是所有信息的获取来源。无人车通过环境感知系统进行车体自身与周围的环境信息获取与理解，通过感知的各种信息为进一步的行为控制与决策提供支撑。无人车的环境感知又可分为无人车自身姿态信息的感知Ｗ及周围环境信息感知两个部分作为无人驾驶流程中最为底层也最为重要的感知层对于无人驾驶技术的发展起着至关重要的作用，它是无人车的输入，规划、决策、控制都离不开准确、鲁棒的感知。

在无人驾驶技术组成单元中，环境感知技术是至关重要的一环，它属于整个无人驾驶体系最基本组成部分，直接决定无人车自主驾驶的能力和智能化水平。其中，道路信息的检测是环境感知系统的核心问题，是无人车进行自主及安全行驶的必要前提条件。因此，在无人车感知系统结构中，基于道路信息检测的车道线检测技术、障碍物检测技术以及道路边界检测技术属于其中关键技术，一直是研究的重点和难点，本课题的研究具有较高的挑战性以及研究价值。

无人车环境感知系统主要功能是处理各个传感器信息，创建无人车环境地图，为无人车行为决策和路径规划提供可靠的信息源。其中，环境地图分为全局环境地图和局部环境地图。全局环境地图提供无人车在整个行驶路径下的位置信息，最普遍的是采用GPS数据实现车辆位置与路网(RNDF)之间的匹配。局部环境地图提供车辆当前位置实时道路环境数据，其中无人车前方车道线信息、周围障碍物分布信息及当前道路边界信息是构建无人车局部环境地图的核心要素，本文的研究也主要着眼于此。由于无人车驾驶道路环境的复杂多样性，目前尚没有无人车环境感知系统能做到完全无差错，

在地面智能机器人自主导航问题的相关研究中可通行区域识别是该领域需要解决的首要问题。具体来说，在非结构化环境中由于其地表分布及种类的复杂性，为了简化地面智能机器人对地表的理解和分析，仅将可通行区域从图像中识别出，即利用视觉传感器所获取的环境图像信息将地表分为可通行性区域和非可通行性区域。

环境感知系统在智能车辆体系结构中所诠释的是一个“基石”的角色，它为实现车辆的运动控制提供必要的信息，环境感知系统性能的优劣直接关系到智能车辆能否安全行驶。

智能车辆要达到其自主性、适应性和交互性的智能目标，前提是能够掌握车辆自身的状态信息以及车辆周围的环境信息以指导其行为，这些信息则需要通过信息感知系统来获得。因此如何获取相关信息成为智能车辆实现其功能的关键技术之一。

视觉传感器获得信息能否正确、及时的处理、分析直接关系到智能车辆运行的安全和效率，对路径规划和车体控制的效果具有决定性作用。因此，智能车辆系统中应用的视觉系统必须具备实时性、鲁棒性、实用性等三方面特点。

环境感知与分析能力是机器人研究领域的一项重要挑战。包括机器人对周围环境的检测能力和机器人对所执行任务中潜在影响因素的识别、表述能力。场景识别与建模是移动机器人实现运动规划和导航等任务的基础和保证。

**6、环境感知设备**

目前，无人车的感知方法依据使用的传感器的不同大致可分为视觉传感、激光传感、微波传感、通讯传感几种方式。各种感知方法各有优缺点，通常无人车上都会配备多种感知方法，通过多传感器信息的融合来弥补单一传感器感知方法的不足。

按照传感器的感知方式可以分为主动传感器和被动传感器，如雷达，其主动发射检测信号，然后接收由环境反射的回波，为主动传感器；如摄像头， 由其内部感光组件被动感应光学信息， 为被动传感器。 地面自主车辆利用了这些传感器来获知环境信息，进行目标检测视觉传感器具有获取信息量大、探测范围广和图像特征丰富等优点，己日益成为移动机器人感知环境的必备工具。

以激光为载体和以视觉为载体的三维传感系统各有其优缺点：激光雷达是一种主动传感器，探测精度高，探测距离远，探测范围大，不受光照影响，能够全天时运行，但是其功粍大，价格昂贵，适宜于地面大型无人车载系统；而立体相机系统是一种被动传感器，能同时提供三维信息和图像信息，成本低廉，功耗小，但是探测距离和探测范围较小，探测精度也没有激光雷达高，适宜于小型地面无人车载系统。

无人车所携带的传感器一般包括三种类型：二维传感器，包括各种相机，用于在图像二维空间中对环境进行感知理解；位姿姿态传感器，包括GPS,惯导系统，用于定位和导航；三维传感器，包括激光雷达、立体视觉、声波雷达等等。虽然三维传感器相对属于价格高昂的设备，但是像激光雷达这样的传感器有以下几个优点：第一，它们是主动式传感器，几乎不受外界光照影响，能全天时工作；第二，感知精度较高，而且其构建的三维环境模型与真实环境类型一致，便于实施路径规划和控制；第三，相比于二维视觉传感器在非结构化复杂环境中分割困难，三维传感器能通过最起码的可通行准则—避障，给出行驶道路。

常见的场景理解传感器包括：二维传感器(可见光相机、红外相机等)、三维传感器(单线激光雷达、多线激光雷达等)。二维可见光相机采集场景的色彩信息，作为最重要的视觉传感器，它可以为场景理解提供高度、颜色以及纹理区域等信息，对环境感知起重要作用；但是它作为一种被动传感器，对光照敏感，也无法提供深度信息，对于图形平面上相邻但是深度不同的颜色相似物体不能有效地区分。红外相机安装感知光谱波段分为近红外相机和远红外相机，它是二维可见光相机在光谱信息上的一个补充。由于物体的质地特征对红外波段的光比较敏感，红外相机能辅助自主系统根据材质对场景中的物体进行分类。三维传感器能够为无人车系统提供环境的三维信息，能够对物体的三维外形特征有很好的认知。作为一种主动系统，它不受光照影响，探测精度很高；但是无法感知物体的色彩以及纹理信息，导致当环境复杂，尤其像野外环境，三维物体特征不稳定，甚至无法从背景中分割出来，三维数据的应用受到很大的限制，另外像激光雷达这一类的传感器，在远距离数据稀疏，影响了系统对于远距离场景的感知性能。

视觉传感：依赖于相机，通过单目视觉或立体视觉获取车体周围的二维、三维信息。对获取的视觉信息利用图像处理和图像识别分析技术提取环境中的车辆、行人、障碍、标识等信息。视觉感知传感的优势在于图像获取的信息丰富、实时性高、能耗低、价格便宜，且视觉的感知方式更接近于人的感知系统。其不足在于易受光照、天气影响，三维信息测量的精度低。

视觉传感器是组成智能机器人最重要的传感器之一，普遍应用在机器人导航系统中。其主要是通过相机采集环境的图像，并且经过图像处理与分析实现对于外界环境的感知。视觉传感器是一种被动式传感器，即传感器本身不发出能量，而靠捕获外界光线来获得信息，比如CCD和CMOS摄像头传感器。根据视觉传感器中摄像机的数量，可以将其分为单目、多目和全景视觉系统三大类。

视觉传感器具有信号探测范围宽、目标信息完整、获得环境信息快等优势，视觉系统在移动机器人导航定位和环境感知等的应用越来越常见。

由于基于视觉的智能车辆环境感知所用的传感器价格低廉，采集信息范围广，能够识别道路行驶区域、车道线、交通信号、交通标志、周围车辆和行人等绝大部分的信息，因此近年来得到了广泛深入的研究。不同的目标需要通过不同的特征、模型进行识别，因此，每一种基于机器视觉的目标识别算法一般只对一类目标进行检测。民用领域的智能车辆中，一般对车辆和行人进行检测。

视觉传感器与其它传感器相比，优势在于探测距离远，检测范围大，成本相对于雷达系统等来说也非常低，可以在车辆中安装多个，从不同角度全方位探测车外环境。

视觉传感器在智能车辆中主要用于识别车辆周围的交通环境，如确定车辆在车道中的位置和方位、车道的几何结构、检测车辆周围的障碍物如车辆和行人、识别交通标志和交通信号以及驾驶员疲劳检测等方面。

视觉感知系统研究的主要内容包括：信息采集压缩和滤波、道路特征提取和障碍物检测、交通标志和信号的识别以及目标识别与跟踪等。

对于在室外环境下工作的无人智能车，对所在场景的有效识别是实现自主导航的基础。由于视觉传感器能够提供丰富的环境信息且体积小、成本低，基于机器视觉的场景识别方法在无人智能车技术及应用巾较为常见。

立体视觉：立体视觉系统采用两个或多个单目相机在空间固定安装，使得他们具有固定的位置关系，这种位置关系被称为立体视觉系统的外参。通过确定场景中目标在立体视觉系统中各个相机校正后图像中的位置差异，根据相机外参以及三角测距原理，可以精确估计出目标的三维位置。

相比于激光雷达，一方面立体视觉系统不仅成本低廉，而且能重建出致密的三维场景，另一方面立体视觉系统在弱纹理或者无纹理区域容易出错，容易受到光照、阴影等外界环境影响，鲁棒性较低。

视觉传感器的使用方法与声纳和激光雷达不同。在机器人地图创建中，主要是在所获得的视觉图像中进行图像特征的提取与匹配，并根据匹配的特征在图像中的位置坐标和视觉系统的内外部参数，依据集合测量原理，计算并估计特征在环境中的具体位置。虽然视觉可以比声纳和激光雷达获取更多的信息，但是视觉信息提取难度较大并且实时性较差的问题在一定程度上限制了视觉传感器在机器人地图创建中的应用。此外，外部环境的光照变化也会对视觉信息的处理产生较大的影响。

激光传感：激光传感器在无人车上使用较多，通过单线、多线激光雷达能够获取车身周围近百米内的三维环境，通过点云处理能够准确的进行场景分割。激光雷达的优点在于精度高，能够直接获取物体的三维距离信息，对光照环境的变化不敏感，能够全天候使用。它的不足点在于，相对于图像，物体的纹理信息较少，点云处理较为困难，且多线激光雷达体积大、功耗大、价格昂贵，不太适合车载安装。

由于激光雷达具有帧率高，精度高的特点，可以确保机器人稳定安全的运行，因此在速度要求较高的自主导航汽车上获得了广泛应用，其中包括谷歌无人车。

激光传感器：其原理就是将激光光束发射出去，然后根据接收到的从目标反射回来的信号时间差，计算得到其对应的距离值。加上一个扫描的装置之后就可以构成激光雷达(LIDAR)，其可以获取目标距离、方位、速度、姿态、甚至形状等参数。激光传感器获取的距离数据密集，精度高，方向性好，因此能够有效提高机器人导航后续的定位和环境建模的精度。

64线激光雷达从DARPA城市挑战赛开始被应用于无人车三维环境检测以来，至今已经几乎成为地面无人车标准配置之一。该雷达功能强大，能胜任从低层次的地面分割、障碍物检测到髙层次的地面类型识别，物体特征识别，动态障碍物检测等各类有关三维场景识别的任务。相比于单线激光雷达，多线激光雷达价格昂贵、功耗大，适合大型无人车室外三维环境感知。虽然多线激光雷达采集数据丰富，但是其巨大的数据量也给算法实时运行能力提出了较高的要求。

主动型传感器信号处理的难点在于智能车辆行驶过程中的振动使得对物体的距离测量不连续，造成基于这种不连续数据做出的对环境的描述也不准确，使得对障碍物虚报概率增大，明显影响智能车辆的行驶速度。因此，必须采用一定的算法，设法消除智能车辆振动对测量数据的影响。此外，主动型传感器数据处理的实时性也是必须解决的重要问题。

雷达(Radio Detection and Range, Radar)是一种利用电磁波来对目标进行探测和定位的电子设备。电磁波安装从低频到高频的顺序，包括有无线电波、微波、红外线、可见光、紫外线和伽马射线的电磁辐射。工作在红外和可见光波段的雷达称为激光雷达，又可以称作为激光探测及测距系统。它使用激光器作为发射光源，由发射系统、接收系统、信息处理等部分构成。它是激光技术、大气光学技术和雷达技术结合的产物。

激光雷达测距的基本原理是：由激光器产生并且发射一束激光脉冲或者是连续的激光束，发射出去的激光脉冲和激光束在遇到物体后会产生一个回波信号，接收器接收这个回波信号，然后准确的测量激光从发射到接收反射回波的传播时间。由于激光是以光速在介质中传播，根据在介质中光速为已知的数据，可以计算出物体与测量点之间的距离。

立体视觉系统则需要经过复杂计算过程，包括匹配、视差图计算等，才能够获取障碍物的距离信息，而激光雷达传感器能够直接、准确的获得障碍物的距离信息，更能满足智能车辆环境感知系统的高实时性要求。与其他的主动性传感器相比，激光雷达传感器同样具有很大的优势。毫米波雷达由于波长的差别，其测距精度不如激光雷达，而超声波雷达则主要用于检测短距离的障碍物信息。因此，在高速、准确的道路跟踪中，激光雷达具有不可替代的地位。

激光雷达是环境信息感知的另一重要部件，能够直接完成智能车辆与感知目标的距离、相对速度及方位的测量，同时在阴雨等恶劣天气影响下，激光雷达系统仍然能够工作。但其成本很高，同时激光雷达系统还存在光谱分辨率和扫描速度较低、多个雷达反射波产生相互干涉等缺点，这也是主动型传感器难以回避的问题。

激光测距仪是一种通过发射激光束并计算激光反射时间来测量距离的仪器。激光测距仪作为一种主要的主动探测、非接触式的距离传感设备，具有采样速率快、角度分辨率高，测量精确等多种优势。在机器人科学的研究实践中，激光测距系统已经成为一种不可缺少的外部传感器，广泛应用于物体识别、地图构建、定位导航及表面重构等科研领域。

超声波雷达：超声波雷达与激光雷达的原理相似，同样存在发射端与接收端，利用发射和接收的时差测量机器人与障碍物之间的距离。相比于激光雷达，超声波雷达的测量范围较小，通常为几米的范围，例如图1.1中的超声波雷达的测量范围仅为0.02m-4.5m。然而由于它成本低廉，在汽车的防撞预警系统中获得了广泛的应用。

声纳是移动机器人中最常用的一种传感器。它的工作原理就是由发射器发射超声波探测信号，再通过接收器接收障碍物反射回来的信号，根据发射和接收的时间差来计算传感器与障碍物之间的距离。由于价格低廉、使用方便，声纳已经在移动机器人和自动驾驶系统中得到广泛应用。但是它的使用也存在许多问题。比如：声纳发射的超声波是发散的；超声波存在多重反射现象；入射角对测量结果影响较大；测量距离有限。

微波传感：基于微波雷达探测环境中的二维、三维信息，如毫米波雷达。毫米波的波长介于厘米波与光波之间，相对于红外、激光灯，毫米波在烟雾、灰尘、雾霾中的穿透能力更强，具有全天候（雨天除外）全天时的优点。其在抗干扰与反隐身方面能力也优于其他微波设备，唯一的不足点在于微波在大气中传播时衰减严重，加工精度要求也高。

毫米波雷达由于波长的差别，其测距精度和成像能量不如激光雷达，但对天气条件的适应性优于激光雷达，在雾天、雨天、沙尘等天气下均可正常使。但是，毫米波雷达信号处理的技术和算法与激光雷达有很大区别，需要分别加以研究。

超声波传感：超声波雷达（声纳）在智能车辆近距离紧急避障方面具有重要的应用价值。

通讯传感:与上述主动式环境感知不同，通讯感知是通过无线网络从远程获取车体的环境信息，通过车体之间的信息共享、降低对环境的敏感度，不足在于环境信息并不是实时采集的，实时性不高，不能直接感知周围车辆的其它信息。

GPS传感：高精度GPS是智能车辆进行全局规划的重要手段之一，能全天候实时感知车辆在环境中的位置，还可以提供准确的车辆行驶方向、速度、加速度等车辆自身状态信息。配合电子地图和先进的匹配算法能够提供丰富的道路信息，如弯道曲率、道路结构等，这也是其他传感器所难以提供的。应用差分定位技术的全球卫星定位系统可以为用户提供厘米级的导航信息，而厘米级的GPS能够更精确地进行车辆定位、实现道路跟踪。但由于GPS的工作依赖于卫星信号，因此，在卫星信号不佳或信号无法获取的情况下将会失效。

多传感器融合：以往基于单一传感器的环境感知能力有限，只能针对特定观察量进行测量，无法满足实际的需求，因而往往使用多种传感器，构建完整的感知体系进行感知任务。目前无人车的环境感知主要依靠激光雷达与视觉图像两种传感器，辅以声呐、毫米波雷达等传感器进行环境信息感知。激光雷达的优势在于能够获取环境的深度信息、对光照等外界环境不敏感，能够全天候使用，更能满足复杂、恶劣环境下的任务需求。视觉图像的优势在于能够获取外界场景的纹理、颜色信息，其在目标检测与识别、道路跟踪、同时导航与定位有着激光雷达无法比拟的优势，特别是在野外环境下，在植物分类、水体检测、泥巧路面检测等方面更是必不可少的。

由于自然驾驶环境越来越复杂，对无人车的考核也越来越苛刻，无人车所面对的环境感知问题也越来越多样化，以往基于单一传感器的感知越来越困难。现在的无人车更多的依赖于多传感器信息融合来处理感知任务，如依靠相机跟雷达的联合标定，做三维彩色点云分析进行环境感知，用激光雷达以及毫米波雷达进行动态障碍物检测等

总之，以上介绍的多类型传感器都已经普遍被应用于移动机器人上。这些传感器使得机器人像人类一样具有环境感知的功能，从而能够实现更加复杂的处理和分析大大改善机器人工作状况。随着传感器的不断发展，以视觉传感器为主，融合其他多种传感器于一体，形成体积更小，重量更轻，功能更集成的机器人导航系统将会是今后研究发展的一种趋势。

使用合适的传感器可以有效地获取车辆内、外部信息，有助于智能车辆正常工作，提高工作效率。

由于智能车辆运行环境的复杂性、车辆自身状态的不确定性和单一传感器信息的局限性，仅靠一种传感器在任何情况下都能提供完全可靠的信息是不现实的，难以满足智能车辆系统所要求的精度和可靠性。为实现在复杂、动态及不确定性环境下的自主性，智能车辆通常装配多种传感器并实现它们的有机融合是最有效、最可靠的手段。

多传感器信息融合是指将多个传感器所提供的在空间或时间上的冗余或互补信息或来自同一传感器的多特征信息依据某种准则进行融合和集成处理，形成对外部环境特征的一致性描述或解释。经过集成处理的多传感器信息融合扩大了系统的时空和频率覆盖范围，避免单一传感器的工作盲区；由多源信息获得的目标属性具有更高的可靠性、可信度，能够增加系统的容错能力。

传感器系统通常需要预先校准，内在参数如摄像头焦距度或激光二极管极的方等必须标定。另外要实现传感器信息融合，需要对所有融合传感器进行外部校准，即在一个共同的框架下确定各传感器位置坐标。

**7、非结构化难点**

相对于结构化和半结构化环境，非结构化环境中的光照条件和自然地型的不确定性和多样性较强，再加上天气条件的多样性，及景物的季节性变化等不可预知情况的存在，使得地面智能机器人对非结构化环境的理解更为困难。

与之结构化环境相比，由于非结构化道路边界模糊，路面形态多样，更易受季节、天气等因素影响，使得该种环境下的可靠道路检测成为保障无人车长期稳定运行的关键。

对于地面智能机器人来说，最大的技术挑战是要具有利用传感器获取的信息来感知环境，并利用感知信息进行自主导航行驶控制。然而在非结构环境下存在的光照、景物、天气以及地面不规则性等复杂多变的影响因素，使得环境理解算法更为复杂困难。

在非结构化环境中，由于景物种类的复杂性、光照的多变性、地面区域种类的多样性、地面障碍物的多样性以及天气、气候等不可控因素的存在，使得地面智能机器人对环境的准确理解更加具有挑战性。

相对结构化道路和半结构化环境，非结构化环境中可通行区域边界的检测与识别更容易受到场景中其他因素的干扰[9]，例如：天气、光照、路面干扰物等。

在非结构化环境中由于没有车道线与道路边界线等标识，加之不同的非结构化道路的路面特征与周遭环境迥异，基于车道线、边界线或路标等特征或道路几何模型进行道路识别的算法对于非结构化道路则不完全适用。

由于野外自然环境中景物类别和光照、天气条件等均具有复杂性，因此该问题的研究中所存在多种复杂问题，总体可概括为类内差异、自遮挡、尺度变化、光照变化、类间模糊性、类内场景不一致性等，基于图像特征的可通行区域分类对使用的特征的可区分性和鉴别性有较高要求。

非结构室外环境的地表多样性、复杂性及天气条件的不可控性等因素，也增加了基于颜色特征的地表可通行区域识别的难度。非结构化的复杂环境中光照条件具有多变性，对传感器的正常感光产生影响，从而产生色调转移，从而对基于颜色特征的地表分类方法产生不利影响。在室内或光照环境稳定的环境中，物体表面所表现出来的颜色是由摄像机的反射频谱所决定的，而在室外复杂环境中，光照条件是不可控的，如晴天、阴雨天及雾霾等天气条件下，同样的物体所呈现的反射频谱是大不相同的。因此，在非结构化的复杂环境中地表表面的反射频谱是由光照频谱和摄像机的反射频谱相结合而产生的。

由于非结构化道路本身具有的如下特征：1）、道路边界形状不规则，有时候甚至很模糊。没有类似城市环境中的道路标识、车道线等明显特征。2）、道路的路面不平整，路面既有较好处理的柏油路，也可能出现高低起伏的泥土路，而且容易出现杂物，干扰识别算法。

与结构化环境相比，室外非结构化场景中无特定的人工标记，物体的三维外形复杂多变，并且室外颠簸的路况，杂乱的植被也会给场景检测理解带来额外的困难。

**8、非结构化环境定义**

依据自然环境中地表特征与周遭环境的差异，国内外学者将地面智能机器人的工作环境划分为结构化环境、半结构化环境与非结构化环境三类。

结构化环境主要指地面平坦，无障碍，有良好视觉效果的白线导航的道路环境，如高速公路、国道、省道、城市道路等，其共同特点在于道路边界及道路宽度符合国家道路标准，路面具有清晰的车道线与道路边界线，道路两侧有明显的道路标识，可通行区域可用一条或两条白线表示。

半结构化环境主要指城市道路环境，其道路状况相对于结构化环境更加复杂，需要考虑多种道路模型以及交叉路口等情形。

非结构化环境主要指乡村、越野环境，主要由草地、土地、沙地以及石子路等地表构成，通常不具备结构化和半结构化道路所拥有的车道线、道路标识等特征。非结构化道路主要指乡村、越野环境中的简单自然地貌，如较为平坦的草地、砂石以及稀疏丛林等，这类地型通常不具备结构化道路所拥有的车道线、道路标识等特征，且具有多变的天气条件、光照条件、季节变化、景物类别及路面障碍物等的影响因素。

由于在非结构化环境中地表的高度起伏变化较复杂，为了更准确描述不同地表类型间的差异，需要对地形作详细区分。国际地理学联合会地貌调查与制图委员会所提的第六方案按局部地势将地貌分为四个地势等级，分别为低平起伏、和缓起伏、中等起伏和山地型起伏

结构化路面是指具有典型道路边缘规则特征、色差特征和行道线特征的平坦道路环境，比如高速路、国道、省道、城市道路等；半结构化道路是指无明显道路边缘规则特征和行道线特征的平坦道路环境，如一些乡间水泥路、柏油路等；非结构化道路是泛指无道路边缘特征，非平坦路面的野外环境。负障碍检测是非结构化环境下的重点和难点问题。在结构化、半结构环境中，由于无人平台所处路面较为平整，道路边缘较为清晰，路面障碍主要以行人、车辆等为代表的正（凸）障碍为主，因此采用单线或四线激光雷达，基于车体坐标平面的测量换算和Z轴阔值控制方法便可有效解决问题。在非结构道路（越野环境）路面起伏较大，障碍物不仅有不规整的正障碍（石头、土堆、栅栏、损毁工事等），还有诸如弹坑、水潭、壕沟、断崖等负(凹)障碍，此时采用绝对坐标平面的方法进行障碍物区分，误报率和漏检率较高。因此，在非结构化环境中，必须通过分析雷达探测点的相对位置关系来实现对探测区域的外轮廓感知。由于负障碍的轮廓隐于地表以下，与凸出地表的正障碍相比，其对距离更加敏感，检测难度较大。图4.2给出了负障碍与正障碍的检测模型，可以看出，在相同距离下，负障碍检测要比正障碍更难检测。

目前对于未知或非结构化环境中的机器人自主导航问题仍然没有得到很好的解决。其原因是：虽然从环境感知的角度出发，视觉传感器能够获得丰富的信息，但是对于环境建模与目标定位而言却存在许多的困难。首先，视觉传感器信息并不携带距离信息，通常可以利用立体视觉来获取三维的信息，但是目前立体视觉标定和匹配等关键技术仍未完全成熟，造成三维重建的准确性难以保证。其次，计算机视觉理论尚不成熟，在物体的表示、分析和处理等方面还是存在着较大的问题，且算法处理耗费时间较多，实时性难以保证。最后，由于真实环境中不可避免的出现各种动态的因素，使得视觉传感器存在许多瞬时信息的影响，从而影响机器人自主导航的稳定性。这些关键环节给机器人的自主导航技术研究带来了前所未有的挑战。因此，在今后的视觉导航技术研究中，环境信息可靠的处理和分析尤为重要，而且需要在实时性、准确性和鲁棒性三个方面取得进一步的突破。

根据待感知的三维场景的不同，将场景分为三类：结构化场景，半结构化场景和非结构化场景。结构化场景具有明显的人工标记特征，比如室内的墙壁、折角，高速公路的车道线、两侧的矮栏杆、平坦的地面等等。半结构化场景也具有人工标记，但是标记不甚明显，如校园区域：地面平坦，路两侧有马路牙子。非结构化场景则没有人工标记的痕迹，比如乡村颠敲起伏的沙石道路，有高草、低矮灌木的草地以及未知复杂地形环境（例如地外行星环境。本文依据场景中是否包含人工标记，将结构化、半结抅化场景统称为结构化场景，重点研究场景中无人工标记的特征的非结构化场景的感知理解。

对于无人车而言，结构化场景分为室内场景和室外结构化道路。室内场景是典型的人工场景，三维特征比较简单主要以折角、平面为主。在室内场景中，自主移动机器人的主要任务是构建地图和场景分类。相较而言，室外结构化环境可变性更大，三维数据规模和范围也远大于室内数据。无人车利用三维传感器在室外环境中任务主要有：马路牙子检测，动态障碍物检测跟踪，障碍物分类，路中特殊形状障碍物检测，路口检测，同时定位和地图构建等。

在结构化道路环境中，常常利用一些先验的假设完成对道路的建模，比如道路具有平行的边界，使得道路具有固定宽度；道路形态变化缓慢，曲率小；最重要的是假设车体前方在局部范围内的道路是一个二维水平地面。这些假设可以同时简化算法的复杂度并且提高算法的正确检测率，但是同时会有不足。比如先验假设过于理想化，实际道路可能会出现坡度或者其他不可预知的障碍物导致算法性能下降。此外，在结构环境下，障碍物的分类识别也比较简便：各类别障碍物往往是形态简单、类间形态差异大、体积变化不大，如行人、车辆、路灯杆等等，因此对提取三维特征的全面性要求不高。

非结构化场景与结构化场景差别很大：地面起伏颠簸，结构化场景中平坦地面的假设在非结构化场景中不能成立；路内路边杂乱的灌木草丛等障碍物使得道路形态千奇百怪，此时用结构化场景中描述道路的各类理想化曲线已经不适用，釆用可通行区域、不可通行区域的描述更为妥当。根据非结构化场景的特点以及无人车感知系统在场景理解中发挥的作用，可以将非结构化场景大致分为三类：乡村道路环境，野外植被散布环境和未知复杂地形环境。

乡村道路环境是一大类无人车常见的非结构化环境。在乡村道路环境下，虽然路面不完全平坦，没有清晰可见的结构化道路边缘的特征，但是路面依然是可辨的。在大多数情况下，乡村道路环境的路面区域是由路两侧的障碍物所限定的。在乡村道路环境中，无人车感知系统最主要的作用是分割路面和非路面区域。

根据检测精度、计算能力、检测范围等要素的综合考量，乡村道路环境下基于三维数据的道路检测算法可以分为基于栅格和基于图的两种类型。基于栅格的算法稳定性较好，但是检测精度较低，检测范围小，耗费计算存储空间较多；基于图的算法，稳定性较差，但是检测精度高，检测范围大，耗费计算存储空间较少。

随着对无人车研究的深入，以及军事和民用对无人车应用范围的扩展，森林、草原等野外植被散布环境成为无人车面对的另一大类重要的非结构化场景。在野外植被散布场景中，可通行区域的分割是无人车最重要的任务。由于场景中存在大量阶跃高度较高的野生草本植物，单纯釆用基于三维数据的障碍物检测算法容易将它们均检测为障碍物，造成无人车路径规划的难度增大，甚至无法在该环境中通行。草本植物质地柔软，具备一定越野性能的无人车可以越过，将其看做可通行的区域能大大降低场景中障碍物的数目，对提高无人车在野外植被散布环境中的生存能力有重要的意义。对草本植物的检测就涉及到对障碍物分类的问题，需要将其与那些刚性的障碍物：如树干、石块等区分开。

由于野外植被种类繁多，形态复杂，颜色也变化较大，仅仅采用单个类型传感器对障碍物分类效果较差。三维传感器、二维可见光传感器、二维红外传感器可以分别为无人车提供不同类型的认知信息：三维传感器提供障碍物形态特征，对于植被来说，其三维形态比较松散，可能出现激光雷达扫描线从植被孔隙中穿越的情况；二维传感器通过颜色和纹理感知障碍物的类型；植物中的叶绿素对红外光反射较为敏感，二维红外传感器能提供环境中叶绿素的分布情况。如果能将三者信息融合，利用多种类型的特征进行有监督的学习确定分类器的参数，必然能更好地解决野外植被散布环境中障碍物分类问题。

最后一大类非结构化场景是未知复杂地形环境。在完全没有先验信息的复杂地形环境中安全行驶是无人车的一个巨大挑战。由于探索未知复杂地形环境的无人车常常是小型无人车，对于未知复杂地形环境的感知理解更注重各种陡坡、阶跃障碍、颠簸地形等危险行驶区域，例如深空探索中的外行星环境。在该类环境中，无人车三维感知的任务即是寻找可通行的区域。

乡村道路是典型的非结构化道路。乡村道路三维检测的一个难点是它没有规则的边界信息，比如护栏、马路牙子，不能用这些三维特征去检测道路。乡村道路三维检测的另一个难点是颠簸的路面使得在结构化道路检测中的路面平坦假设不再成立，那些利用路面平面性进行道路分割的算法鲁棒性变得很差。

**9、非结构化场景理解中的关键问题**

在非结构化场景中，为了设计一种优秀的基于三维数据的场景理解算法，必须至少要考虑以下几个问题：

首先是传感器标定精度问题。传感器标定精度是三维数据处理的首要问题，后续各种场景理解算法的性能很大一部分取决于三维传感器标定的精度。随着传感器技术的发展，三维传感器 “看”得更远，“看”得更细致了，微小的标定误差在远距离区域会成倍放大，导致系统无法完全发挥三维传感器的探测能力。一方面，传感器高标准的标定精度是三维特征检测的必然要求。三维点在空间中的位置信息本身就是其特征之一：比如灌木和草地，其点云最高高度是不相同的，通过三维点所在高度也能辅助判断一个点云属于灌木类型还是属于草地类型。另一方面，三维传感器标定的高精度也是多传感器融合系统的必然要求。在非结构化场景下，物体外形变化很大，靠单一三维传感器很难做好对物体的分类，而与二维图像融合能大大改善这个问题。只有三维传感器标定精准才能配准二维与三维数据。

其次是三维特征选择问题。与结构化场景不同，非结构化场景中不存在人工标记如平面、转角、规则的目标等特征。三维特征分为两类，单点特征和区域特征。一方面，三维场景识别要求算法精度高，需要釆用单点特征表达空间中三维点的属性，另一方面，单点特征在非结构化场景下往往会受到噪声的影响使得特征表达能力下降，而区域特征抵抗噪声能力较强。

再次是多传感器融合处理问题的能力。非结构化场景本身变化差异很大，而三维特征又不稳定，为能更好地进行场景理解，区分不同的特征，需要融合多种类型传感器，增加信息的自由度

与人工、半人工的环境不同，野外环境中没有路与非路的区分，无人车行驶仅仅以障碍检测的方式将环境分割为可通行区域、不可通行区域，并且在可通行区域内进行行为规划和行驶。野外环境中有很大非刚性的物体：例如各种茂盛的草本植物。在某些植被散布的场景中，大量的高草被识别成障碍，导致自主车被障碍物所包围，无法行驶，而实际上，具备一定越野性能的无人车能够驶过这种的草地两者需要无人车环境感知系统能够通过传感器信息融合提取多种类型的特征，将非刚体的植物和刚体的障碍物区分开来。

**10、可通行区域定义**

可行区域是宽泛的概念，通常可以认为能够安全通过的区域均可以称为可行区域。可行区域检测技术旨在通过车载传感器检测所在环境中的可以行走的安全区域，以完成自主导航或者其他人为给定任务。

目前广泛使用的可行区域检测技术主要是基于激光雷达或者超声波。激光雷达具有很多优点：分辨率高，抗干扰能力强，精确。然而，高精度激光雷达的成本相对较高，难以普及应用，并且只能得到一些离散的三维点，包含信息量较少。基于超声波的检测系统虽然成本较低，但是容易受到干扰且精度较低。

随着图像处理技术的不断发展以及计算单元性能的逐步提高，基于图像的智能识别技术近几年已经成为了研究热点，无论在学术研究和应用研究方面都取得了极大的发展。相比于激光雷达和超声波雷达，图像传感器包含的信息非常丰富，通过图像传感器得到的信息不只是局限于位置信息，同时也包含了待观测物体的颜色和形状信息，这些信息对于物体的准确识别至关重要。单目相机只能得到相对位置信息，然而多个相机可以通过三维重建得到物体的深度信息。图像传感器具有配置灵活，信息丰富的特点，因而在机器人领域获得了越来越广泛的关注和应用。尽管图像传感器包含的信息非常丰富，依然存在自身的缺点。图像传感器包含的数据量大，导致消耗的计算资源多，所以通常需要高配置或者专用的硬件设备支持。此外，待检测的场景也通常会随着时间的变化而变化。即便是同一场景，例如室外场景，会因为天气，季节等变化使得采集到的图像变化巨大，给图像算法的适应性带来极大的挑战。然而这些问题正在被新的算法不断克服。

基于图像的可行区域检测系统是指通过在移动机器人上绑定相机，通过智能实时地分析当前机器人视野，得到该视野中的可通行区域，从而为更高层次的决策，例如路径规划或者其他任务的执行提供信息。基于图像的可行区域检测方法已经有一些发展，主要是通过检测边缘或者提取可行区域特征的方法。然而由于图像自身容易受到光照、场景和季节变化的影响等特点，目前的算法仍然存在诸多问题。首先，对于可行区域的要求严格，例如道路消失点必须存在，边界必须是直线，这些要求极大地限制了算法的应用。此外，算法无法适应不同的场景，在不同的场景中需要不同的最优参数。而机器人在移动过程中通常会遇到各种场景，固定的参数通常无法满足需求。



**11、可通行区域检测意义**

尤其是在科技强军的时代，传统的技术已经无法适应科技型战场，一系列无人技术装备的产生也使得人员的伤亡大大减小。对于地面机器人，实现无人化需要的关键技术之一就是可行区域的检测。而在民用场景中，服务机器人同样需要检测机器人视野中的可行区域；在辅助驾驶系统中，如果汽车偏离可行区域，则系统可以及时提醒驾驶人注意安全

**12、视觉导航**

根据机器人是否具有先验的知识，可以将视觉导航技术分为以下三种方式：

基于地图的视觉导航技术(Map-using Visual Navigation)，其需要事先已知环境的模型。因此，在机器人工作之前，利用高精度的传感器将环境全局的路标(Landmark)准确记录下来，作为后续机器人导航时所需要的定位信息。环境场景模型的表示是这项导航技术应用的前提条件，常见的地图模型有栅格地图、几何地图、拓扑地图和语义地图。

基于地图创建的视觉导航技术(Map-building visual naviation)，也称之为同时定位与地图创建(Simultaneous Localization and Mapping, SLAM)。该技术要求机器人利用视觉传感器获取路标定位的同时将这条稳定的路径记录下来，即不断地添加新的局部路标构成全局地图以便于机器人的路径规划。这种方式适用于事先未知环境下的导航任务。此外，SLAM研究的难点在于如何有效和快速地滤除机器人系统中不确定的误差。

无地图的导航技术(Map-less visual navigation)，其不需要先验的地图信息，而仅仅依靠视觉当前捕获的信息加以处理与分析，最终得出可行进的路径。目前，该导航技术有以下两种：

第一种是基于图像光流法的导航方法。在空间中，物体的运动可以用三维运动矢量场描述。而在图像平面上，物体的运动往往是通过图像序列中图像灰度瞬时变化的趋势来体现的。将空间中的三维运动场转移到图像上就表示为一个二维的光流场(Optical Flow Field)。理想的情况下，图像中的光流法能够检测出场景中与相机存在相对运动的物体域，并且能够计算出该物体运动的速度大小和方向，而不需要预先知道场景中的任何信息。因此，光流法导航技术正是利用光流场速度大小和方向来判断物体与相机之间的距离，从而获取自身姿态的导航信息。有趣的是，研究仿生昆虫的飞行行为表明昆虫在飞行时利用了类似光流场的信息在狭窄走廊或封闭空间中保持居中飞行，而且能够进行避障和接近目标。受此启发，许多研究学者在无人机视觉系统中仅仅利用单目相机光流场的信息就能够恢复出场景的结构信息，从而辅助无人机实现避障和接近目标物体等任务。此外，还有利用光流法结合三维测量的结果（由立体视觉或惯性传感器提供），便可精确获取物体的距离信息，为机器人局部路径规划和导航提供参考信息。

第二种是基于场景识别与分割的导航方法。多数视觉导航方法都集中在图像特征信息的提取与匹配研究，而没有上升到对目标和场景属性的认知。这是因为目前计算机视觉和人工智能的水平还不能像人类一样学习和认知环境，所以仅仅只是利用图像或者辅助其他传感器求取环境中物体距离的信息来判断可行的路径，这与人类实现自主导航的方式是完全不同的。在早期的机器人导航技术研究中，也有学者尝试通过不依赖于坐标信息而实现导航的方式，比如给机器人发出一个命令“到桌子前面来”，这里面仅包含物体桌子的属性和相对方位信息。对于人类来说这是一个十分简单的命令，而目前对于机器人来说，则需要经过场景的理解和目标的识别，同时还要检测和分割出可到达目标的路径，这是一个相当复杂的过程，而且每一个关键环节都容易出现错误。在此归纳出该导航方式目前的研究思路有三点：

首先，可以利用图像目标识别技术将场景区域进行划分，分割出机器人能够通行的路径。通常事先从图像上学习障碍物和可行通道的颜色或者是纹理信息从而在测试场景中识别出可通行的路径。这种方式局限于纹理信息较为丰富，环境简单而且光照变化不大的情况。例如，在陆地自主车的研究中，最为关键的环节就是从图像中检测出道路的区域。通常根据单目相机的极线几何关系和道路近似平面的假设，便可以从连续顿的图像中识别出平坦道路的区域。

其次，图像的识别技术容易受到来自环境的干扰、自身姿态改变和遮挡等因素的影响。因此，也可以利用深度的信息来识别场景的信息，比如在室内或者室外近似平面的道路进行导航，利用深度图的统计特点可以分割出道路和障碍物的区域此外，对于非平面的道路可以定义一种锥形的空间障碍描述符，能够在野外或者特殊环境中区分出道路和障碍物的区域。

最后，利用图像与深度信息相结合的方式也能够识别和检测出场景中的可通行区域。这种方式的好处是即结合了图像场景快速识别的特点，又能够结合深度信息保证分割的准确性。比如，先从图像上检测或者分割出场景中的可通行的区域，再结合深度图的信息辅助判断该区域是否存在障碍物。

**13、自动驾驶分级**

Level 1 (驾驶辅助): 驾驶辅助系统能为驾驶员在驾驶时提供必要的信息采集，在关键时候，给予清晰的、精确的警告。相关技术有：车道偏离警告（LDW），正面碰撞警告（FCW）和盲点信息系统；

Level 2 (半自动驾驶):驾驶员在得到警告后，仍然没能做出相应措施时，半自动系统能让汽车自动做出相应反应。相关技术有：自适应巡航系统（ACC），紧急自动刹车（AEB），紧急车道辅助（ELA）；

Level 3 (高度自动驾驶):该系统主要是依靠汽车本身自带的传感器，通过对道路情况进行监测，从而让车辆可以在道路上安全行驶，但是这种情况必须在驾驶员监控的情况之下，并且汽车提供的自动控制行驶过程时长是根据周围环境发生动态变化的；

Level 4 (完全自动驾驶):汽车能够自己操作所有与安全相关的驾驶功能，并且可以通过互联网信息传输实现对道路状况及交通信号灯的检测，在这种情况下汽车可以完全实现自动驾驶，驾驶 者只需给导航系统提供一个目的地，剩下的事情就完全交给汽车自己去处理，这意味着驾驶员可以在车上从事其他活动，如上网工作、休息睡觉或娱乐。

**14、本文意义**

目前，在己知或结构化的环境中，移动机器人的视觉导航控制理论和方法已取得了大量的研究成果，而在未知，非结构化环境中的自主导航问题仍然没有完全解决。因此，本论文主要面向机器人在未知环境中实现自主导航的迫切需求，以视觉传感器获取环境信息，通过图像信息有效的处理和与分析，着重解决未知、复杂环境下移动机器人的避障、目标检测与跟踪等关键问题。

在已知或结构化的环境中，移动机器人自主导航控制理论和方法的研究已取得了大量的研究和应用成果。在当前及未来的实际应用中，移动机器人往往工作在未知的环境，而目前对于未知或非结构化环境中的机器人自主导航问题仍然没有得到很好的解决。

从目前移动机器人自主导航研究水平来看，我国与世界发达国家研究水平依然存在较大差距。特别是在复杂、动态、未知环境下的视觉自主导航方面，还处于起步阶段，仍然面临许多挑战性课题亟待解决，所以仍然需要不断深入地研究新的理论和方法。总之，加快视觉导航技术的研究步伐，以提高我国在智能移动机器人领域的技术水平，不仅使其在国际旳高科技领域上占有一席之地，而且能够更好地服务。

随着移动机器人技术的不断发展，移动机器人平台的应用范围己经从室内结构化环境向室外非结构化环境不断拓展，机器人的环境识别与环境表述要求也已经由简单二维场景向复杂三维场景不断提高。在这样的发展变革过程中，具有较强环境适应能力和环境通过能力的无人智能车受到了越来越多的关注。近年来关于无人智能车的研究发展十分迅速，尤其随着国内外相关领域一系列赛事的举办，更加推动了智能车研究与应用的快速发展。目前，相关研究在智能化交通、自主环境探索及军工航天等方面均有广阔的应用前景。本章中所介绍的自主研发的野外无人车主要应用于室外自然环境，着眼于实现在城市街道与野外地形条件下的无人驾驶、环境探索及三维地图构建等任务。

**15、自主驾驶关键技术**

智能车辆是一个集环境感知层、决策控制层和操作执行层于一体的综合控制系统。智能车辆是一个高度智能化的复杂系统，它综合运用了多种学科领域的多项技术实现其自主性、适应性和交互性。由于实际环境的动态复杂性及不确定性，智能车辆自主导航的研究主要面临包括环境信息感知、自主规划与决策、车辆运动控制等几个方面的关键问题和技术挑战。