

5.1 控制系统概述

本章主要介绍了无人车控制系统的组成和技术(包括自动驾驶的纵向控制和横向控制技术),并对基于人工智能的控制方法进行了介绍,对传统控制算法和先进的智能控制算法进行了比较。最后分析研究了人机交互系统的关键技术和发展现状。

5.2 无人车控制架构设计

无人车是通过车载传感系统感知道路环境,自动规划行车路线并控制车辆到达预定目标的智能车。智能车利用车载传感器来感知车辆周围环境,并根据感知所获得的道路、车辆位置和障碍物信息,控制车辆的转向和速度,从而使车辆能够安全、可靠地在道路上行驶。智能车集自动控制、体系结构、人工智能、视觉计算等众多技术于一体,是计算机科学、模式识别和智能控制技术高度发展的产物,也是衡量一个国家科研实力和工业水平的一个重要标志,在国防和国民经济领域具有广阔的应用前景。

智能驾驶系统基于环境感知技术对车辆周围环境进行感知,并根据感知所获得的信息,通过车载中心计算机自主地控制车辆的转向和速度,使车辆能够安全、可靠行驶,并到达预定目的地。无人驾驶是汽车智能化的终极目标,是信息通信等先进技术在汽车上的深度应用,体现了更便捷、更简单的人车交互方式,是对人们更大程度的“解放”。它将在减少交通事故、提高运输效率、完成特殊作业、国防军事应用等领域发挥至关重要的作用。

智能驾驶的关键技术是环境感知技术和车辆控制技术,环境感知作为第一环节,处于智能驾驶车辆与外界环境信息交互的关键位置,其关键在于使智能驾驶车辆更好地模拟人类驾驶员的感知能力,从而理解自身和周边的驾驶态势。车辆控制技术是无人车行驶的核心,包括轨迹规划和控制执行两个环节,这两项技术相辅相成共同构成智能驾驶汽车的关键技术。智能驾驶的整个流程归结起来有三个部分:①通过雷达、相机、车载网联系统等对外界

的环境进行感知识别；②在传感感知融合信息的基础上,通过智能算法学习外界场景信息,规划车辆运行轨迹,实现车辆拟人化控制融入交通流中；③跟踪决策规划的轨迹目标,控制车辆的油门、刹车和转向等驾驶动作,调节车辆行驶速度、位置和方向等状态,以保证汽车的安全性、操纵性和稳定性。如果能够默契地进行,那么整个智能驾驶流程就算完成了。综上所述,研究自动驾驶的控制技术具有十分重要的意义。

智能驾驶的系统将驾驶认知形式化,利用驾驶认知的图表达语言,设计通用的智能驾驶软件结构。在这一架构中,智能决策模块并不直接与传感器信息发生耦合,而是基于多传感器的感知信息、驾驶地图和车联网通信等先验信息综合形成的驾驶态势完成自主决策,智能驾驶试验平台软件架构如图 5-1 所示。

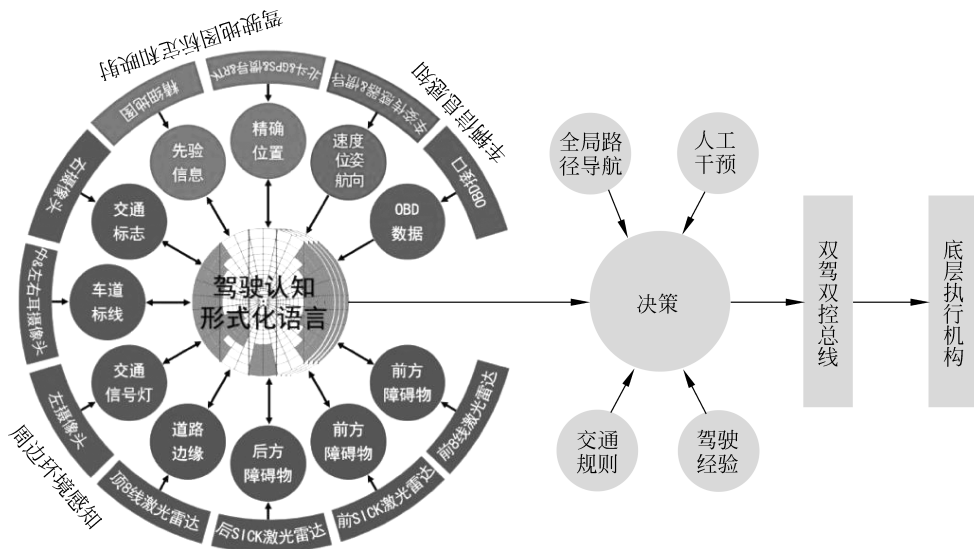


图 5-1 智能驾驶试验平台软件结构示意图

平台软件运行模块包括：多传感器信息处理模块,由驾驶认知的图表达语言统一输出构成驾驶态势实时信息；驾驶地图信息模块,根据车辆实时位置及朝向,映射到驾驶态势中,与驾驶态势实时信息融合,形成全面反映当前驾驶态势的公共数据池；车联网通信信息模块,利于 V2X 系统,使车与车、车与基站之间能够通信互联,获得周边交通流实时路况、路口标识、交通灯标示信息以及来自外部云服务器的超视距路况信息；决策控制模块,以行驶环境信息数据池为基础,综合考虑交通规则、驾驶经验、全局路径等先验知识,完成决策。此外,融合了实时信息与先验知识的行驶环境信息数据池,也能够帮助传感器信息处理模块确定感兴趣区域,帮助驾驶地图信息模块及时更新先验信息,提升智能驾驶的性能。

此外,智能汽车的软件结构将决策控制与传感器的感知信息解耦,增加或减少一路或几路传感器,改变传感器型号或安装位置,不再对决策控制直接造成影响。整个软件结构只需做很少的改动,甚至完全不需要调整,就可以在不同试验平台上方便地进行移植。

5.3 自动驾驶控制核心技术

自动驾驶控制技术是在环境感知技术的基础上,根据决策规划出目标轨迹,通过纵向和横向控制系统的配合使车辆能够按照跟踪目标轨迹准确稳定地行驶,同时使车辆在行驶过程中能够实现车速调节、车距保持、换道、超车等基本操作。

自动驾驶控制技术的核心是车辆的纵向控制和横向控制技术。纵向控制即车辆的驱动与制动控制;横向控制即方向盘角度的调整以及轮胎力的控制。实现了纵向和横向自动控制,就可以按给定目标和约束自动控制车辆的运行。所以,从车本身来说,自动驾驶就是综合纵向和横向控制。但要真正实现点到点的自动驾驶运行,车辆控制系统必须获取道路和周边交通情况的详细动态信息和具有高度智能的控制性能。完善的交通信息系统和高性能、高可靠性的车上传感器及智能控制系统是实现自动驾驶的重要前提。由于点到点自动驾驶的难度,人们提出首先实现自动驾驶路段的概念,即在路况简明的高速公路段开辟可自动驾驶路段,进入这种路段可以启动自动驾驶,出这个路段时再转成人工驾驶。由于道路条件和车上控制系统性能的限制,目前考虑的自动驾驶结构几乎都是手动和自动可转换的。

自动驾驶控制技术需要在智能驾驶车辆上配置各种对应的系统才能实现其复杂的功能,目前这些系统包括车道保持系统(Lane Keeping System, LKA)、自适应巡航控制系统(Adaptive Cruise Control, ACC)、自动泊车系统(Automatic Parking, AP)、紧急制动(Autonomous Emergency Braking, AEB)等。

车道保持系统:使无人车遵循道路标志和声音警告并在车辆开始偏移车道时调整方向,保证无人车沿着目标车道线行驶。

自适应巡航控制系统:使无人车和前面的车辆始终保持一个安全的距离,确保无人车的安全性。

自动泊车系统:使无人车能够顺利地实现在停车位的倒入和离开。

紧急制动系统:使无人车在遇到紧急情况时能够充分有效制动,同时使无人车处于人们的监视和控制范围之内。

5.3.1 车辆纵向控制

车辆纵向控制是在行车速度方向上的控制,即车速以及本车与前后车或障碍物距离的自动控制。巡航控制和紧急制动控制都是典型的自动驾驶纵向控制案例。这类控制问题可归结为对电机驱动、发动机、传动和制动系统的控制。各种电机-发动机-传动模型、汽车运行模型和刹车过程模型与不同的控制器算法结合,构成了各种各样的纵向控制模式,其典型结构如图 5-2 所示。

此外,针对轮胎作用力的滑移率控制是纵向稳定控制中的关键部分。滑移率控制系统

通过控制车轮滑移率调节车辆的纵向动力学特性来防止车辆发生过度驱动滑移或者制动抱死,从而提高车辆的稳定性和操纵性能。制动防抱死系统(Antilock Brake System, ABS)是在汽车制动时,自动控制制动器制动力的的大小,使车轮不被抱死,处于边滚边滑(滑移率在20%左右)的状态,以保证地面能够给车轮提供最大的制动作用力值。一些智能滑移率控制策略利用充足的环境感知信息设计了随道路环境变化的车轮最优滑移率调节器,从而提升轮胎力的作用效果。

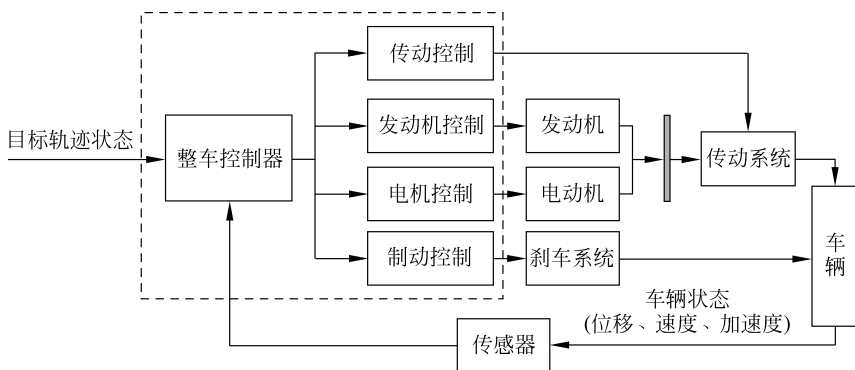


图 5-2 纵向控制基本结构

智能控制策略,如模糊控制、神经网络控制、滚动时域优化控制等,在纵向控制中也得到广泛研究和应用,并取得了较好的效果,被认为是最有效的方法。而传统控制的方法,如比例-积分-微分(Proportion Integration Differentiation, PID)控制和前馈开环控制,一般是建立发动机和汽车运动过程的近似线性模型,在此基础上设计控制器。这种方法实现的控制,对模型依赖性大及模型误差较大,所以精度差、适应性差。从目前的论文和研究的项目来看,寻求简单而准确的电机-发动机-传动、刹车过程和汽车运动模型,以及对随机扰动有鲁棒性和对汽车本身性能变化有适应性的控制器仍是研究的主要内容。目前应用的系统,如巡航控制、防碰撞控制,都是自主系统,即由车载传感器获取控制所需信息,而往往缺乏对V2X车联网信息的利用。在智能交通环境下,单车可以通过V2X通信信息系统获得更多周边交通流信息以用于控制。在纵向控制方面,可利用本车及周边车辆位置、当前及前方道路情况、前车操纵状态等信息实现预测控制,达到提高速度、减小车间距的同时保证安全,即达到安全、高效和节能的目的。

5.3.2 车辆横向控制

车辆横向控制是指垂直于运动方向上的控制,对于汽车也就是转向控制。目标是控制汽车自动保持期望的行车路线,并在不同的车速、载荷、风阻、路况下有很好的乘坐舒适性和稳定性。

车辆横向控制主要有两种基本设计方法:一种是基于驾驶员模拟的方法;另一种是基

于运动力学模型的控制方法。基于驾驶员模拟的方法有两种策略,一种策略是使用较简单的运动力学模型和驾驶员操纵规则设计控制器;另一种策略是用驾驶员操纵过程的数据训练控制器获取控制算法。基于运动力学模型的方法要建立较精确的汽车横向运动模型。典型模型是所谓单轨模型,或称为自行车模型,也就是认为汽车左右两侧特性相同。横向控制系统基本结构如图 5-3 所示。控制目标一般是车中心与路中心线间的偏移量,同时受舒适性等指标约束。

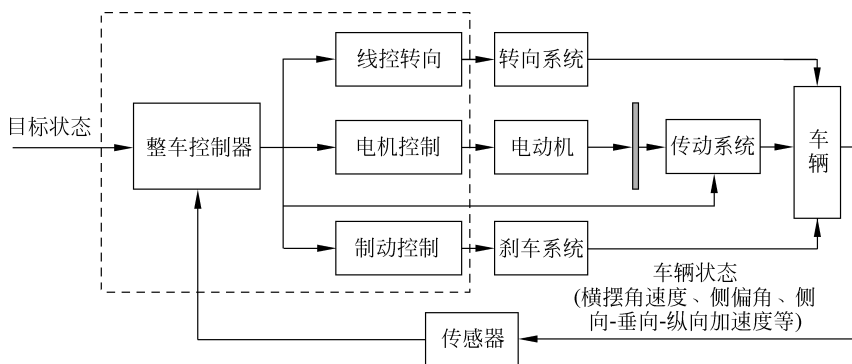


图 5-3 横向控制系统基本结构

针对低附着路面的极限工况中车辆横摆稳定控制是车辆横向控制中的关键部分。传统操纵稳定性控制思路,如电子稳定性控制系统和前轮主动转向系统等,控制分布的轮胎作用力和前轮转向,通过利用轮胎附着力和降低轮胎利用率来提高车辆稳定性。大多数文献沿袭冗余驱动的控制分配框架,通过改变内外侧轮胎驱/制动力差异的方法,增加单侧驱/制动转矩,并相应减小另一侧驱/制动转矩的方式为整车产生一个附加的横摆转矩来改善车辆转向动态特性,以保证车辆的横摆稳定性和行驶安全性。电子控制技术和电气化的发展给汽车底盘技术的突破带来了革命性的契机,也使得汽车的整体集成控制成为可能。同时在智能网联的交通环境下,单车可以通过自身环境传感、定位导航和 V2X 通信信息系统获得更多周边交通流信息用于横向控制,以利于提前感知道路危险,提高智能驾驶的安全性,如图 5-4 所示。

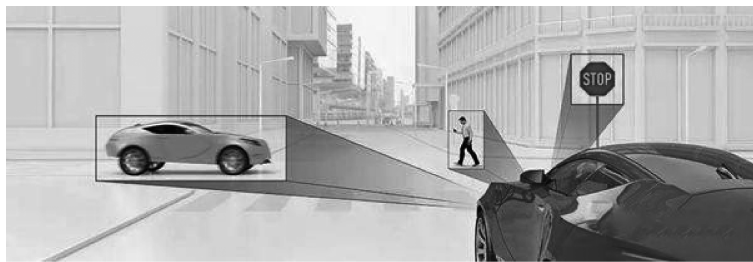


图 5-4 感知道路危险

5.4 自动驾驶控制方法

5.4.1 传统控制方法

传统的汽车控制方法主要有：PID 控制、模糊控制、最优控制、滑模控制等，这些算法应用都很广泛。

1. PID 控制

PID 控制器(比例-积分-微分控制器)，由比例单元 P、积分单元 I 和微分单元 D 组成。通过 K_p 、 K_i 和 K_d 三个参数进行设定。PID 控制器主要适用于基本上线性，且动态特性不随时间变化的系统。PID 是以它的三种纠正算法命名的。这三种算法都是用加法调整被控的数值，其输入为误差值(设定值减去测量值后的结果)或由误差值衍生的信号。

2. 模糊控制

模糊控制全称为模糊逻辑控制策略(Fuzzy Logic Control Strategy, FLCS)，其本质是一种计算机数字控制技术，集成了模糊理论、模糊集合论、模糊语言变量和模糊逻辑推理等。与经典控制理论相比，模糊逻辑控制策略最大的特点是不需要准确的数学公式来建立被控对象的精确数学模型，因此可极大简化系统设计和数学建模的复杂性，提高系统建模和仿真控制的效率。模糊控制系统在建模过程中，利用人类积累的相关知识和生活经验进行推理，模拟人类大脑处理复杂事件的过程，进而产生相应的控制思想，控制思想经过编译成为控制策略。模糊逻辑控制策略由工程人员的控制思路 and 实践经验积累编译而成，具有较佳的鲁棒性、适应性以及容错性。其主要由定义模糊变量、模糊变量模糊化、定义规则库、推理决策和解模糊化 5 个环节组成。

3. 最优控制

最优控制理论是变分法的推广，着重于研究使控制系统的指标达到最优化的条件和方法。为了解决最优控制问题，必须建立描述受控运动过程的运动方程，给出控制变量的允许取值范围，指定运动过程的初始状态和目标状态，并且规定一个评价运动过程品质优劣的性能指标。通常，性能指标的好坏取决于所选择的控制函数和相应的运动状态。系统的运动状态受到运动方程的约束，而控制函数只能在允许的范围内选取。同时，最优控制的实现离不开最优化技术。最优化技术是研究和解决如何将最优化问题表示为数学模型以及如何根据数学模型尽快求出其最优解这两大问题。

4. 滑动模态控制

在系统控制过程中，控制器根据系统当时状态，以跃变方式有目的地不断变换，迫使系统按预定的“滑动模态”的状态轨迹运动。变结构是通过切换函数实现的，特别要指出的是，通常要求切换面上存在滑动模态区，故变结构控制又常被称为滑动模态控制。

5.4.2 智能控制方法

相对于传统的控制方法,智能控制方法主要体现在对控制对象模型的运用和综合信息学习运用上,主要有基于模型的控制、神经网络控制和深度学习方法等,目前这些算法已逐步在汽车控制中广泛应用。

1. 基于模型的控制

基于模型的控制一般称为模型预测控制(Model Predictive Control, MPC),又称为滚动时域控制(Moving Horizon Control, MHC)和后退时域控制(Receding Horizon Control, RHC),它是一类以模型预测为基础的计算机优化控制方法,近些年来被广泛研究和应用的一种控制策略。其基本原理可概括为:在每个采样时刻,根据获得的当前测量信息,在线求解一个有限时域的开环优化问题,并将得到的控制序列的第一个元素作用于被控对象,在一个采样时刻,重复上述过程,再用新的测量值刷新优化问题并重新求解。在线求解开环优化问题获得开环优化序列是模型预测控制与传统控制方法的主要区别。预测控制算法主要由预测模型、反馈校正、滚动优化、参考轨迹4个部分组成,最好将优化解的第一个元素(或第一部分)作用于系统。

优化问题:

$$\begin{aligned} \min_{U_k} & J(y(k), U_k) \\ C_1: & u_{\min} \leq u(k+i|k) \leq u_{\max}, \quad i=0,1,\dots,p-1 \\ C_2: & y_{\min} \leq y(k+i|k) \leq y_{\max}, \quad i=1,2,\dots,p \\ C_3: & x(k+1) = f(x(k), u(k)), x(0) = x_0 \\ C_4: & y(k) = h(x(k), u(k)) \end{aligned} \quad (5-1)$$

2. 神经网络控制

神经网络控制是研究和利用人脑的某些结构机理以及人的知识和经验对系统的控制。利用神经网络,可以把控制问题看成模式识别问题,被识别的模式映射成“行为”的“变化”信号。神经网络控制最显著的特点是具有学习能力。它是通过不断修正神经元之间的连接权值,并离散存储在连接网络中来实现的。它对非线性系统和难以建模的系统的控制具有良好效果。一般情况下,神经网络用于控制系统有两种方法:一种是用其建模,利用神经网络能够近似任何连续函数和其学习算法的优势,存在前馈神经网络和递归神经网络两种类型;另一种是直接作为控制器使用。

3. 深度学习方法

如前面所述,深度学习源于神经网络的研究,可理解为深层的神经网络。通过它可以获得深层次的特征表示,免除人工选取特征的繁复冗杂和高维数据的维度灾难问题。深度学习在特征提取与模型拟合方面显示了其潜力和优势。对于存在高维数据的控制系统,引入深度学习具有一定的意义,近年来,已有一些研究关注深度学习在控制领域的应用。目前较

为公认的深度学习的基本模型包括基于受限玻尔兹曼机(Restricted Boltzmann Machine, RBM)的深度信念网络(Deep Belief Network, DBN)、基于自动编码器的堆叠自动编码器、卷积神经网络(Convolutional Neural Networks, CNN)、递归神经网络(Recurrent Neural Networks, RNN)。无人驾驶系统需要尽量减少人的参与或者没有人的参与,深度学习自动学习状态特征的能力使得深度学习在无人驾驶系统的研究中具有先天的优势。如何充分利用和发挥深度学习在无人驾驶系统中的优势并发展深度学习在复杂环境感知方面的无人驾驶系统控制是目前的研究方向。

5.5 自动驾驶控制技术方案

根据从行驶环境到驾驶动作的映射过程,自动驾驶控制技术可以分为间接控制和直接控制两种不同方案。

5.5.1 基于规划-跟踪的间接控制方案

自动驾驶间接控制是一类基于规划-跟踪的主流智能驾驶车辆控制方案。根据当前车辆行为需求,在满足车辆自身运动学和动力学约束条件下规划出一条空间上可行且时间上可控的无碰撞安全运动轨迹,然后设计适当的控制律跟踪生成的目标轨迹,从而实现自动驾驶,如图 5-5 所示。

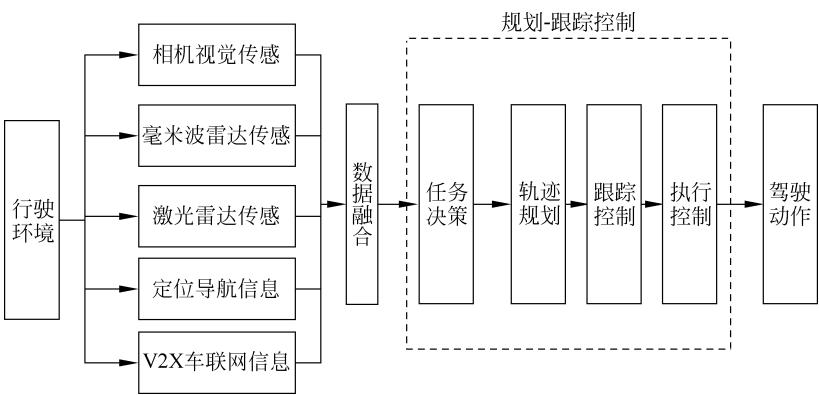


图 5-5 基于规划-跟踪的间接控制方案

早期的轨迹规划方法实际上是机器人研究领域的路径规划方法的某种扩展,20 世纪 80 年代后期被引入智能汽车。这类方法给出的路径由直线和圆弧线两种基本元素构成,由于曲率在线段连接点处不连续,迫使车辆运动到连接点处时需要停下来完成转向动作,导致车辆运动过程的不连续。要消除这种情况,一种方法是采用精确的位置传感器和高频跟踪控制器来实现;另一种是通过修改轨迹规划方法来获得平滑的连续曲率轨迹。显然,后者更具现实意义。

回旋曲线是一种被广泛应用于高速公路设计的线形表达方法,当用于连接直线和圆弧线时,能有效地起到平滑作用。Nelson 认为这类方法的缺点是轨迹表达式以弧长为参数,使用时需要进行积分,容易产生积累误差,并建议用 5 次多项式和极坐标样条以封闭式表达方式给出轨迹表达式。类似地,Bravo 采用了刀样条。Fraichard 在 Reeds 和 Shepp 的研究基础上,考虑了轨迹曲率和曲率变化率的限制,相当于用运动学特性来约束轨迹曲率,这种方法在低速情况下,例如辅助泊车系统中获得了较好的应用,但在车辆行驶速度较高时将无法适用。

基于规划的自动驾驶车辆的转向控制器的设计发展较为成熟。Tsugawa 等最先报道了采用视觉输入的比例控制方法解决自动驾驶车辆转向控制的问题。Alberto Broggi 在 ARGO 无人车中也采用了类似的经典 P 控制器。近期研究表明,经典 PID 控制法可以应用于某些典型路况,但控制精度难以保证。人工智能法为复杂系统的控制问题提供了一条新的途径,在自动驾驶车辆转向行为控制中已有很多应用的报道。Pomerleau 基于神经网络设计了自动驾驶车辆转向控制器。Naranjo 等利用模糊逻辑建立控制模型来模仿人类驾驶员的驾驶行为,研究了转向行为控制和换道行为控制。在该方法中,控制规律和控制器先以驾驶员对驾驶经验的描述初步确定参数,再根据实验结果对参数进行调整至最优性能。Perez 等基于自适应神经网络的模糊推理系统设计了无人驾驶车辆控制器,可以直接从人类驾驶经验样本中离线获得控制器参数的配置。Onieva 等研究了遗传算法对控制器参数的离线自调整方法。Bageshwar 和 Keviczky 基于模型预测控制理论,分别研究了自动驾驶车辆自主巡航控制模型和主动转向控制模型。Zhang 和 Gong 等基于跟踪预估控制和模糊逻辑理论,研究了控制器参数的自调整方法。高振海和管欣分别提出了基于预瞄理论的其次自适应转向控制算法,及驾驶员确定汽车预期轨迹的模糊决策控制模型。

5.5.2 基于人工智能的直接控制方案

自动驾驶的直接控制是一类基于人工智能的智能驾驶车辆自主控制决策方案。实际过程中如果控制对象的特性和环境的状态全部已知,即可以进行精确的数学建模,则基于传统控制策略就可以获得满意的控制性能。实际上汽车行驶环境包括行驶道路、周边交通和气象条件等诸多因素,具有高度的不确定、不可重复、不可预测和不可穷尽等特征,同时车辆本身的非线性、不确定性也很严重,很难建立精确的数学模型进行控制律的设计,因此传统控制策略已无法完全满足智能驾驶控制的要求。自动驾驶直接控制方法采用人工智能等手段,建立了从行驶环境到驾驶动作的直接映射过程,具体来讲是在认知的范畴内试图建立一种先进的驾驶员模型以完成实际复杂驾驶过程,此外控制过程无须建立被控对象的数学模型,具有较强的机动性和实时性。

优秀的汽车驾驶员应具有过硬的汽车驾驶操作能力,不仅能够及时察觉、判断车内外环境的变化,还能够据此选择正确的方位和反应动作,从而有效地防止道路交通事故的发生。具体到简单场景(忽略道路中的其他车辆)的转向问题,优秀的驾驶员应至少具备:

(1) 正确的视觉注意机制。驾驶员的驾驶动作大部分是基于环境对视网膜的刺激,因此优秀的驾驶员在转向过程中视觉区域应趋向于某些习惯的固定区域。

(2) 根据环境对视网膜的刺激而采取的正确安全的操纵动作。某一固定曲率的弯道必然对应合适的方向盘转角和打方向的时刻,而优秀的驾驶员则会通过合适的组合将二者的时序和大小调到理想的效果。

已有的基于人工智能的直接控制方案均需要较多的先验知识,且模型参数难以在线自适应,对环境的适应性差。近年来,利用增强学习来解决以上问题已经成为一大趋势。增强学习的基本原理是基于心理学的“试错法”,能够在与环境的交互过程中根据评价性的反馈信号实现序贯决策的优化,从而可以解决某些监督学习难以应用的优化控制问题。但是,如何去除“试错法”中“同等初始条件的假设”一直是尚未得到解决的问题。同时对于复杂大系统的求解,其算法收敛速度直接影响控制器的实时性,因此如何利用有限已知的信息提高学习算法的实时性也是当前的一个研究难点。

基于人工智能决策控制模型本质上是模拟人脑对外界环境信息和车体本身信息的感知,同时由驾驶经验并同在线学习机制来获得持续稳定输出的过程,如图 5-6 所示。因此,如何建立合适的驾驶过程模型成为认知领域的一大难题。驾驶员行为的研究始于 20 世纪 50 年代,通用汽车研发人员希望通过研究驾驶员的行为,开发合理的辅助控制策略提高驾驶舒适性,降低交通事故率。通过对驾驶员驾驶样本数据的统计分析和系统辨识技术,建立基于某种场景的数学模型。

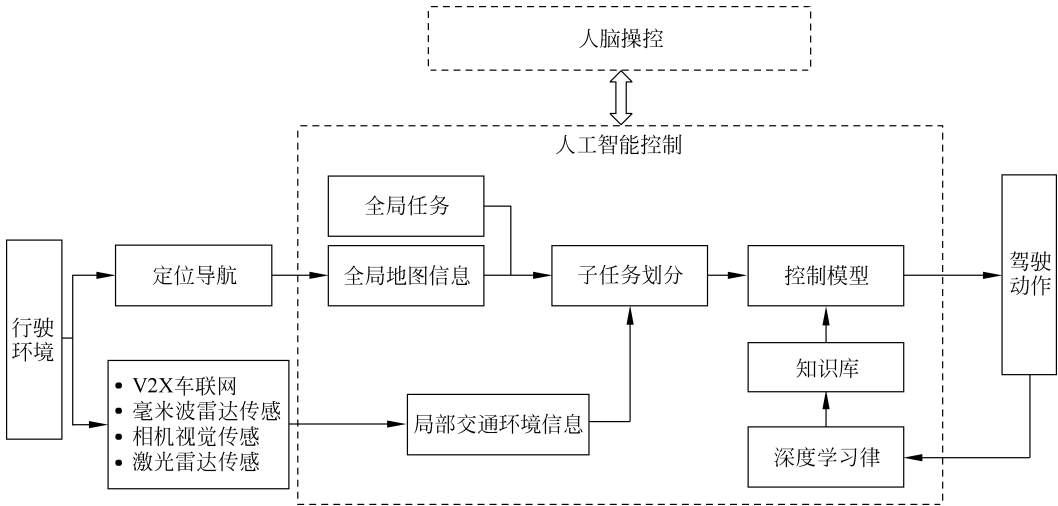


图 5-6 基于人工智能决策控制模型

驾驶行为具有异常复杂的模型,其分类方法也不尽相同,一种分类方法将驾驶员模型分为:跟车模型、转向模型等。跟车模型的研究起步相对较早,研究人员先后提出了线性和非线性动力学模型、线性最优模型、神经网络和模糊逻辑模型等。一般认为驾驶员转向模型研

究的里程碑为 MACDAM 的最优预瞄模型,国内学者郭孔辉对其也进行了相应的跟进研究,其研究思路基本上是基于车辆动力学和闭环操纵稳定性的研究,目的在于替代人类驾驶员从事专业且危险的汽车动力学测试工作,旨在对汽车设计过程进行指导,并没有涉及对无人车的转向控制的直接研究。据笔者的调研,到目前为止从学术界到工程界并没有建立一个公认的、完善的转向控制模型。MACDAM 和郭孔辉等提出的最优预瞄理论并没有考虑航向偏差对最优预瞄模型的贡献,且其最优预瞄仅限于高速公路上具有光滑曲率的小曲率转向模型,在交叉路口这样的城市路况下,其理论显然是不成立的。因此研究转向过程中具有普适性的驾驶员生理特性成为建立转向驾驶模型的当务之急。M. F. LAND 在文献中提出驾驶员在转向过程中视线总是集中在转向内侧的道路边缘的道路变向的点(TANGENT POINT)。D. D. Salvucci 在 M. F. LAND 基础上提出了一种“两点”转向驾驶员模型,他指出驾驶员在转向过程中注视前方一个远点和近点,利用近点保持汽车在路中间行驶,利用远点补偿前方的道路弯曲,实验结果显示和驾驶员驾驶相近。

尽管生理学、心理学在研究驾驶员转向行为中取得了很多令人欣慰的结果,却极少有人将这些成果应用到自动驾驶车辆技术中。其原因主要是:①前期研究的驾驶员转向计算模型都是基于某些固定的场景,获得的驾驶员模型适应能力较弱,距离工程应用还有一定的距离;②驾驶员模型的研究始于车辆工程领域,多是为了研究汽车闭环操纵稳定性以及汽车动力学优化设计等。

5.6 人机交互系统

5.6.1 人机交互系统的作用和意义

人机交互系统作为自动驾驶的关键组成部分之一,对于智能汽车的发展和应用有着十分重要的作用和意义,其包括:

(1) 进一步提高智能汽车的可靠性和安全性。发展自动驾驶技术的一个主要目的就是提高了交通系统的效率 and 安全性。绝大多数情况下,智能汽车对于问题的反应和处理速度都要比人快得多,其安全性要比人为控制高很多。但智能汽车毕竟不是人脑,其算法的复杂程度更无法与人的思维相比,在一些比较复杂、特殊的情况,例如在通过一些无路、施工或恶劣道路地域时,人们可以方便快速地对智能汽车进行接管控制。

(2) 拥有更强的实用性和更加出色的用户体验。智能汽车的设计最终是要让其能够为人们所用,更好地为用户服务,最大限度地满足人们的需求,人永远都是控制和享受服务的主体。优秀的用户体验对于智能汽车自然是必不可少的。

(3) 增强智能汽车的灵活性和机动性。优秀的人机交互系统可以使人们随时随地对智能汽车的行为进行干预,使其在处理问题时,能够根据实际情况的不同,按照人们的要求,采取更加合理的实施方案。

(4) 提高智能汽车的任务执行力。人们可以通过交互系统,方便地给智能汽车下达任

务命令,进行远程控制,实时监控其任务完成情况,并可以随时对目标进行变更和修正,使智能汽车能够更好地应用于智能交通及国防科技领域。

5.6.2 智能汽车人机交互系统的发展现状

目前世界上比较主流的人车交互系统主要有以下几种。

1. 奥迪 MMI

奥迪 MMI(Multi Media Interface,多媒体交互系统)包含两个部分:终端操作装置和显示区域。终端操作装置位于换挡杆和中央扶手之间;显示区域包括多媒体交互系统显示屏和驾驶员信息系统显示屏。在设计方面,两个部分都具有用户友好性和清晰易读性。

多媒体交互系统的终端操作装置具有最佳的操作便利性和清晰的布局,是一个依照人体工程学设计非常出色的控制装置。与仪表盘中的驾驶员信息系统显示屏一样,多媒体交互系统的显示屏不仅易于读取,而且安装在驾驶员的直接视线范围之内。显示屏和控制区域分别处于驾驶员能够直接读取和便于操作的位置,确保了道路始终在驾驶员的直接视野之内。

在行驶时,驾驶员信息系统显示屏显示车辆的最新数据以及电话和导航系统的状态信息(视设备而定),也可以读取基本的信息娱乐功能(例如选择无线电台或 CD 曲目)。这意味着大部分的重要信息始终处于驾驶员的直接视野之内。仪表盘显示屏与多媒体交互系统显示屏在外形上具有同样的风格,通过多功能方向盘上的菜单滚动键也可对其进行操作。

由于两个装置的操作原理一致,驾驶员从一个装置转向另一个装置时无须转换思维模式。驾驶员可以继续同样的操作逻辑。空调系统也是如此,鉴于温度调节对于驾驶员的重要性,空调系统采用了单独的控制装置,这个控制装置具备与多媒体交互系统相同的对用户友好的操作逻辑。

2. 奔驰 COMMAND

奔驰 COMMAND 包括显示屏、控制器、功能按钮和电话键区,COMMAND 可操作以下功能:音响功能、导航系统、电话和通信功能、DVD 视频和电视以及各种车辆设置。COMMAND 控制器正前方是 4 个功能按钮,可以直接控制光盘播放器/收音机、HOME(回家功能)、多方向可调座椅和电话/导航功能。

COMMAND 的聪明之处在于其可以区分该功能是每日使用的(如电台的选择和交通信息的播放)还仅是单次的设置(如系统的设置和低音的设置),系统会根据功能使用的频率来决定操作的先后顺序。菜单根据项目的相互关联性和使用的频率进行安排,当在菜单上进行选择时,系统会提示需要执行的操作路径。下一次再次选择这个菜单时,系统会直接显示该备选项目,减少操作的步骤。

3. 宝马 iDrive

智能驾驶控制系统 iDrive 是一种全新的、简单、安全和方便的未来驾驶概念,属于自动化和信息化驾驶系统的范畴,某些高级轿车和概念车上配备了这项最新的科技新技术。

iDrive 的使用节约了设置传统控制装置大量空间,使设计人员可以发挥他们的才智,创新地进行车内设计,使之更加符合人体工程学,使操纵更加便捷,同时仪表盘也更加简洁。iDrive 使用起来非常简便,包括 8 个主菜单,分别为车内气候、通信、娱乐、导航、信息、宝马服务支持、功能设置和帮助菜单。以气候调节为例,3 次简单操作就可以调节车内不同位置的温度和气流分布,如可以设定某个座椅的加热从腰部位置开始,而气流是以某种流量按设定的方向吹出。

iDrive 具备记忆功能,驾驶员可以把某种设置进行存储,信息就自动存储在汽车“钥匙”中。宝马 7 系列的车钥匙是一个智能卡片,进入汽车后将之放入插座内,然后简单地按“启动/熄火”键发动/关闭发动机。另外,该电子钥匙还可自动存储汽车所需维修保养服务的信息数据,使客户可以获得更便捷的服务。

但是,宝马公司在新 7 系列上推出 iDrive 系统时,由于操作相对较为复杂引起巨大争议。在后来推出的新 5 系列上,宝马的 iDrive 系统已大大简化,这也使 iDrive 系统的优势充分发挥出来。

4. 丰田 G-BOOK

丰田 G-BOOK 智能副驾系统于 2002 年在日本正式发布,是由无线网络、数据中心以及车载智能通信技术组成,其最基本的功能可以看作是导航系统功能的延伸和扩展。在功能逐渐扩展后,可为车主提供资讯、救援以及话务员直接服务等多种功能。

丰田 G-BOOK 包括 7 项主要功能:话务员服务、G 路径检索、资讯提供、紧急救援、道路救援、防盗追踪、保养通知。丰田 G-BOOK 在功能上主要是辅助设定导航、安全保障和资讯服务。在安全保障方面,提供了事故自动报警和防盗追踪。

5. 苹果 CarPlay

CarPlay 是苹果公司发布的车载系统,即将用户的 iOS 设备与仪表盘系统无缝结合。CarPlay 可以将 iPhone 手机的绝大部分基础功能,通过汽车的控制面板来使用。其中的部分功能包括 Siri 语音助理工具、iTunes 音乐播放、苹果地图以及短信服务。通过 CarPlay,驾驶员可以双手不离开方向盘就接打电话,另外还可以听到语音邮件的内容,如图 5-7 所示。



图 5-7 苹果 CarPlay

支持苹果公司全 CarPlay 的具体车型还很少,只有法拉利 FF、梅赛德斯奔驰 C-Class 以及沃尔沃 XCS90 SUV 三种车型,而且现在 CarPlay 移植于汽车上的技术并不成熟。CarPlay 并非苹果公司迈出的一大步,而更像是一个轻量级的 App,其作用是把 iPhone 映射到车载中控屏幕上,而非真正的车载系统。就如苹果公司自己所说,“It’s a smarter, safer way to use your iPhone in the car(这仅是在车内更智能、更安全的使用 iPhone 的一种方式)”,所以 CarPlay 只是一种辅助方式。

5.6.3 人机交互系统的核心技术

1. 人机界面技术

人机界面技术的研究主要针对驾驶员和车辆驾驶信息的交互。从 20 世纪 90 年代开始,美国、日本、欧洲等开始立项研究如何利用信息和通信技术来加强车辆的安全性和操纵性。如美国从 20 世纪 60 年代末期就开始研发的电子路径导航系统;日本政府推出了复杂车辆交通控制系统等研究项目;欧洲实施的交通和安全先导计划等。这些项目的研究推动了智能交通技术的发展。各大汽车厂商,如 Honda、Toyota、Nissan、Bosch、BMW 等相继推出了自主的电子导航系统。而开放给用户的导航界面正是最早的人机交互界面。

随着车辆控制功能的持续增多,越来越多的研究开始关注于人机界面的设计,如 Toyota 的集成操纵按钮、BMW 的 i-Drive 系统、Nissan 的人机交互界面等,如图 5-8 所示。一直到 20 世纪 90 年代末期,中控台的主流设计风格依然是屏幕加按钮的形式。

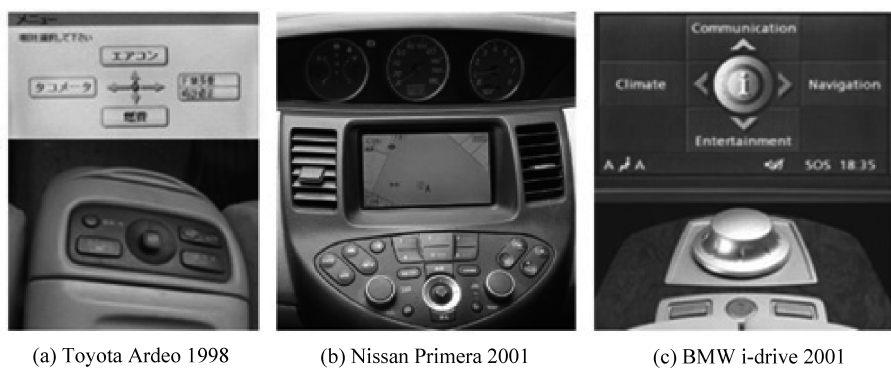


图 5-8 早期人机交互界面

直到 1990 年,驾驶员在人车系统中和车辆的交互仅是通过方向盘、操纵杆和踏板等装置。但是导航系统的出现,使得驾驶员在操纵汽车的同时还需要分散一部分精力到 HMI (Human Machine Interface, 人机界面) 上。这势必增加驾驶员的操纵负担,影响正常驾驶行为。因此,针对驾驶员在使用 HMI 中造成的精力分散的问题,人们开展了对 HMI 的改进设计研究,并提出了很多 HMI 的设计准则,如 UMTRI 设计准则和 HARDIE 设计准则,ISO 也提出了车内 HMI 的相关设计准则。由于画面交互系统会分散驾驶员的目光,从而增加驾驶员的驾驶负担,为了解决这一问题,声音交互系统逐渐发展起来。

2. 人机共驾技术

人机共驾技术的研究主要面向先进辅助驾驶系统。进入 21 世纪以后,人们对于车辆安全的研究已经从原先的被动安全转变为主动安全。1970 年,制动防抱死系统第一次市场化应用标志着主动安全系统的开始。随后,电子稳定性控制系统、自适应巡航系统等在 20 世纪 90 年代相继研发出来。除此之外,人们对嵌入在 HMI 界面中的后视系统、车道保持系

统、车道偏离预警系统、盲点监测系统、辅助换道系统等也都相继展开了研究。

为了发展辅助驾驶过程中的人机交互系统研究,欧洲、德国、日本等相继启动了相关研究项目。作为先进辅助驾驶系统中的一部分,驾驶员行为特性也得到了广泛的研究,如跟车行为、车道保持行为和制动行为等。

随着具有不同功能的自动数据采集系统(Automatic Data Acquisition System, ADAS)的发展,多个 ADAS 和驾驶员之间的协调问题日益凸现出来。如果车辆上安装有多个 ADAS,那么驾驶员将会收到多个预警信号和其他信息,尤其是在复杂工况下,这会使驾驶员感到困惑并无法对预警信号作出回应。对于辅助驾驶系统,人机交互是其中很重要的一环。随着越来越多的辅助驾驶系统进入产品化的阶段,系统对于车辆的控制权变得越来越大、越来越复杂。如果不能很好地协调好各个辅助驾驶系统,驾驶员就不能正确分析出车辆的运动状态,进而无法做出正确的操纵判断。因此,如何将多个辅助驾驶系统和驾驶员之间进行集成已经成为当前的一个研究热点。ADAS 本身就被定义为辅助驾驶系统,这就不可避免地需要考虑到和驾驶员行为之间的交互关系。如果辅助驾驶系统不考虑驾驶员的操纵行为反而会增加车辆行驶过程中的危险性。

3. 驾驶行为特性研究

驾驶员在真实道路中的驾驶行为研究是人机共驾技术中十分重要的一部分,也是智能辅助系统研究的基础。尽管真实道路试验具有成本高、数据量大、试验采集复杂等缺点,但是各国依然在这一方面做了大量的工作。美国国家高速公路交通安全局投入 100 辆汽车进行了驾驶员行为研究。他们采集了车辆状态信息、道路交通信息和在事故工况下以及濒临事故工况下的驾驶员行为信息。最终研究表明,注意力分散是事故发生的根源。日本新能源和工业技术发展组织利用三年的时间收集了正常工况真实环境下驾驶员行为数据。欧洲 EURO-FOT 和 PROLPGUE 项目收集了数量十分可观的驾驶员信息。其中,EURO-FOT 主要关注于驾驶员信息在 ADAS 中的应用部分。

计算机图形学和计算性能的发展使得道路结构和交通车行为的虚拟建模成为可能,这就使得驾驶模拟器可以模拟更为广泛的道路和交通状况。再加上处理器处理能力的发展和成本的下降,驾驶模拟器再次成为驾驶员行为特性研究的有力工具。和真实道路试验相比,驾驶模拟器具有可重复性好、工况设定更为灵活、耗时少、效率高、风险低等优点。尽管驾驶模拟器现在被广泛地应用于驾驶员特性研究中,但是对于通过驾驶模拟器获得的驾驶员特性数据和真实道路试验获得的驾驶员特性数据相比,其可靠性仍然需要进一步的验证。一个高质量的研究项目仍然需要平衡好驾驶模拟器实验数据和真实道路试验数据之间的关系。

5.6.4 人机交互系统的发展趋势

通过对目前人机交互系统的研究现状的分析,未来有关人机交互和人机共驾可能的发展趋势包括:

(1) 在人机交互设计过程中,需要考虑不同人群的需求,这也是未来 HMI 设计标准和准则的制定方向。

(2) 车辆中和驾驶员操纵输入密切相关的部分,如方向盘力感、踏板脚杆、座椅舒适度、体感等,依然会是未来的研究方向之一。更适合驾驶员的操纵输入和身体感知将是一个需要持续努力的研究方向。

(3) 对于 ADAS,驾驶员在获得辅助驾驶的同时,也会分散注意力增加驾驶负担,这是 ADAS 面临的一个重要问题。如何协调好驾驶员基本操纵行为和辅助驾驶系统之间的关系需进一步研究。

未来车辆以及交通领域不仅仅是驾驶员和车之间关系的研究,这一领域所面临的问题可能会是更为广泛的社会问题,需要更多领域的研究人员参与进来,如城市规划师、社会学家、人类学家等。

目前各国虽然都获得大量的驾驶员行为信息的数据库,但是如何将这些数据应用于工程系统中仍有待研究。

本章小结

本章主要介绍了无人车控制系统的组成和技术(主要的控制技术包括自动驾驶的纵向控制和横向控制技术),并对传统控制方法和先进的智能控制方法进行了比较,最后对人机交互系统的关键技术和发展现状进行了分析研究。