* + 1. 基于多传感器融合的无人驾驶技术研究现状
    2. 舵机控制算法的研究现状

 舵机是一种位置（角度）伺服的驱动器，适用于那些需要角度不断变化并可以保持的控制系统。目前在高档遥控玩具，如航模，包括飞机模型，潜艇模型；遥控机器人中已经使用得比较普遍。舵机的输入线共有三条，电源、地及控制。红色在中间是电源线，一边黑色的是地线，这辆根线给舵机提供最基本的能源保证，主要是电机的转动消耗。电源电压通常介于4V～6V之间。舵机的控制信号为周期是20ms的脉宽调制信号，其中脉冲宽度 从0.5ms-2.5ms，相对应舵盘的位置为0°-180°，呈线性变化。也就是说，给它提供一定的脉宽，它的输出轴就会保持在一个相对应的角度上，无论外界转矩怎样改变，直到给它提供一个另外宽度的脉冲信号，它才会改变输出角度到新的对应的位置上。

自动控制模块主要包括转向、驱动和制动三个系统。无人驾驶汽车的三个控制系统对控制的精确性、平顺性、响应延时等性能要求有着不同的侧重点。无人车的自动控制由舵机控制，无人车控制系统如图1.2所示，无人车按照规划好的路径行驶时，将无人车当前的位置和参考线进行比较得到与当前偏离参考线的误差，基于这个误差，我们设计一定的算法来产生输出信号，使得这个误差不断的变小，这样的过程就是反馈控制的一般过程。误差为0时则代表行驶正常。



图 1.2.1无人车控制结构图

PID控制是最早发展起来的控制策略之一，由于它具有算法简单、鲁棒性好、可靠性高等优点被广泛用于工业过程控制；它不需要知道被控对象精确的数学模型，但一般要求被控对象具有线性。PID就是指比例（proportion）、积分（integral）、导数（derivative），这三项表示我们如何使用我们的误差来产生控制指令，整个流程如图1.2.2下：

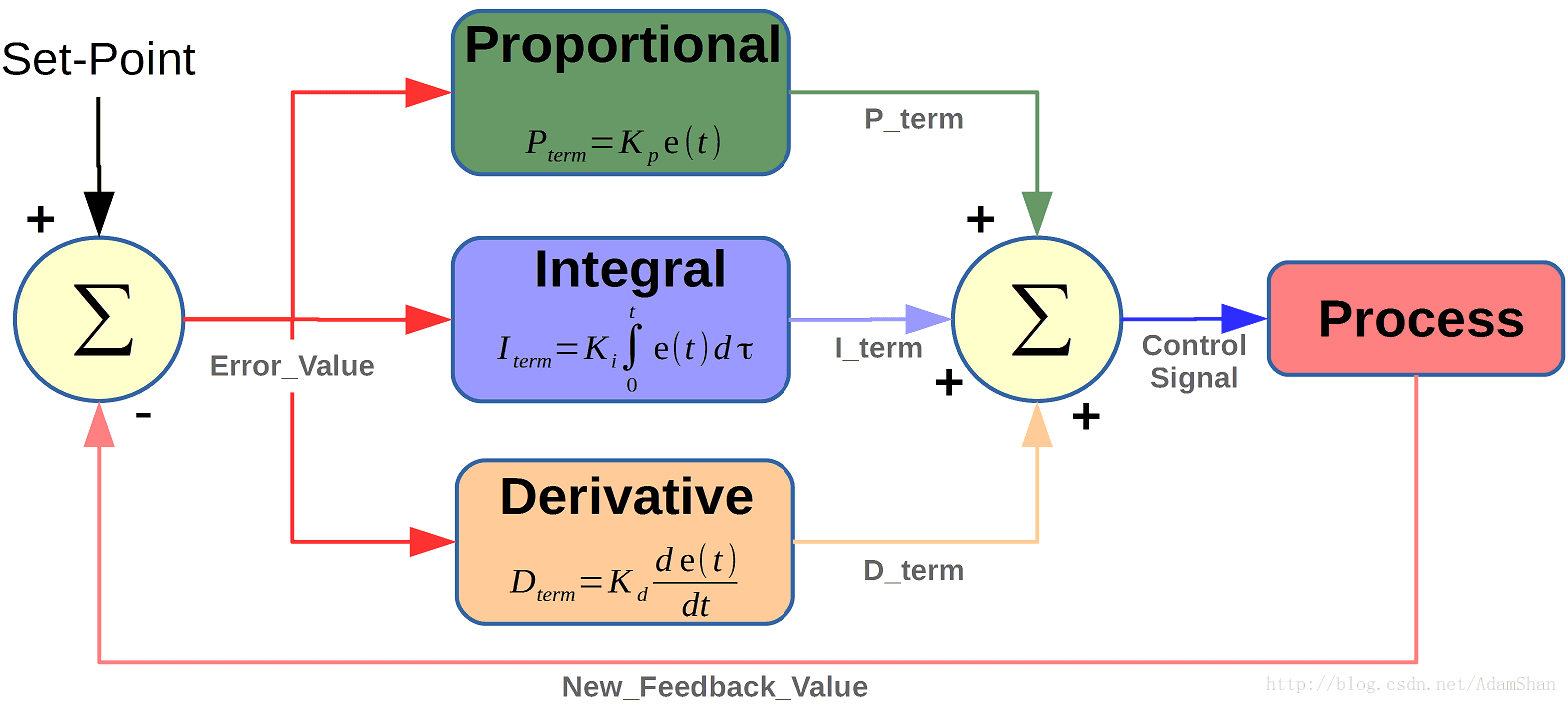


图 1.2.2 PID工作流程图

首先根据无人车当前位置反馈和参考值求出误差，这里的误差根据具体的情况可以是各种度量，比如说控制车辆按照指定的路径形式，那么就是车辆当前位置和参考线的距离，控制车辆的速度在设定的值，那么就是当前速度和设定速度的差值，求出误差以后，再根据误差求比例，积分和微分三项，其中 KpKp，KiKi ，和 KdKd 是三项的系数，它们决定着这三项对最后输出的影响的比重。将 P，I，D 三项求和作为最后的输出信号。

在智能车的控制系统中，转向控制是一个复杂的问题，其原因是控制对象舵机是一个非线性迟滞系统。采用常规PID控制器虽然简单易行，但一组固定不变的 PID 参数无法适应参数变化，干扰众多的控制系统，显然难以获得满意的控制效果。甚至当参数变化范围太大时，系统性能会明显变差。对此，王述彦等[1]提出了模糊PID控制器的模糊PID自整定控制方法。传统的控制方法满足不了控制精度的要求，而且抗干扰的能力较差，模糊控制可以克服以上问题。基于模糊控制和PID控制各自的优势和局限性，把PID控制和模糊控制结合起来，构成模糊PID控制，能够实现较好的控制效果。王顺杰[2]等在模糊PID控制的基础上提出了自适应PID控制，相比常规模糊PID控制器，改进的控制器具有更好的动态和稳态性能。闫秀英[3]等提出了一种基于改进Ziegler-Nichols参数整定方法的自校正PID控制器能够实时整定控制器参数，适应被控过程的变化，具有较强的实时参数估计和自校正能力。罗安[4]等提出了一种专家PID控制器能根据专家知识和经验实时调整PID参数，使得控制器具有良好的控制特性及鲁棒性，此外，该控制器结构简单，执行时间短，因此可望在工业控制领域中得到广泛应用。

古训[5]等采用位置式PID控制算法实现了无人车的方向控制，增量式PID控制算法实现了速度闭环控制，最终完成了无人车的自主循迹功能。肖文健[6]等采用增量式PID控制算法对无人车自动控制的方法使得智能车舵机的响应速度加快，方向控制更流畅，小车的稳定性和速度也得到了很大的提高。杨曌[7] 采用微分先行的PID算法，而电机控制算法近似闭环控制,创新地利用速度给定值与真实值的相反关系实现加减速。实践证明该方案是可行的。贾翔宇[8] 将前馈反馈控制方法运用到智能车的控制上，对偏差带来的干扰进行提前处理将不完全微分和微分现行算法引入到PID算法中，使得智能车系统的动态性能得到了很大的改善。无人车技术已经取得了很多可喜的进展，研究成果令人鼓舞，但还远未达到使用要求。随着传感技术、智能技术和计算技术等的不断提高，智能小车一定能够在科学探测、工业生产和日常生活中某种程度上扮演人的角色。

* + 1. 无人驾驶定位系统的研究现状

无人车高精度定位是是无人驾驶核心的技术之一。图1.1.3展示了无人驾驶定位系统，为了实现车道级的定位,在无人车行车环境中，寻求多定位源并进行多源融合定位是学术界和工业界的研究热点[冯黎]。无人驾驶车辆的定位方法可分为GPS、磁感应、惯导、视觉和激光雷达的slam等多种方法。根据无人车的应用场景，可采用不同的定位方法，下面将介绍几种常用的定位方法。



图 1.1.3 无人驾驶定位系统

1）GPS定位

基于GPS定位的方法是一种绝对位姿估计方法。该方法通过全球定位系统（Global Positioning System，GPS）来进行车辆定位。基于GPS的定位方法优点在于可全天候连续定位，使用差分GPS可实现厘米级定位，且适用于全局定位；缺点在于受环境影响较大，高楼、树木、隧道都会屏蔽GPS信号。

2）GPS+IMU定位结合GPS和IMU的优缺点可以发现两者可以实现互补，GPS可使用于长时间定位，但由于GPS更新频率较低，所以在一个更新周期内，采用IMU数据定位，即可实现较为准确的实时定位。

3）激光雷达技术的定位

事先通过采集车采取道路的3D点云地图数据，在无人驾驶车辆行驶过程中实时利用激光雷达采集点云数据，并与事先采集的点云数据进行比较，从而获取当前的车辆位置。它的优势在于探测精度高，探测距离远，对GPS的初值依赖度低，在没有GPS信号的场景下也能实现精准的车辆定位。缺点在于成本高，一个64线激光雷达价格在六七十万的量级，对于车企或者普通消费者很难承受。并且基于点云的地图数据时效性差，维护成本高。

4）基于Camera的定位

Camera提供了丰富的颜色和图像信息，处理这些信息正是深度学习技术的强项。通过深度学习模型识别车道线、道路上文字、停止线等固定的标识，并于高精地图数据进行对比，从而获取车辆的当前位置。它的优势在于成本低，一个摄像头几百块钱，缺点在与精度低，误差大，并且在强光、逆光、黑夜场景下的效果很差。

5）高精度组合惯导定位技术

利用陀螺仪和速度仪通过积分累加去推算车辆下一个时刻所处位置、航向。它的优势是不依赖外界环境，靠自身就可以实现定位。但存在的问题是，如果长时间推算，存在一个累计误差，随着时间越来越长，如果没有办法给它提供校正的话，这个误差就会越来越大。车辆上安装的毫米波雷达、超声波雷达都可以获取周围物体的状态信息，从而实现辅助定位的功能。

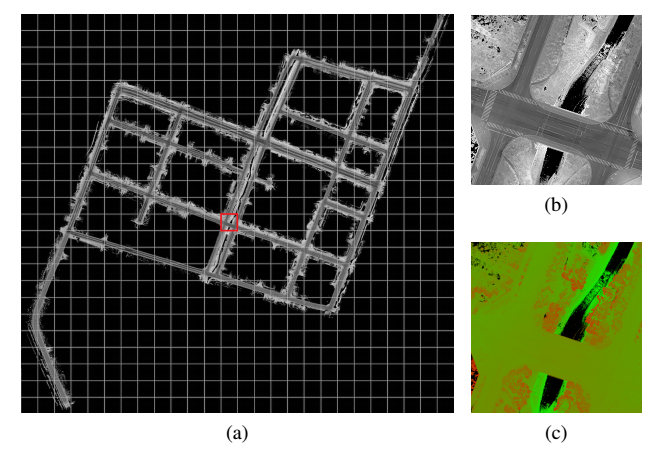


图 1.1.4 百度的激光雷达点云定位地图

上图1.1.4为百度的激光雷达点云定位地图。首先要提前制作一幅无人车将要行驶地区的激光雷达点云定位地图，包含有激光雷达强度成像图和高度分布图，这张图通常是地图厂家用测绘级激光雷达完成的。目前全球绝大多数厂家包括Waymo、福特、通用等都是如此。b为激光雷达反射强度成像图，c为高度分布图。这张图覆盖范围3.3\*3.1平方公里。表面上看高精度定位很复杂，实际计算中，耗费的运算资源并不算多，基于激光雷达的运算量远低于基于图像的运算量。

在各高校的无人车定位系统研究成果中，田学薇[9]等选用GPS列车定位技术中常用的差分GPS定位技术, 作为全自动无人驾驶轨道交通列车定位技术。段建民[10]等通过摄像头采集到车体周围环境信息图像并处理,最终得到建筑物上隅角与下隅角的差值，换算出建筑物相对车体所形成的遮挡角度，以此筛选GPS卫星有效信息，采用容积卡尔曼滤波对组合导航信息进行滤波估计，提高导航信息准确性，能有效弥补无人驾驶智能车城市道路环境中GPS信号偏差的缺点，较传统组合方式相比具有较高的可靠性及实用价值。姚二亮[11]等提出一种基于Vision-IMU的同时定位与地图创建算法，局部创建图线程利用光束平差法得到更加精确的环境信息，该算法能够处理光线变化环境,实时地得到更准确的机器人定位，特别是相机剧烈运动产生运动模糊时，算法依然保持较高的定位精度。[马杉](http://yuanjian.cnki.com.cn/Search/Result?author=%E9%A9%AC%E6%9D%89)[12]等采用相机定位的方法，结合张氏平面标定算法，提出了改进的基于二维平面迭代优化的摄像机内参数标定算法。该算法通过设定阈值对内参数进行多次测量，并通过LM算法对标定结果进行优化，进而提高了摄像机内参数标定精度，在基本不降低运动估计结果精度的前提下，减少了算法的实现复杂度。邹斌[13]等提出了一种基于车载三维激光雷达的道路分割提取方法。首先利用雷达探测角度提取激光雷达扫描单线，然后用改进K-means聚类算法获取最优聚类点集，再利用高度特征提取障碍物,结合基于密度的DBSCAN聚类方法提取路沿，最后根据最小二乘法对可通行区域进行曲线拟合。试验结果表明，该方法可以实时有效地提取路面可通行区域。赵文晔[14]等在传统PDR算法的基础上,使用KF融合陀螺仪数据和地图信息解算航向角，然后采用基于地图匹配的粒子滤波算法对轨迹结果进行处理，该方法消除了航向角误差过大对定位结果的影响,在提高室内定位的灵活性的同时增强了定位的稳定性和精度,并通过地图匹配减少了传统粒子滤波采样点数，降低了运算量。

激光雷达物体识别最大的优点是可以完全排除光线的干扰，无论白天还是黑夜，无论是树影斑驳的林荫道，还是光线急剧变化的隧道出口，都没有问题。其次，激光雷达可以轻易获得深度信息，而对摄像头系统来说这非常困难。激光雷达数据处理速度比摄像头要快，时间同步很有难度，两者还需要坐标统一；其次是摄像头对光线太敏感，可靠性低，远距离尤其明显。

* + 1. 路径规划的研究现状

路径规划在自动驾驶中占有比较重要的位置，一些路径的规划算法在自动驾驶的路径选择中比较关键。 路线规划(route planning)就是在给定起始点和目标点的前提下，结合当前实时的交通流信息规划出全局的道路路线。无人车的路径规划根据环境是否已知可分为基于地图的全局路径规划和基于传感器的局部路径规划。

全局路径规划有栅格分解法、拓扑法、惩罚函数法等。

栅格分解法是目前广泛研究的路径规划方法之一。该方法把移动机器人的运动环境分解为多个简单的栅格并根据它们是否被障碍物占据来进行状态描述，障碍物栅格和非障碍物栅格具有不同的标识值，它能快速直观地融合传感器信息。但是为了得到比较精确的规划结果，必须将环境划分为较小的栅格，这就导致存储空间增大，在大规模环境下路径规划的计算复杂程度将加大。为了克服栅格表示的存储空间问题，邰宜斌提了一种四叉树分割方法[15]，该算法递归地把环境分解为大小不一的矩形区域，这些矩形区域或者完全被障碍物占据，或者是完全自由可行的。每次递归都将一个较大的栅格划分为4个较小的栅格，取得了较好的计算效果。另外栅格分解法随着机器人自由度的增加会出现“维数灾难”问题，不适用于解决多自由度机器人在复杂环境中的路径规划。

拓扑法主要包括三部分：划分状态空间、构建特征网、在特征网上搜索路径。拓扑法的基本要素是节点和边，用节点表示某个特定的位置，用边表示这些位置之间的联系，可以用G=(V,E)描述空间的特征，其中V表示顶点集合，E表示连接顶点的边集合。利用该方法可缩小搜索空间，使得存储需求小，适合于大规模环境的路径规划，但是构建特征网的过程比较复杂，而且当障碍物增加时如何将增加的节点与已有节点进行节点匹配是一个难点。种琤[16]等提出了一种基于扫描法的构造环境拓扑图方法，利用启发式函数法实现对所构建拓扑图的扩展，采用了逐步构建环境拓扑图的方式，实现了在线构建,可应用于任意工作环境，且计算复杂度低，但此算法不能保证搜索到最优路径。

局部路径规划主要有模拟退火算法、蚁群算法和混合路径规划方法等。

* + 1. 本文难点与创新

### 参考文献

闫秀英, 任庆昌, 孟庆龙. 一种自校正PID控制器设计与仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(s2):753-756.

[5]古训, 郑亚利. 基于MK60单片机的微缩型无人驾驶智能车设计与实现[J]. 贵阳学院学报(自然科学版), 2017(4):80-85.

杨曌. 智能车算法的简单研究[J]. 硅谷, 2013(12):59-59.

贾翔宇, 季厌庸, 丁芳. 前馈-改进PID算法在智能车控制上的应用[J]. 计算机与信息技术, 2008(12):32-34.

段建民, 石慧, 战宇辰. 基于机器视觉筛选GPS卫星信号的无人驾驶汽车组合导航方法[J]. 电子技术应用, 2016, 42(1):111-114.

冯黎, 郭承军. 无人车高精度定位的研究现状与发展[C]// 中国卫星导航学术年会. 2018.

[11]姚二亮,张合新,张国良,徐慧,赵欣.基于Vision-IMU的机器人同时定位与地图创建算法[J].仪器仪表学报,2018(04):230-238.

[12]马杉. 基于视觉里程计的无人驾驶车辆定位关键算法研究[D]. 南京航空航天大学, 2017.

[13]邹斌,王磊.基于激光雷达道路可通行区域的检测与提取[J].自动化与仪表,2018,33(02):33-38+49.

[15] 邰宜斌，席裕庚.一种机器人路径规划的新方法[J].上海交通大学学报，1996，30（4）：94-100.

[16] 种琤，陈阳舟,崔平远，等.基于扫描法在线构造拓扑图的路经规划算法[J].计算机仿真，2006，23(4)：147-150.