

基于多段路径规划的自动泊车系统的设计与实现

Automatic Parking System Based on Muti-Segment Path Planning

陶逸群¹ 王小龙² 王 洋¹

(1 武汉理工大学自动化学院,湖北 武汉 430070;2 中国船舶重工集团公司第七二二研究所,湖北 武汉 430070)

摘要:以纯电动汽车为实验平台,完成了一种基于多段路径规划的自动泊车系统的设计及功能实现,主要介绍了自动泊车系统架构相关组成及其功能,明确了方案实施的关键技术,把路径规划作为基础进行设计,并搭建了系统工作逻辑流程图,最后实车试验证明该系统具有良好的控制性能。

关键词:自动泊车,无人驾驶,路径规划,实车试验

Abstract:This paper mainly completes the design and function realization of an automatic parking system,and introduces the relevant parts and functions of the automatic parking system architecture,and clarifies the key technologies for the implementation of the scheme.The path planning is used as the basis for design,and the logic flow chart of the system is built. Finally,the actual vehicle test proves that the system has good control performance.

Keywords:automatic parking,pilotless,path planning,actual vehicle experiment

自动泊车系统可以帮助驾驶员进行准确安全地泊车。本系统使用测距传感器和车速传感器自动检测车位大小,然后规划出一条的泊车路径,最后自动地控制车辆的转向系统、制动系统和动力系统遵循规划出的路径完成泊车。本系统的工作机制如下:车辆到达停车场地后,按下泊车按键,泊车功能立刻启动,激活超声波传感器,扫描路面两侧,通过比较停车的空间和车辆的长度,自动寻找合适的停车位。当找到合适的停车位后,通过检测当前车辆的位置与目标位置的关系,中央处理器即可计算出一条最佳的泊车路径,通过泊车过程中实时的调整方向盘转角,最终达到停到目标车库的目的。

1 自动泊车系统架构

自动泊车系统由超声波传感器、人机交互界面、轮速传感器、转向系统和泊车系统中央控制器五部分组成,其中超声波传感器、转向系统和轮速传感器的信号通过 CAN 通信来获取。系统框图如图 1 所示。

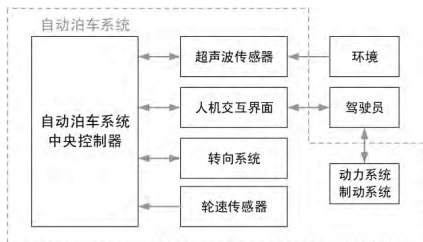


图 1 泊车系统框图

1)超声波传感器。自动泊车系统共需 12 只超声波传感器。在车辆前保险杠和后保险杠上分别安装四只短距离超声波传感器,该传感器检测距离近、覆盖面广,具有碰撞约束功能。在车身两侧分别装有两只长距离超声波传感器,该传感器检测距离远、精度高、波束角小,用来检测泊车空间。

2)人机交互界面。人机交互界面可以视为一个双向的交流通道,系统发送命令给驾驶员,驾驶员响应给系统。命令可以是图形、声音等驾驶员可以理解的形式。响应可以是触发、切换、取消等。

3)转向系统。车辆在运动过程中,其运动轨迹由方向盘控制。当超声波传感器完成车位探测后,中央控制器会根据环境信息规划出泊车路径,生成转向控制策略。

4)轮速传感器。轮速传感器主要用于测量车辆走过的距离,通过车轮的脉冲计数信号和轮胎动态半径就可获得车辆行驶的距离,当每个车轮转动一圈的脉冲数越大,则车辆的定位精度越高。

5)泊车控制器。控制器是整个泊车系统的核心,其作用是通

过 CAN 通讯采集超声波传感器信号、轮速脉冲信号和方向盘转角信号等,对采集到的信号进行分析和计算,从而生成泊车位识别、路径规划和控制策略等算法,结合车身状态信号,最终通过相应方式控制执行机构和显示模块的动作。

各组成模块的选型如表 1 所示。

表 1 各模块的型号及主要参数

关键模块名称	型号	供应商	关键参数
超声波传感器	短距倒车雷达	晟泰克	水平角: 81°; 垂直角: 29° 最远测距: 1.6 米
	长距雷达		水平角: 70°; 垂直角: 28° 最远测距: 4.2 米
控制器	MCU	MC9S12XDP512	Freescale
显示屏	LCD	MZL02 液晶	北京铭正同创

2 自动泊车系统技术实施方案

2.1 车辆运动学模型

车辆泊车时其运动轨迹可以认为是一个标准的圆,也就是车辆运行时可以认为是一个个的圆弧组成的圆周运动。同时,车辆泊车时其倒车的过程是一个低速行驶的过程,没有侧向力作用,可以认为只有车轮滚动没有侧向滑动,视车辆为矩形的平面内的刚体,如图 2 所示。

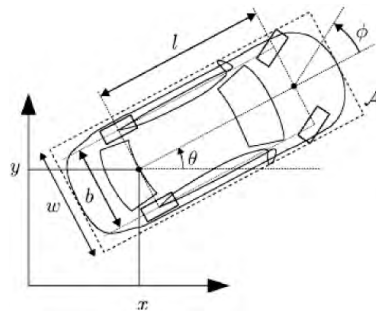


图 2 车辆运动学模型

车辆的数学模型可以由微分方程组表示为:

$$\begin{cases} \dot{x} = v(t) \cdot \cos\theta(t) \\ \dot{y} = v(t) \cdot \sin\theta(t) \\ \dot{\theta} = v(t) \cdot \rho(t) \\ \dot{\rho} = \omega(t) \end{cases} \quad (1)$$

其中, $\rho(t) = \tan\phi/l$ 为路径曲率, $\omega(t)$ 为曲率变化率。车辆的等效前轮转角具有一定的活动范围,因此路径曲率具有一个范围。车辆的等效前轮转角速度具有一个上限值。

2.2 车辆定位

规定系统启动时车辆的坐标与朝向为(0,0,0),即全局坐标系原点位于系统启动时车辆后轴中心位置,X轴朝向与车辆朝向相同。车辆定位通过周期性读取轮速传感器脉冲信号和方向盘转角信号,进行航位推算来实现。方向盘转角和等效前轮转角具有一一对应关系,等效前轮转角和路径曲率具有一一对应关系。

通过实验测得方向盘转角和路径曲率关系,以查询表的方式保存和计算。记 Δs_n 为第n个采样周期内车辆行驶距离。 Δs_n 由两个后轮轮速传感器的脉冲计数获得,需要有轮胎周长参数,此处忽略因胎压变化造成的轮胎周长变化。在第n个采样周期内车辆在全局坐标系X轴、Y轴方向上的位移和航向变化分别为:

$$\begin{cases} \Delta x_n = \Delta s_n \cdot (\cos\theta_n + \cos\theta_{n-1})/2 \\ \Delta y_n = \Delta s_n \cdot (\sin\theta_n + \sin\theta_{n-1})/2 \\ \Delta\theta_n = \Delta s_n \cdot (\rho_n + \rho_{n-1})/2 \end{cases} \quad (2)$$

其中 ρ_n 为第n个采样时刻获得的方向盘转角信号对应的路径曲率。在第n-1个采样时刻车辆位姿为 $(x_{n-1}, y_{n-1}, \theta_{n-1})$,则第n个采样时刻车辆的位姿为:

$$\begin{cases} x_n = x_{n-1} + \Delta x \\ y_n = y_{n-1} + \Delta y \\ \theta_n = \theta_{n-1} + \Delta\theta \end{cases} \quad (3)$$

2.3 环境感知

假设超声波传感器在车辆坐标系中坐标与朝向为 (x_s, y_s, θ_s) ,其检测到障碍物点的距离为D,则该障碍物点全局坐标系中的坐标可以由坐标变换得到。以一个个点坐标的形式表示检测到的障碍物。通过对点进行分类可以识别出空车位。一个典型的平行车位两旁都停泊有其他车辆,当侧面装有测距传感器的车辆行驶经过空车位时,测距传感器先连续检测到较近的距离内存在障碍物(第一辆车),之后检测到较远的距离存在障碍物或检测范围内无障碍物(空车位),最后又检测到较近的地方存在障碍物(第二辆车),如图3所示。按照此模式可以判断空车位的长度,当空车位长度满足最小车位长度时,可以判定该空车位为有效车位。当空车位旁仅停放一辆车时,亦可以按照远-近或近-远的距离模式判断出存在一个空车位。此时,可以设定一个合适的长度为车位的长度。

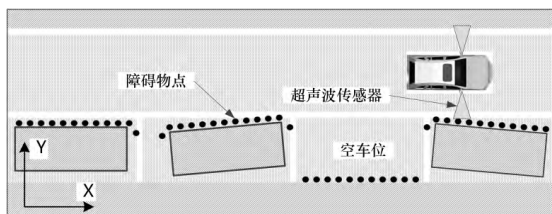


图3 泊车场景

2.4 路径规划

将泊车过程分为2个阶段:入库阶段、调整阶段。入库阶段采用曲率连续曲线进行路径规划,规划的路径包含多个分段,引导车辆从初始位置进入车位。如图4所示。

入库阶段规划的路径每个分段由曲率和分段长度信息组成。其中,AB和GH为直线线段,对应曲率为0。BC和DE为缓和曲线,其首尾处的曲率分别与其前后相邻分段路径曲率相等,即在B点曲率为0,在C、D点曲率为 $-c_1$,在E点为 c_1 。BC路段长度固定为 L_c ,路径曲率按照车辆行驶距离均匀地从0变化至 $-c_1$;DE路段长度固定为 $2L_c$,按照车辆行驶距离均匀地从 $-c_1$ 变化至 c_1 。CD、EF、FG为圆弧,半径为最小转弯半径(曲率 c_1 的倒数),分别对应路径曲率 $-c_1$ 、 c_1 、 $-c_1$ 。

方向盘转角由系统控制,但是转向系统具有非线性特性,自主泊车系统难以控制车辆按照事先规划好的路径行驶。在入库阶段,不可避免地产生位置与朝向误差。而且大多数情况下,车位比较小,不可能通过一次倒车操作到达期望的泊车位置。因此,在调整阶段采用闭环的方法调整车辆在车位中的位置。借助场的概念,建立“前进导航场”和“后退导航场”。“前进导航场”是用于车辆前进状态下引导其到达目标位置的场,“后退导航场”同理。在此阶段,车辆的行进方向由驾驶员和系统共同决定。驾驶员出于安全原因或其他原因可以按照意图随时切换行进方向。当系统检测到近距离内存在障碍物时,提示驾驶员切换行进方向。

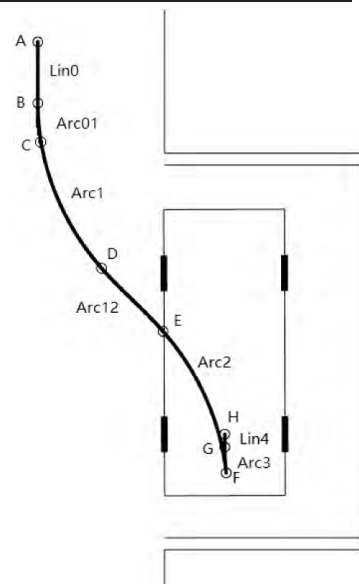


图4 路径规划示意图

3 自动泊车系统工作逻辑流程图

嵌入式自动泊车系统软件采用分层模块化设计,整个软件分为驱动层与应用层,驱动层分为CAN、LCD、Keys、SideRadar、BackRadar五个模块,应用层分为按键检测任务(Key-Task)、位姿计算任务(CalcPosTask)、消息显示任务(Display-Task)、和泊车控制任务(ControlTask)。软件模块结构如图5所示,上层为应用层,下层为驱动层。

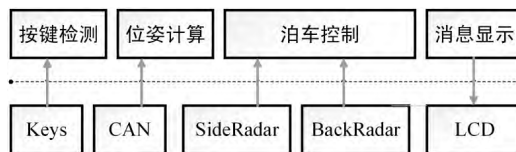


图5 嵌入式自动泊车系统软件总体结构

按键检测任务定时检测按键是否按下,若按下则增加相应信号量计数;位姿计算任务由CAN接收中断中得到的车速数据定时计算车辆行驶路程,同时泊车控制任务计算出的控制参数(扭矩、方向盘转角、刹车)也在位姿计算任务中运行;消息显示任务定时刷新LCD显示信息;泊车控制任务进行泊车位检测,路径规划,计算车辆控制参数控制车辆完成泊车。4个任务通过系统调度器进行调度同时运行。控制任务按阶段标志对车辆进行控制,各阶段任务如图6所示,检测泊车位流程如图7所示。

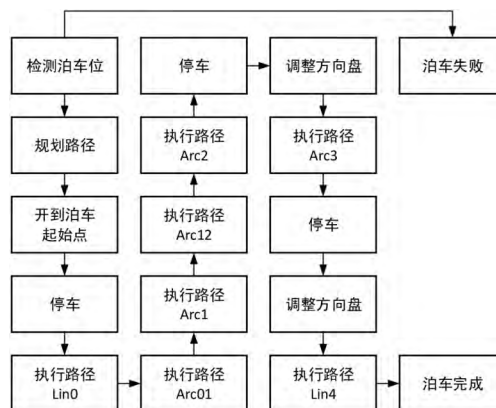


图6 泊车任务流程图

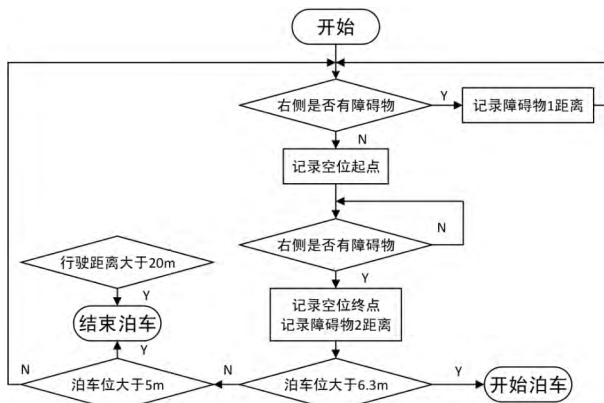


图7 检测泊车位流程图

规划路径阶段如图4所示,规划的路段由车辆方向盘转角和路段长度信息组成。其中,AB和GH为直线段,对应车辆方向盘转角为 0° 。BC和DE为缓和曲线,其首尾对应的车辆方向盘转角分别与其前后段路径对应的车辆方向盘转角相同,即在B点车辆方向盘转角为 0° ,在C、D点车辆方向盘转角为 -500° ,在E点为 -500° 。BC路段长度固定为0.7m,车辆方向盘转角按照车辆行驶距离均匀地从 0° 转到 -500° ;DE路段长度固定为1.4m,按照车辆行驶距离均匀地从 -500° 转到 500° 。CD、EF、FG为圆弧,半径为最小转弯半径,分对应车辆方向盘转角 -500° 、 500° 、 -500° 。

4 自动泊车系统功能验证

场景布置:选取一块平坦开阔的试验场,安放两个箱子用于模拟泊车位前后的车辆,通过更改横向距离和纵向距离,测试自动泊车的能力以及相关参数。图8为停车位设计图。

验证步骤:首先摆好模拟障碍,其中模拟障碍之间的距离设定为1.4倍的车长,然后车子停在平行于停车位的位置。

1)设定横向距离D设定为0.7~1.4m之间;

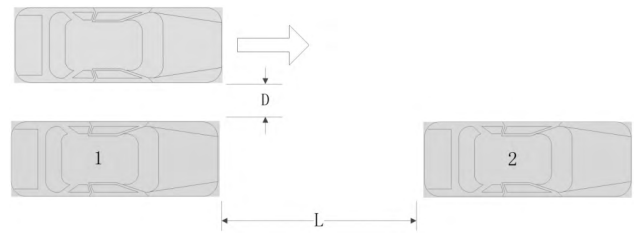


图8 停车位设计

2)车子从起始位置寻位,找到位置后在初始位置停下,然后完成泊车过程;

3)测试车子停下来之后的横向位置偏差,角度偏差;

4)改变横向距离D大小,重复上述步骤。

5 结束语

实验结果表明,本系统泊车成功率大于90%,并且当减小停车位长度到1.25倍车长时,依然能够成功完成泊车流程。

参考文献

- [1]高德芝,段建民,郑榜贵,等.智能车辆环境感知传感器的应用现状[J].现代电子技术,2008,31(19):151-156
- [2]叶林铨.基于伪谱法的自主泊车路径规划方法研究[D].合肥:中国科学技术大学,2016
- [3]高航,梁华为.基于多传感器多路径规划自动泊车系统仿真及实车验证[J].自动化与仪器仪表,2011,4(66):162-165
- [4]李红.自动泊车系统路径规划与跟踪控制研究[D].长沙:湖南大学,2014
- [5]张驰.基于连续曲率的平行泊车路径规划研究[D].合肥:合肥工业大学,2015
- [6]蒋志文,曾伟.基于双目视觉和路径规划的车辆自动泊车系统[J].公路与汽运,2008,4(25):69-72

[收稿日期:2018.11.28]

(上接第49页)

动吸振器,且能实现吸振目标。

表3 基于接地式与非接地式天棚阻尼主动吸振器
不同阻尼对应频域幅值降和频带宽

	无吸振器	C3=0	C3=5000	C3=10000	C3=15000	C3=20000
接地式	$\Delta A = 0$ $\Delta f = 0$	$\Delta A = 7.9$ $\Delta f = 6.9$	$\Delta A = 9.8$ $\Delta f = 6.4$	$\Delta A = 11.4$ $\Delta f = 6.1$	$\Delta A = 12.8$ $\Delta f = 5.77$	$\Delta A = 12.8$ $\Delta f = 5.77$
不接地式	$\Delta A = 0$ $\Delta f = 0$	$\Delta A = 8.2$ $\Delta f = 9.76$	$\Delta A = 10.3$ $\Delta f = 9.53$	$\Delta A = 11.5$ $\Delta f = 9.25$	$\Delta A = 12.8$ $\Delta f = 9.01$	$\Delta A = 12.8$ $\Delta f = 9.01$

由表3仿真结果可知,接地式和不接地式这两种天棚阻尼主动吸振器对运动台都起到了很好的吸振效果,且明显优于被动吸振器;在相同参数条件下,虽然不接地式对振动幅值的降低要优于接地式(当 c_3 增大到一定值后,两种主动吸振器对振动幅值降低相等),但其对振动的频带宽明显大于接地式,超出吸振指标中的频带宽。

接地式天棚阻尼主动吸振器对运动台的吸振效果要优于不接地式,且其实际安装也易于不接地式,故接地式天棚阻尼主动吸振器是该面向全息投影的二维精密定位平台减振的更好选择,该接地式天棚阻尼主动吸振器的具体参数为: $m=400\text{kg}$, $k_2=7.52\text{e}+07\text{N/m}$, $c_2=7.0\text{e}+03\text{N/m}^2$, $c_2=15000\text{N/m}^2$ 。

5 结束语

虽然我们在已知运动台相关参数的前提下,通过MATLAB/Simulink仿真,设计出了满足要求的动力吸振器,但是不可忽略的是:对扰动的分析并不是实时的,且不够精确,在实际工况中的扰动远远不是这么简单,还要考虑实时的环境噪音、空气振动

以及扰动的实时反馈;其次,我们现在研究的是两自由度振动系统,而在实际工况中,往往是多自由度振动系统,振动分析更为复杂;吸振器相对于运动台还有空间相对位置,吸振器放置在运动台上不同的位置也会产生不同的吸振效果。二维精密定位平台的振动特性分析这一领域往后还有很多急需解决的问题;扰动分析还需实时化、精确化,还要考虑环境因素;研究更加真实、更加复杂的多自由度振动系统;基于实际框架的多自由度振动系统,研究吸振器与运动台空间相对位置对吸振效果的影响等^[5]。本文对面向全息投影的二维精密定位平台振动分析为精密定位的研究提供了参考。

参考文献

- [1]尚江坤.两自由度大行程精密定位平台的结构设计与控制[D].天津:天津大学,2016
- [2]刘吉柱,李健,张雯雯,等.大行程精密定位平台偏摆误差的补偿方法[J].振动.测试与诊断,2017,37(3):501-506,628
- [3]高强,房祥波,赵艳青,等.变质量动力吸振器及其减振性能[J].长安大学学报(自然科学版),2013,33(5):109-112
- [4]张龙庆,朱胜阳,蔡成标,等.动力吸振器在浮置板轨道低频振动控制中的应用[J].工程力学,2016,33(9):212-219
- [5]汪文峰,马立,刘志龙,等.面向纳米压印的大行程二维精密定位平台的设计[J].自动化与仪表,2018,33(7):67-70,89

[收稿日期:2018.11.24]