

自动泊车系统性能评价方法

周 莎¹, 钟 颖², 闫晓雷²

(1. 中国汽车工程研究院股份有限公司, 重庆 401122; 2. 重庆交通大学 交通运输学院, 重庆 400074)

摘 要:为了对自动泊车系统(automatic parking system, APS)进行整体客观的评价,帮助消费者打消对新技术的体验顾虑,为自动泊车系统技术发展提供新方向,提出一种基于试验数据的自动泊车系统性能评价方法。首先选取平行泊位和垂直泊位作为试验场景,通过实车试验分别采集不同场景下的自动泊车样本数据,分析选取泊车入位总时长、停车姿态角、揉库次数等作为评价指标,制定评分规则,对 APS 进行了定量评价,获得 APS 在不同指标下的得分,确定各指标权重,计算车辆所搭载的 APS 系统综合得分,并根据得分确定车辆泊车效果评价等级;然后将泊车入位过程中的曲线曲率连续性作为定性指标,分别选用 V-BOX、陀螺仪及车辆运行参数采集系统 3 种设备,采集泊车入位轨迹的 GPS 经纬度数据,采用相似度数据融合算法对数据进行融合处理以提高数据精度。利用 MATLAB 中的 cftool 可视化界面工具箱对融合后的 GPS 经纬度数据进行曲线拟合,获得泊车入位轨迹曲线,观察曲线曲率变化,并根据曲线曲率连续性对 APS 系统进行定性评价。研究表明:试验车辆所搭载的 APS 系统总体得分为 7.9,泊车入位轨迹曲线曲率连续,泊车效果良好。该方法从定量与定性角度对自动泊车系统进行了评价。利用该评价方法,能制定出可靠的定性与定量评价指标,全面评价自动泊车系统,有利于提升自动泊车系统可靠性和市场普及率。

关键词:汽车工程;自动泊车系统;泊车入位总时长;停车姿态角;揉库次数;曲率连续性

中图分类号:U467

文献标志码:A

DOI:10.19721/j.cnki.1671-8879.2020.02.013

Evaluation method of automatic parking system performance

ZHOU Sha¹, ZHONG Ying², YAN Xiao-lei²

(1. China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd., Chongqing 401122, China; 2. School of Traffic and Transportation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: In order to evaluate the automatic parking system (APS) objectively as a whole, to help consumers dispel concerns about the experience of new technology, and to provide a new direction for the development of APS technology, an evaluation method for APS performance based on test data was proposed. Firstly, parallel parking spot and vertical parking spot were selected as experiment scenes, and the automatic parking sample data in different scenes were collected in vehicle test. The total parking time, angle of parking attitude and times of reversing were selected as evaluation indexes, and a scoring rule was developed to quantitatively evaluate APS to obtain the scores of APS under different indicators. The weights of each index were determined, and the comprehensive score of the APS carried by the vehicle was calculated. The evaluation level of the vehicle parking effect was determined according to the score. Then, the curvature

continuity in the process of parking was taken as the qualitative index. The V-BOX, gyroscope and vehicle operating parameter acquisition system were used to collect the GPS latitude and longitude data of the parking trajectory. The similarity data fusion algorithm was used to fuse the data, and to improve the data accuracy. The visual interface cftool toolbox in MATLAB was used to fit curve of the merged GPS latitude and longitude data. After that the parking trajectory curve was obtained. At the same time, the curve curvature change can be observed. APS was evaluated qualitatively according to the curvature continuity. The results show that the score of the APS in test vehicle is 7.9, and the curvature of parking trajectory curve is continuous, so the parking effect is good. This method evaluates the automatic parking system from the quantitative and qualitative aspects. By this method, reliable qualitative and quantitative evaluation indexes are established to comprehensively evaluate the APS. And the reliability and market penetration rate of APM are improved. 5 tabs, 6 figs, 25 refs.

Key words: automotive engineering; automatic parking system; total parking time; parking attitude angle; times of reversing; curvature continuity

0 引言

机动车保有量的持续增长使得城市停车位需求不断增加,城市道路、停车场以及居民小区等地区拥堵不堪,可利用的停车空间越来越少,实现准确、安全有效泊车越发困难。自动泊车系统(automatic parking system, APS)是智能汽车技术的重要组成部分之一,其目的是为了在紧张的城市泊车环境中减少和降低车辆驾驶人在泊车过程中的繁琐操作和精神负荷,辅助或者代替驾驶人将车辆安全、快速驶入泊车位^[1-2]。自动泊车系统的出现,可有效解决狭小空间泊车困难问题,降低泊车过程中的安全事故发生概率^[3-4],因此,自动泊车系统成为当前的研究热点。

目前,国内外对自动泊车系统技术研究较多,尚世亮提出一种基于超声波探测修正的车位识别技术,通过将遗传算法融入算法模型中,实现了平行泊车控制^[5]。Hsu 等利用超声波传感器、惯性导航系统、GPS、视觉信息传感器等设备,进行了基于实车的自动泊车系统研究^[6]。Chao 等提出一种基于全景视角的模型小汽车的自动泊车系统,该系统主要通过获取模型小汽车与停车位之间的位置信息,并根据获取的信息生成可行的推荐泊车路径,进而运用模糊逻辑控制方法控制小车转向,完成平行泊车^[7]。王文飞给出了一种基于超声波传感器和视觉信息传感器的泊车位车道线模型和泊车车位模型,根据车辆的泊车行驶轨迹以及数学模型关系将泊车路径分为了 4 个阶段,然后计算出每个行驶阶段的运动参数,并通过构建一个以嵌入式系统为核心的

模型小汽车进行自动泊车系统算法和方案的验证^[8]。Paromtchik 等提出了一种基于超声波传感器采集的测距数据实现的迭代算法,并将其用于平行泊车^[9]。Holve 等根据模型小汽车搭建泊车环境,根据驾驶人的整个泊车操作过程中的实践经验建立模糊规则,实现模型小汽车的自动控制泊车操作^[10]。Jiang 利用模型小汽车搭建了以嵌入式处理器和超声波传感器为基础的硬件平台,并基于该平台完成了对平行泊车的研究,通过构建不同的泊车环境,以泊车过程中的约束条件为基础,规划了一条避免泊车操作过程中碰撞的路径,实现了模型小汽车按轨迹规划进行泊车^[11]。Daxwanger 等根据摄像头采集的图像信息生成相应的转向信号,利用人工神经网络和模糊网络的组合对控制器进行配置,提出了一种基于视觉信息的模糊控制泊车方法,并在模型小汽车上对该方法进行了验证^[12]。Ozkul 等提出一种基于视觉信息的模糊控制自动泊车辅助提示系统,帮助驾驶人实现平行泊车^[13]。国内外学者已对自动泊车技术进行了大量研究,但目前各大汽车厂商仍将自动泊车技术视为高科技配置,加之消费者对其评价认知存在一定盲区,使得自动泊车系统技术应用远远落后于理论研发速度^[14]。因此,随着技术的进步、市场的成熟,结合消费者的认知,对自动泊车系统进行可靠的评价是必要的。目前关于自动泊车系统评价的相关研究及评价标准较少。Wang 等针对无人驾驶汽车的驾驶任务和执行环境进行了测试案例的探索,得出了关于无人驾驶汽车执行任务的测试案例模型,同时搭建了由感知环境、规划决策、控制执行构成的三维评价模型,并通过该

模型得出无人驾驶汽车的综合性能评价^[15]。Li 等基于无人驾驶汽车的智能性测试,构建了关于测试场景和测试功能的方法,该方法根据对决策的逐级细化进行测试,最终对无人驾驶汽车的智能性进行综合评价^[16]。黄培培等从国内外全自动泊车系统的发展现状出发,基于消费者对自动泊车系统的认知,对自动泊车系统评价指标的选取进行研究^[14]。马世典等针对自动泊车精度评价过程中,试验数据样本量小、系统误差难以忽略等问题,提出了一种采用 Bootstrap 方法构建小样本条件下泊车精度的综合评价方法,并利用该方法对自动泊车系统的泊车精度进行了评价,其评价结果可信度较高^[17]。关于自动泊车系统的评价标准研究方面,2019 年,中国汽车工程研究院股份有限公司发布了首个 L2 自动驾驶辅助系统测评规程——2020 版 i-VISTA 中国智能汽车指数测评体系,包括《智能泊车辅助试验规程》(i-VISTA SM-ADAS-IPAT-A0—2019)和《智能泊车辅助评价规程》(i-VISTA SM-ADAS-IPAR-A0—2019)2 项行业标准,其适用于整备质量不大于 3 500 kg 的载客车辆自动泊车辅助系统测试和评价标准^[18-19]。德国汽车协会(ADAC)在 2008 年对 APS 系统发布了泊车辅助测试报告,该项测试报告针对大众途安、奔驰 CL、雷克萨斯 LS、马自达 5、丰田普锐斯、宝马 X5、雪铁龙毕加索等 7 款车型所采取的不同泊车系统技术方案进行了测试评价分析。

综上,以往自动泊车系统性能研究多是单方面的定性评价或定量评价,缺少将定性评价和定量评价相结合。本文对自动泊车系统性能评价进行了研究,基于试验数据,选取泊车入位总时长、停车姿态角、前后轮距参考线间距、揉库次数 4 个指标对 APS 系统进行定量评价,选用泊车入位过程中轨迹曲线曲率连续性对 APS 进行定性评价,并采用定量与定性相结合的评价方法,对试验车辆所搭载的 APS 系统进行整体客观评价,以提升消费者对自动泊车系统的认知程度,推进 APS 系统的广泛应用。

1 APS 定量评价

1.1 评价指标与权重确定

本文主要考虑平行泊位场景和垂直泊位场景下,APS 系统的车位搜索能力和泊位能力,并对其评价,其中车位搜索能力的评价指标主要为能否准确识别车位;泊车能力的评价指标为泊车入位总时长、停车姿态角、前/后轮距参考线间距、揉库次数。APS 系统综合评价指标体系如图 1 所示。

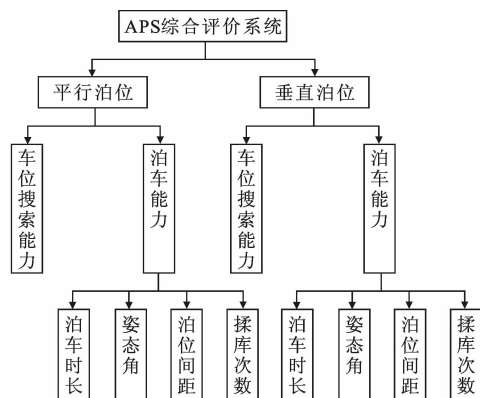


图 1 APS 综合评价的指标体系结构

Fig. 1 Index architecture for APS comprehensive evaluation

由图 1 可知,APS 系统的评价指标主要分为 3 个层次:第 1 层为平行泊位和垂直泊位综合评价;第 2 层为车位搜索能力和泊车能力评价;第 3 层则为泊车时长、姿态角、泊位间距和揉库次数评价。各评价指标权重的不同使得最终评价结果存在很大差异,因此,在对 APS 系统进行评价前,应首先确定其权重。对于第 1 层的泊位场景,由泊车场景实地调研可知,平行泊位相对于垂直泊位的难度较大,但使用频率低,而垂直泊位难度低,使用频率高,故将两者权重设为(1/2,1/2);相对于车位搜索能力,泊车能力更为重要,因此,将车位搜索能力和泊车能力的权重设为(1/3,2/3);对于第 3 层指标,在对试验数据进行分析时发现,手动泊车与自动泊车时泊车入位时长和揉库次数差异显著,因此,第 3 层各指标权重为(1/3,1/6,1/6,1/3)。最终各层权重确定结果如下

$$\begin{cases} A_1 = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right) \\ A_2 = \left(\frac{1}{3}, \frac{2}{3} \right) \\ A_3 = \left(\frac{1}{3}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{3} \right) \end{cases} \quad (1)$$

式中: A_1 、 A_2 、 A_3 分别为评价指标体系结构中第 1 层、第 2 层、第 3 层指标权重。

1.2 评分规则制定

本文选取的底层评价指标为泊车入位时长、姿态角、距路沿距离和揉库次数,由于各指标量纲不同,无法直接通过试验数据以及权重对 APS 进行评价。因此,需通过对试验数据进行统计分析,给出各指标对应的评分规则,并根据评分规则对泊车结束后各指标进行打分,将各指标得分进行加权平均以计算 APS 系统总体得分,实现对 APS 系统的定量评价。其中,停车姿态角和距路沿距

离可参照 ISO 标准,分别设定指标为: $-3^{\circ}\sim 3^{\circ}$, $0.05\sim 0.3\text{ m}^{[20]}$ 。对于泊车入位总时长 T 和揉库次数指标,则可根据试验采集的 9 774 条数据,进行数据分散情况统计分析,分别获取垂直泊位场景与平行泊位场景下自动泊车、手动泊车 4 组数据的最大值、最小值、中位数以及上下分位数。泊车入位总时长分位数统计结果如表 1 所示。由表 1 可知,垂直自动泊车时长相对于垂直手动泊车时长较长,而平行手动泊车时长相对于平行自动泊车时长较长。因此对于垂直泊车场景,将垂直手动泊车时长的中位数和最大值作为评分标准,故垂直泊位场景下泊位时长的评价可分为 3 个等级: $T\leqslant 61.59\text{ s}$ 时得分值最高; $T>104.49\text{ s}$ 时得分值最低; $61.59\text{ s}<T\leqslant 104.49\text{ s}$ 时得分值介于两者之间。同理,平行泊位场景下泊位时长的评价以平行自动泊车时长中位数与最大值为标准,可分为 3 个等级: $T\leqslant 93.18\text{ s}$ 时得分值最高; $T>137.8\text{ s}$ 时得分值最低; $93.18\text{ s}<T\leqslant 137.8\text{ s}$ 时得分值介于两者之间。超出最大值即异常值不得分。揉库次数 N 的统计结果如表 2 所示。由表 2 可知:垂直泊位手动泊车与垂直泊位自动泊车相比,揉库次数较少;平行泊位自动泊车与平行泊位手动泊车相比,揉库次数较少。因此,揉库次数可分为 3 个等级: $N>3.5$ 时得分值最低, $2\leqslant N\leqslant$

3.5 时得分值次之, $N\leqslant 1.5$ 时得分值最高。

表 1 泊车入位总时长分位数对比

Tab. 1 Comparisons of quantile of total parking times s				
泊车方式	垂直自动 泊车时长	垂直手动 泊车时长	平行自动 泊车时长	平行手动 泊车时长
异常值	170.94			437.60
最大值	122.17	104.49	137.80	296.78
上四分位数	89.32	75.06	110.75	242.13
中位数	78.00	61.59	93.18	169.62
下四分位数	60.62	48.04	73.24	129.70
最小值	51.23	30.95	58.78	90.33

表 2 揉库次数分位数对比

Tab. 2 Comparisons of quantile of reversing times				
泊车方式	垂直自动泊 车揉库次数	垂直手动泊 车揉库次数	平行自动泊 车揉库次数	平行手动泊 车揉库次数
最大值	4.000	3.000	5.000	10.000
上四分位数	3.250	2.000	3.500	6.000
中位数	2.500	1.880	3.000	3.750
下四分位数	2.000	1.000	2.500	2.875
最小值	1.000	1.000	1.500	2.000

在对泊车入位总时长、停车姿态角、距路沿距离和揉库次数进行等级划分后,需为每个等级赋予对应分数,以此计算 APS 系统的整体得分。因此,参考中国汽车工程研究院评分标准,制定本文指标各等级得分,如表 3 所示。

表 3 泊车能力评分结构

Tab. 3 Structure of scoring of parking capacities

评价项目	工况总分	指标	指标分值	得分标准	得分值
平行泊位	6	揉库次数	2	$N\leqslant 1.5$	2.0
				$2.0\leqslant N\leqslant 3.5$	1.2
				$N>3.5$	0.4
		停车姿态	2	姿态角为 $-3^{\circ}\sim 3^{\circ}$	1.0
				距路沿距离为 $0.05\sim 0.30\text{ m}$	1.0
		泊车入位 总时长	2	$T\leqslant 93.18\text{ s}$	2.0
				$93.18\text{ s}<T\leqslant 137.80\text{ s}$	1.2
				$T>137.80\text{ s}$	0.4
垂直泊位	6	揉库次数	2	$N\leqslant 1.5$	2.0
				$2.0\leqslant N\leqslant 3.5$	1.2
				$N>3.5$	0.4
		停车姿态	2	姿态角为 $-3^{\circ}\sim 3^{\circ}$	1.0
				在目标区域内	1.0
		泊车入位 总时长	2	$T\leqslant 61.59\text{ s}$	2.0
				$61.59\text{ s}<T\leqslant 104.49\text{ s}$	1.2
				$T>104.49\text{ s}$	0.4

车辆障碍物检测试验与泊车能力试验同时进行,其中任一工况发生刚蹭边界车辆或者碾压路沿,

则该场景不得分。平行泊位和垂直泊位按照驾驶人左右两侧、不同的横向间距各具有 6 种场景,泊车能

力试验共计 72 分。

1.3 APS 系统评分

APS 系统总体评分主要包括泊车能力评分和车位搜索能力评分,泊车能力满分 72 分;能够准确识别车位,车位搜索能力评分满分设为 36 分,合计总分 108 分。将实际所得分数按满分 10 分进行比例折算,得到 APS 的最终得分。不同的得分对应不同的评价等级,评价等级如表 4 所示。根据给出的 APS 评价指标结构、各指标权重以及评价等级对试验车辆所搭载的 APS 系统进行评价,车位搜索试验与泊车能力测试同时进行;泊位场景下,系统均能识别预设的泊位,因此试验中系统的车位搜索能力为满分。将每个驾驶人的平行泊位和垂直泊位的自动泊车评分进行平均值计算,获得 APS 系统泊车能力的客观评分为 49.66 分,加上车位搜索能力评分 36 分,总分 85.66 分,评价结果如表 5 所示。将最终得分进行比例折算,总分为 7.9 分,参照表 4,系统最终评价等级为良好。

表 4 评价等级

Tab. 4 Evaluation levels

APS 得分	[8,10]	[6,8)	[4,6)	(0,4)
评价等级	优秀	良好	一般	差

表 5 试验车辆 APS 系统评分

Tab. 5 APS system scoring of test vehicles

APS 得分	泊车能力评分		车位搜索能力评分
	垂直泊位评分	平行泊位评分	
85.66	24.74	24.92	36.00

2 APS 定性评价

APS 定量评价所选取的泊车入位总时长、泊车效果、揉库次数等指标偏向于泊车结果,而良好的泊车轨迹曲率可避免泊车过程中的停车转向问题,降低转向电机的工作负荷与轮胎磨损,同时泊车入位时间越短,泊车轨迹曲率越连续,泊车过程中的能耗越低^[7]。因此,泊车过程中的曲率连续性变化可作为自动泊车的一项评价指标,通过将泊车入位轨迹 GPS 经纬度数据转换为直角坐标,进行曲线拟合,计算并观察泊车轨迹曲线曲率变化,从而实现对 APS 泊车效果的定性评价。

2.1 基于相似度的数据融合算法

为提高整体 GPS 数据精度和可靠性,本文分别选用 V-BOX、陀螺仪及车辆运行参数采集系统 3 种测试设备,同时实时收集泊车入位过程中车辆 GPS 轨迹数据,然后选用相似度数据融合算法对多源数

据进行融合。基于相似度的数据融合算法流程如图 2 所示。评估同质传感器测量结果之前的关联度,量化相似度和构建相似度矩阵,从相同时刻上测量一致性和整个测量的时间序列上测度可靠性,将观测值进行加权,从而得到最终的融合估计值^[21]。

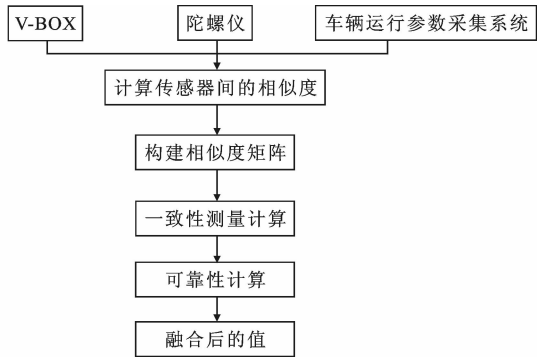


图 2 基于相似度数据融合算法流程

Fig. 2 Fusion algorithm flow based on similarity data

利用相似度数据融合算法对多源数据进行融合时,首先应计算各传感器数据间的相似度并构建相似度矩阵。设传感器集合为 (S_1, S_2, S_3) ,分别代表 V-BOX、陀螺仪、车辆运行参数采集系统,则各传感器间相似度及相似度矩阵计算如下

$$d_{ij}(k) = (1 + \frac{1}{n})^{-n|Z_i(k) - Z_j(k)|} \tag{2}$$

$$d_k = \begin{bmatrix} 1 & d_{12}(k) & d_{13}(k) \\ d_{21}(k) & 1 & d_{23}(k) \\ d_{31}(k) & d_{32}(k) & 1 \end{bmatrix} \tag{3}$$

式中: n 为数据采集传感器的个数; d_k 为 k 时刻构造的相似度矩阵; $Z_i(k)$ 、 $Z_j(k)$ 分别为 k 时刻传感器 S_i 与 S_j 的测量值; $d_{ij}(k)$ 为 k 时刻传感器 S_i 与 S_j 测量值之间的相似度, $d_{ij}(k)$ 越大表示传感器 i 和传感器 j 之间的相似性越强,反之越弱。

其次,计算数据的一致性测度,一致性测度为传感器在 k 时刻测量值之间的一致性,令 $p_i(k)$ 为 k 时刻传感器 S_i 测量值的一致性测度,则其计算如下

$$p_i(k) = \frac{\sum_{j=1}^n d_{ij}(k)}{n} \tag{4}$$

对于传感器 S_i 而言,除了与其他传感器存在一致性外,其自身还存在可靠性问题^[22],设传感器 S_i 的一致性测度时间序列为 $[p_i(1), p_i(2), \dots, p_i(t), \dots, p_i(k)]^{[23]}$,则

$$E(p_i(k)) = \frac{1}{k} \sum_{t=1}^k p_i(t) \tag{5}$$

$$\sigma_i^2(k) = \frac{1}{k} \sum_{t=1}^k [p_i(t) - E(p_i(k))]^2 \tag{6}$$

式中: $E(p_i(k))$ 为传感器 S_i 的平均一致性测度; $\sigma_i^2(k)$ 为传感器 S_i 的可靠性测度,取值为一致性测度的方差^[24]。

$E(p_i(k))$ 较大而 $\sigma_i^2(k)$ 较小,表明该传感器性能比较稳定,则在数据融合过程中,可占据较大的权重。设传感器 S_i 在 k 时刻的权重系数为 $w_i(k)$,由平均一致性测度值 $E(p_i(k))$ 和方差 $\sigma_i^2(k)$ 可知, $w_i(k)$ 与 $E(p_i(k))$ 正相关, $w_i(k)$ 与 $\sigma_i^2(k)$ 负相关。定义一个线性的一致可靠测度关系^[25]如下

$$w_i(k)=[1-\vartheta\sigma_i^2(k)]E(p_i(k)) \tag{7}$$

式中: ϑ 为系数,通常取 $0<\vartheta\leq 1$ 。

ϑ 值越大,一致性测度的方差对权重系数的影响越大,为扩大方差的影响,本文将 ϑ 取为 1,则式(7)可表示为

$$w_i(k)=[1-\sigma_i^2(k)]E(p_i(k)) \tag{8}$$

最终将 k 时刻 n 个数据加权融合后,最终的数据融合式为

$$t_i(k)=\frac{\sum_{i=1}^n w_i(k)Z_i(k)}{\sum_{i=1}^n w_i(k)} \tag{9}$$

式中: $t_i(k)$ 为 k 时刻 n 个传感器集的测量数据进行融合后得到的最终值。

2.2 GPS 轨迹数据分析

在对自动泊车入位轨迹曲线进行拟合前,首先依据 GPS 轨迹数据,采用 MATLAB 绘制平行泊位场景下自动泊车入位、手动泊车入位轨迹曲线,并对其进行了对比分析。GPS 轨迹数据主要为经度和纬度,使用 MATLAB 中的 `xlread` 函数,分别读取 excel 表中经相似度融合算法融合后的手动泊车、自动泊车轨迹经纬度坐标值,利用 `utmzone` 函数设置投影方式为 `utm` 投影,最后使用 `mfwdrtran` 函数将经纬度坐标转换为直角坐标,得到手动泊车入位、自动泊车入位轨迹曲线,其中,平行泊位场景下手动泊车、自动泊车入位轨迹曲线如图 3、图 4 所示。

由图 3、图 4 可知:平行泊位场景下手动泊车入位时,驾驶人需多次出库、入库才能驶入泊位;而平行泊位自动泊车场景下,车辆从 A 点至 B 点缓慢倒车入位,B 点之后的轨迹为车辆在泊车位内反复揉库所致;A-B 点之间的轨迹为 APS 车辆整个泊车入位过程中最关键的一步,在不碰撞边界车辆及障碍物的前提下,A-B 点之间的轨迹曲率是否连续,且轨迹起点曲率是否为 0 或尽量小,则是评价 APS 系统轨迹控制算法性能的一项指标。



图 3 平行泊位手动泊车轨迹曲线

Fig. 3 Trajectory curve of parallel berth manual parking

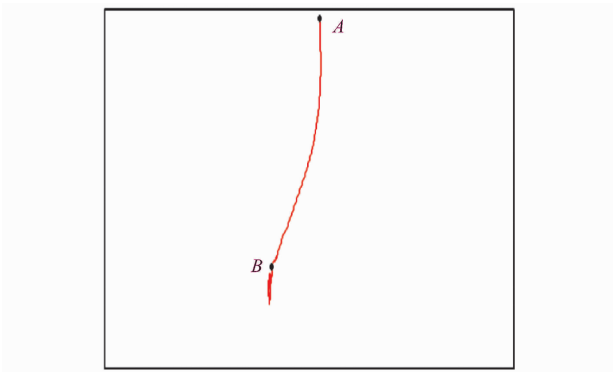


图 4 平行泊位自动泊车轨迹曲线

Fig. 4 Trajectory curve of parallel berth automatic parking

2.3 轨迹拟合及曲线数据评价

为更加直观地观察泊车入位过程中泊车轨迹曲线曲率的变化情况,需根据 GPS 经纬度数据对泊车轨迹曲线进行拟合,并计算其曲率,根据曲率变化对系统性能进行综合评价。为避免车辆在泊车过程中或在起始点 A 原地转向,要求曲线曲率连续,同时也要求曲线初始曲率尽量小甚至为 0。平行泊位自动泊车的轨迹可描述如下:APS 车辆的初始倒车起点 A 至第 1 次倒车的终点 B 之间的轨迹曲率。选择反正切函数作为泊车轨迹 GPS 数据拟合目标函数^[9],即

$$y=d\arctan(ax+b)+c \tag{10}$$

式中: a 、 b 、 c 、 d 均为待拟合函数参数。

采用 MATLAB 中 `cftool` 工具箱对自动泊车 GPS 轨迹数据进行拟合,拟合结果如图 5 所示。由图 5 可知,泊车轨迹曲线为 $y=1.142\arctan(0.6427x-0.9446)+1.012$,方程的拟合方差为 0.9039,相关系数为 0.9973,式(10)对 GPS 轨迹数据进行拟合是可行的。

根据拟合出的平行泊位场景下泊车轨迹曲线,

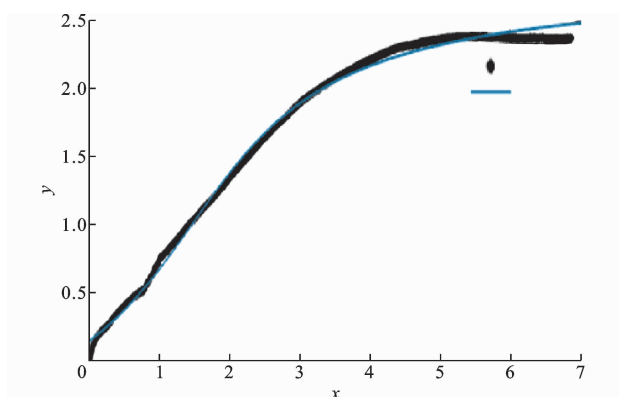


图5 泊车轨迹数据拟合结果

Fig. 5 Fitting results of parking trajectory data

计算轨迹曲线曲率,并绘制轨迹曲线曲率与纵向位移之间的关系,如图6所示。

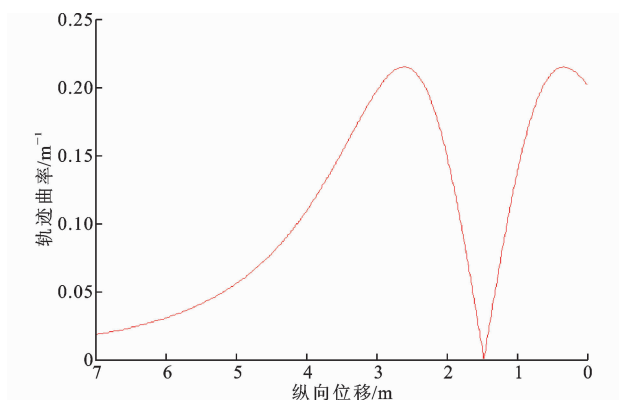


图6 轨迹曲率与纵向位移关系

Fig. 6 Relationship between curvature of trajectory and longitudinal displacement

由图6可知,轨迹曲率呈现连续性且初始点的曲率为 $0.017\ 95\ \text{m}^{-1}$,接近于0。说明在试验车辆第1次倒车入位的过程中,没有出现停车转向的问题,自动泊车过程中泊车轨迹曲线曲率是连续的,泊车效果良好。结合图4中自动泊车的轨迹曲线可知,第1次揉库后,APS车辆进入泊位,之后的揉库则是为调整车辆自身的姿态和泊位中的相对位置。

3 结 语

(1)评价结果表明,在本文评价方法中,试验车辆所搭载的自动泊车系统总体得分85.66,按满分10分进行比例换算,最终得分7.9分,对应于评价等级中的良好。

(2)泊车入位轨迹曲线曲率连续且初始曲线曲率接近于0,说明在泊车过程中没有出现停车转向的问题,试验车辆所搭载的APS系统能较好完成泊位操作。

(3)本文方法虽能实现对APS系统的评价,但在定量评价时,评价指标权重确定存在一定主观性,后续还需采集大量试验数据,使评价结果更客观。

参考文献:

References:

- [1] 李红,郭孔辉,宋晓琳,等.基于MATLAB的多约束自动平行泊车轨迹规划[J].中南大学学报:自然科学版,2013,44(1):101-107.
LI Hong, GUO Kong-hui, SONG Xiao-lin, et al. Trajectory planning of automatic parallel parking with multi-constraints based on MATLAB[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2013, 44(1): 101-107.
- [2] 陈天殷.自主泊车系统APS的现状与发展[J].汽车电器,2018(9):38-43.
CHEN Tian-yin. Discussion on current situation and development of autonomous parking system[J]. Automotive Electronics, 2018(9): 38-43.
- [3] 李自强.路内停车对道路交通流的影响分析[D].重庆:重庆交通大学,2015.
LI Zi-qiang. Analysis of the influence of in-road parking on road traffic flow[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2015.
- [4] 李韬.自动泊车系统的路径规划及跟踪[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2017.
LI Tao. Path planning and tracking of automatic parking system[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2017.
- [5] 尚世亮.自动平行泊车位超声探测与转向控制算法研究[D].长春:吉林大学,2009.
SHANG Shi-liang. Research on ultrasonic detection of parking slot and steering control algorithm for automatic parallel parking[D]. Changchun: Jilin University, 2009.
- [6] HSU T H, LIU J F, YU P N. Development of an automatic parking system for vehicle[C]//IEEE. Proceedings of Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC). New York: IEEE, 2008: 256-261.
- [7] CHAO C H, HO C H. Omni-directional vision-based parallel-parking control design for car-like mobile robot[C]//IEEE. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Mechatronics. New York: IEEE, 2005: 562-567.
- [8] 王文飞.基于超声波与机器视觉的自动泊车系统设计[D].杭州:浙江大学,2011.
WANG Wen-fei. Automatic parking system design based on ultrasonic and machine vision[D]. Hang-

- zhou; Zhejiang University, 2011.
- [9] PAROMTCHIK I E, LAUGIER C. Autonomous parallel parking of a nonholonomic vehicle[C]//IEEE. Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium. New York: IEEE, 1996: 13-18.
- [10] HOLVE R, PROTZEL P. Reverse parking of a model car with fuzzy control[C]//EUFIT. Proceedings of the 4th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing. Berlin: EUFIT, 1996: 2171-2175.
- [11] JIANG K. A sensor guided parallel parking system for nonholonomic vehicles[C]//IEEE. Proceedings of IEEE Intelligent Transportation System Conference. New York: IEEE, 2000: 270-275.
- [12] DAXWANGER W A, SCHMIDT G K. Skill-based visual parking control using neural and fuzzy networks[C]//IEEE. Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. New York: IEEE, 1995: 1659-1664.
- [13] OZKUL T, MUKBIL M, AL-DAFRI S. A fuzzy logic based hierarchical driver aid for parallel parking[J]. Artificial Intelligence Knowledge Engineering and Data Bases, 2008: 357-361.
- [14] 黄培培, 陈伟灿, 马 钧. 基于消费者认知的自主泊车系统评价指标研究[J]. 汽车工业研究, 2015(3): 29-32.
- HUANG Pei-pe, CHEN Wei-can, MA Jun. Research on evaluation index of autonomous parking system based on consumer cognition[J]. Automotive Industry Research, 2015(3): 29-32.
- [15] WANG G, DENG W, ZHANG S, et al. A comprehensive testing and evaluation approach for autonomous vehicles[J]. SAE Paper, 2018-01-0124.
- [16] LI L, HUANG W L, LIU Y, et al. Intelligence testing for autonomous vehicles: A new approach[J]. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 2017, 1(2): 158-166.
- [17] 马世典, 江浩斌, 吴 狄, 等. 基于 Bootstrap 方法的自动泊车系统精度评价研究[J]. 机械设计, 2014, 31(12): 71-74.
- MA Shi-dian, JIANG Hao-bin, WU Di, et al. Study on accuracy for auto-parking system based on Bootstrap[J]. Journal of Machine Design, 2014, 31(12): 71-74.
- [18] I-VISTA SM-ADAS-IPAT-A0—2019, i-VISTA-中国智能汽车指数测评体系: 智能泊车辅助试验规程[S]. I-VISTA SM-ADAS-IPAT-A0—2019, i-VISTA-China intelligent vehicle index regulations: Intelligent parking assist system test procedures[S].
- [19] I-VISTA SM-ADAS-IPAR-A0—2019, i-VISTA-中国智能汽车指数测评体系: 智能泊车辅助评价规程[S]. I-VISTA SM-ADAS-IPAR-A0—2019, i-VISTA-China Intelligent vehicle index regulations: Intelligent parking assist system evaluation procedures[S].
- [20] ISO 16787, Intelligent transport systems—Assisted Parking Systems (APS)—Performance requirements and test procedures[S].
- [21] KOCH W. Tracking and sensor data fusion[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2015.
- [22] APPRIOU A. Uncertainty theories and multisensor data fusion[M]. Washington DC: John Wiley & Sons, 2014, 2016.
- [23] 刘敏华, 萧德云. 基于相似度的多传感器数据融合[J]. 控制与决策, 2004, 19(5): 534-537.
- LIU Min-hua, XIAO De-yun. Multi-sensor data fusion based on similitude degree[J]. Control and Decision, 2004, 19(5): 534-537.
- [24] 杨宝强, 孙 勇, 徐 明, 等. 基于支持度的多传感器信息融合算法[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2007, 8(2): 33-35.
- YANG Bao-qiang, SUN Yong, XU Ming, et al. The research of multi-sensor fusion algorithm based on support degree[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2007, 8(2): 33-35.
- [25] 闫晓雷, 邵毅明, 曾俊延. 基于相似度数据融合的车辆航向角研究[J]. 汽车工程学报, 2018, 8(3): 212-217.
- YAN Xiao-lei, SHAO Yi-ming, ZENG Jun-yan. Vehicle heading angle research based on similarity data fusion[J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2018, 8(3): 212-217.