

# 基于多传感器融合的无车位线车位识别

江灏<sup>1,2,3</sup>, 黄鼎键<sup>1,2,3</sup>, 成雨生<sup>1,2,3</sup>

(1. 福建理工大学 机械与汽车工程学院, 福建 福州 350118;

2. 福建省汽车电子与电驱动技术重点实验室, 福建 福州 350118;

3. 福州市汽车机电行业技术创新中心, 福建 福州 350118)

**摘要:** 针对自动泊车系统难以识别无车位线车位的情况, 提出使用二维激光雷达与3D相机进行多传感器信息融合, 实现对无车位线车位的识别。同时通过二维激光雷达与3D相机对车位空间深度进行测量, 实现了车位空间内障碍物的实时检测与预警。利用Matlab/Simulink搭建了6种不同工况的泊车场景进行车位识别仿真, 并且使用智能小车进行多种工况的试验。试验结果验证了所提出的车位识别方法能有效提高对无车位线车位的识别准确性。

**关键词:** 多传感器; 激光雷达; 3D相机; 智能小车; 车位识别

中图分类号: TP242

文献标志码: A

文章编号: 2097-3853(2025)06-0550-07

## Parking spot recognition without parking line based on multi-sensor fusion

JIANG Hao<sup>1,2,3</sup>, HUANG Dingjian<sup>1,2,3</sup>, CHENG Yusheng<sup>1,2,3</sup>

(1. School of Mechanical & Automotive Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. Fujian Provincial Key Laboratory of Automotive Electronics and Electric Drive Technology, Fuzhou 350118, China;

3. Fuzhou Automobile Electromechanical Industry Technology Innovation Center,

Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

**Abstract:** In view of the difficulty of identifying parking spaces without lines in automatic parking systems, this paper proposes to use multi-sensor information fusion of 2D lidar and 3D camera to realize the recognition of parking spaces without lines. At the same time, 2D lidar and 3D camera are used to measure the depth of parking space, which realizes real-time detection and early warning of obstacles in parking space. Matlab/Simulink is used to build six parking scenarios under different working conditions for parking recognition simulation, and intelligent cars are used to carry out tests under various working conditions. Test results verify that the parking recognition method in this paper can effectively improve the accuracy of identification of parking spaces without parking lines.

**Keywords:** multi-sensor; lidar; 3D camera; intelligent small vehicle; parking spot recognition

当前, 城市规划的车位数量远远无法满足人们的泊车需求。自动泊车技术成为解决“停车难”问题的手段之一, 而车位识别则是自动泊车系统的首要环节。目前的车位识别方法主要包括单一传感器识别和多传感器融合技术识别两种技术。

单一传感器识别技术中, 视觉传感器由于成本低, 多被用于有车位线情况下的车位识别研究<sup>[1-3]</sup>, 但对于空间满足车辆尺寸的无车位线车位<sup>[4]</sup>, 单独使用视觉传感器进行识别比较困难。超声波传感器相较视觉传感器具有更强的抗干扰能力, 通过扫描车位空间并与车辆尺寸对比, 即可

收稿日期: 2024-12-26

基金项目: 福州市科技重大项目(2022-ZD-008); 福建理工大学海洋研究专项基金资助项目(GY-Z24132)

第一作者简介: 江灏(2000—), 男, 福建龙岩人, 硕士研究生, 研究方向: 智能汽车与自主泊车等。

通信作者: 黄鼎键(1982—), 男, 福建福州人, 副教授, 博士, 研究方向: 智能网联汽车仿真与设计等。

判断目标车位是否为空闲车位<sup>[5-8]</sup>。但超声波传感器只适用于近距离的测量,并且对障碍物依赖性强,应用环境较为受限。利用多传感器融合技术进行车位识别的方法融合了不同类型传感器的优势,较好地提高了车位识别的准确性和鲁棒性,已成为环境感知的主流方案之一<sup>[9]</sup>。Piao Changhao 等<sup>[10]</sup>提出相似模型融合方法,将超声波传感器与视觉传感器信息集成进行车位识别。江浩斌等<sup>[11]</sup>利用超声波雷达、视觉传感器以及里程计信息融合构建障碍车辆姿态和车位空间模型,再经 Mamdan 模糊推理计算出车位类型。姜武华等<sup>[12]</sup>融合视觉传感器、超声波传感器以及轮速传感器进行车位特征参数采集,采用 Sugeno 模糊推理方法实现多工况车位识别。汪永旺等<sup>[13]</sup>融合视觉传感器、超声波传感器和车轮速传感器得出车辆姿态特征参数,再通过 Mamdani 模糊推理方法计算出车位类型。然而上述采用多传感器融合技术的水位识别研究在识别准确率、安全性方面仍有不足。

综上,本研究针对无车位线车位场景,提出融合二维激光雷达与 3D 相机数据计算车位空间关键参数,利用 Mamdani 模糊推理方法根据关键参数得到车位类型,同时融合二维激光雷达与 3D 相机数据判断车位空间有无障碍物。

### 1 无车位线车位识别方案

本研究所提的车位识别流程如图 1 所示。在智能小车上安装二维激光雷达以及 3D 相机,其中二维激光雷达获取车位空间的点云数据,计算车位空间中障碍物间的最小距离以及水平距离;3D 相机融合二维激光雷达数据计算车位空间竖直宽度。在车位识别过程中,根据处理后的二维激光雷达与 3D 相机数据构建车位空间模型,以计算车位空间关键参数。将关键参数输入到依据驾驶员经验搭建的模糊推理系统中,判断车位空间中有无障碍物,若车位空间中有障碍物,则输出车位类型。反之,车辆继续向前寻库,直到识别出可用车位。

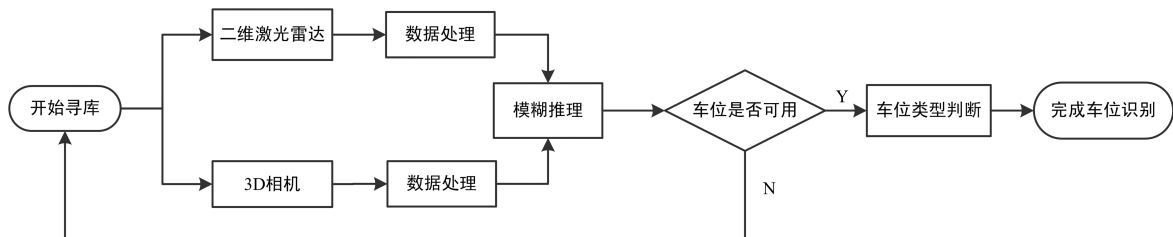


图 1 无车位线车位识别流程

Fig.1 Identification process without parking line

### 2 泊车车位空间模型建立

本研究以搭载阿克曼转向机构的智能小车作为研究对象,模拟小型车在无车位线车位场景下的识别,车辆参数如表 1 所示。

表 1 车辆参数

Tab.1 Vehicle parameters

参数	符号表示	数值	单位
车长	$L$	0.445	m
车宽	$W$	0.358	m
轴距	$l$	0.315	m
前悬	$l_f$	0.065	m
后悬	$l_r$	0.065	m

为了模拟泊车场景,将智能小车简化成一个矩形轮廓,其中障碍物指车辆、建筑墙体等。根据如图 2 所示的寻库方式,利用智能小车搭载的二维激光雷达与 3D 相机对右侧空间进行数据采集与处理,提取障碍物 1 和障碍物 2 的姿态数据,从而构建出车位空间模型。

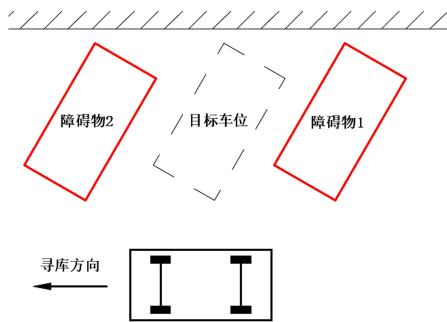


图 2 寻库示意图

Fig.2 Library search diagram

## 2.1 障碍物位姿模型建立

图 3(a)与图 3(b)为两种典型的障碍物摆放姿态。在自车获取障碍物姿态过程中, $x$  轴坐标与  $y$  轴坐标分别表示二维激光雷达探测到的  $X$  值与  $Y$  值,单位为  $m$ 。

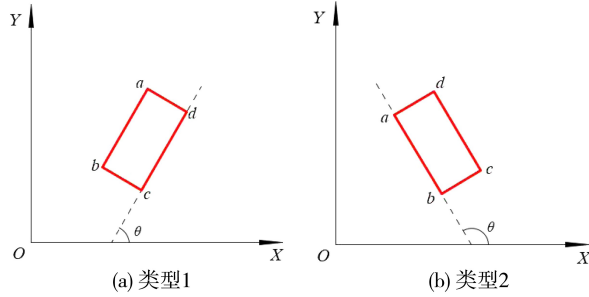


图 3 不规则摆放姿态

Fig.3 Irregular posture

二维激光雷达测距公式为:

$$d = L \frac{\sin\alpha\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)} \quad (1)$$

式中, $d$  为二维激光雷达测得距离值, $L$  为激光信号发射器与成像单元之间的距离, $\alpha$  为红外激光信号发射角, $\beta$  为相机接收角。

二维激光雷达返回的极坐标转换为直角坐标系坐标( $X_i, Y_i$ )的变换公式为:

$$\begin{cases} X_i = d_i \times \cos\theta_i \\ Y_i = d_i \times \sin\theta_i \end{cases} \quad (2)$$

式中, $d_i$  为激光发射点与目标点的距离, $\theta_i$  为激光光束与  $Y$  轴间的夹角。

其中,姿态角  $\theta$  表示障碍物纵向轴线与  $x$  轴之间的夹角,取值范围为  $0 \sim \pi$ ,计算如式(3)所示。

$$\theta = \begin{cases} \frac{\pi}{2} - \arctan \frac{|y_b - y_c|}{|x_b - x_c|}, & 0 < \theta \leq \frac{\pi}{2} \\ \arctan \frac{|y_b - y_c|}{|x_b - x_c|} + \frac{\pi}{2}, & \frac{\pi}{2} \leq \theta < \pi \end{cases} \quad (3)$$

## 2.2 泊车位空间模型参数计算

根据上述障碍物姿态模型,建立如图 4 所示的车位空间模型,用于获取车位空间参数。

根据二维激光雷达测距公式,得到障碍物 1 轮廓点  $b_1, c_1, d_1$  以及姿态角  $\theta_1$ ,障碍物 2 轮廓点  $b_2, c_2, d_2$  以及姿态角  $\theta_2$ ,并且  $D_{\min} < D_{c1} < D_{\max}$ ,  $D_{\min} < D_{c2} < D_{\max}$ 。其中  $D_{c1}$  与  $D_{c2}$  为分别为二维激光雷达测得与  $c_1$  与  $c_2$  的竖直距离; $D_{\min}$  为最小安全

距离,本研究取  $0.4 m$ ;  $D_{\max}$  为最大探测距离,根据二维激光雷达产品参数可知为  $12 m$ 。

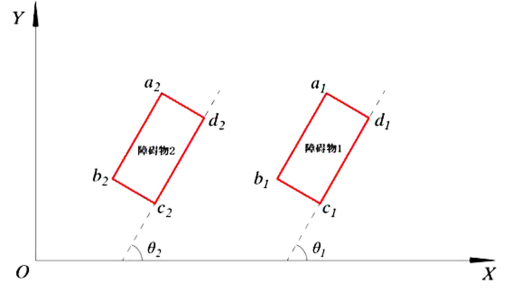


图 4 车位空间模型

Fig.4 Parking space model

首先计算车位空间水平长度  $L_w$ ,即轮廓点  $b_1$  与  $d_2$  间水平距离:

$$L_w = L_{b_1} - L_{d_2} \quad (4)$$

结合姿态角  $\theta_1, \theta_2$ ,计算障碍物 1 到障碍物 2 的最短距离,即轮廓点  $b_1$  到线段  $c_2 d_2$  的最短距离,由点到直线的距离计算公式得到:

$$L_{\min_1} = \frac{|L_{b_1} \tan\theta_2 - D_{b_1} + D_{d_2} - L_{d_2} \tan\theta_2|}{\sqrt{1 + (\tan\theta_2)^2}} \quad (5)$$

同理可得障碍物 2 到障碍物 1 的最短距离:

$$L_{\min_2} = \frac{|L_{d_2} \tan\theta_2 - D_{d_2} + D_{b_1} - L_{b_1} \tan\theta_1|}{\sqrt{1 + (\tan\theta_1)^2}} \quad (6)$$

为了更准确判断车位空间,选择较小值作为最小车位空间长度  $L_d$  的值:

$$L_d = \min\{L_{\min_1}, L_{\min_2}\} \quad (7)$$

3D 相机获取两障碍物间的深度值,即轮廓点  $d_2$  与  $b_1$  内在  $y$  轴方向的最小深度值  $D_{\text{depth}_{\min}}$ 。接着,将最小深度值  $D_{\text{depth}_{\min}}$  减去二维激光雷达与障碍物水平距离值  $D_{\min}$ ,即得到车位空间竖直宽度  $D_d$ :

$$D_d = D_{\text{depth}_{\min}} - D_{\min} \quad (8)$$

其中, $D_{\min}$  参数计算示例如图 5 所示。以二维激光雷达中心建立坐标系,点  $n$  与点  $m$  为二维激光雷达获取到的障碍物轮廓点,其中  $Y_n < Y_m$ ,因此点  $n$  为距二维激光雷达最近的点云,即  $d_{\min} = d_n$ 。 $OP$  间距离即为二维激光雷达与障碍物最小水平距离值  $D_{\min}$ ,可通过式(9)计算得出。

$$D_{\min} = d_{\min} \cos\theta_n \quad (9)$$

综上获得车位空间的 5 个关键参数,接着将关键参数输入至模糊推理系统中进行车位类型判断。

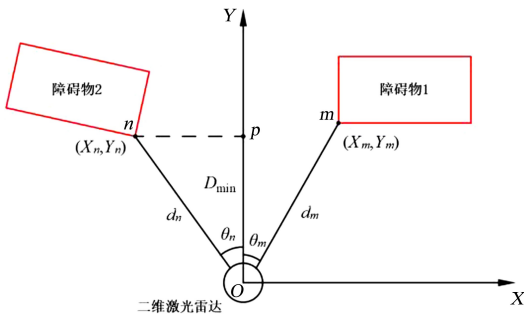


图 5  $D_{min}$  参数计算

Fig.5  $D_{min}$  parameter calculation

### 3 基于模糊推理的车位识别

模糊推理能够有效处理现实世界中的模糊性和不确定性,适用于难以用精确语言描述的场景,能较好模拟人的逻辑思维,目前广泛应用在人工智能和控制领域<sup>[14]</sup>。本研究选用 Mamdani 模糊

推理方法<sup>[15]</sup>,将计算得到的 5 个关键参数作为输入,经参数模糊化后,以驾驶员泊车经验作为推理规则,推理合成以及去模糊化步骤输出车位类型。

#### 3.1 输入输出模糊化

本研究设计的模糊推理系统输入 5 个参数后将输出 4 个结果。输入参数分别为障碍物 1 的姿态角  $\theta_1$ 、障碍物 2 的姿态角  $\theta_2$ 、车位空间水平长度  $L_w$ 、车位空间最小长度  $L_d$  以及车位空间最小深度  $D_d$ ;4 个输出分别为平行车位、垂直车位、斜向车位和不可用车位。

本研究将障碍物 1 的姿态角  $\theta_1$  与障碍物 2 的姿态角  $\theta_2$  的模糊子集分为 3 级,分别为 {正小,正中,正大},即 {PS,PM,PL},隶属度函数均为梯形。其中横坐标为论域  $[0, \pi]$ ,单位为( $^\circ$ ),纵坐标为隶属程度。障碍物 1 的姿态角  $\theta_1$  与障碍物 2 的姿态角  $\theta_2$  的论域如图 6(a)和 6(b)所示。

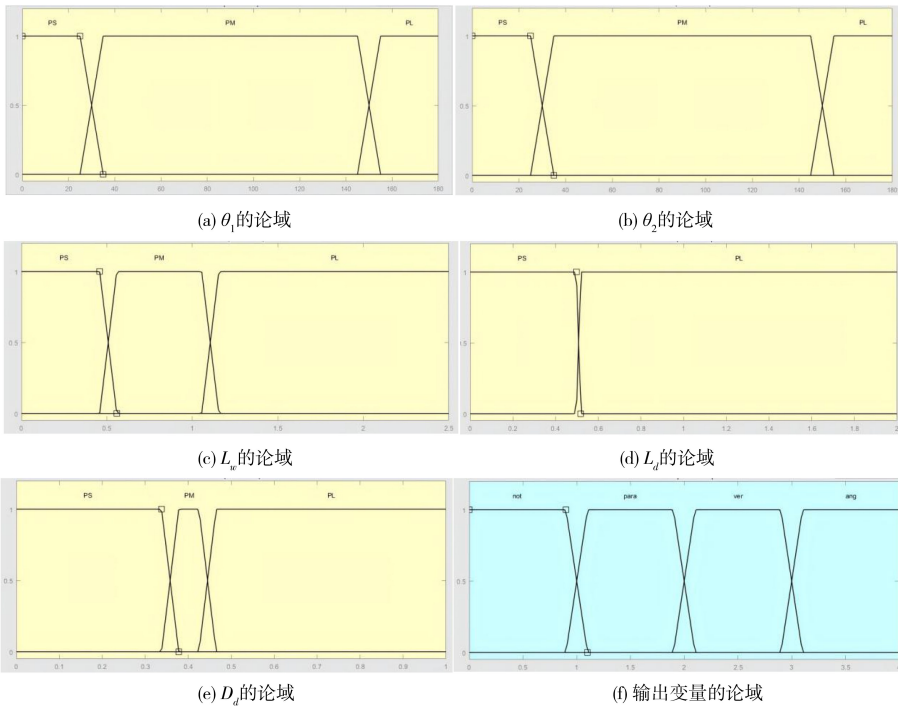


图 6 隶属度函数

Fig.6 Membership function

车位空间水平长度  $L_w$  的模糊子集分为 3 级,分别为 {正小,正中,正大},即 {PS,PM,PL},隶属度函数为梯形。其中横坐标为论域  $[0, 2.5]$ ,单位为 m,纵坐标为隶属程度。车位空间水平长度  $L_w$  的论域如图 6(c)所示。

车位空间最小长度  $L_d$  的模糊子集分为 2 级,

分别为 {正小,正大},即 {PS,PL},隶属度函数为梯形。其中横坐标为论域  $[0, 2]$ ,单位为 m,纵坐标为隶属程度。车位空间最小长度  $L_d$  的论域如图 6(d)所示。

车位空间最小深度  $D_d$  的模糊子集分为 3 级,分别为 {正小,正中,正大},即 {PS,PM,PL},隶

隶属函数为梯形。其中横坐标为论域 $[0, 1]$ , 单位为 m, 纵坐标为隶属程度。车位空间最小深度 $D_d$  的论域如图 6(e) 所示。

对于模糊推理的车位类型输出, 本研究将其分为{不可用, 平行, 垂直, 斜向}, 即{not, para, ver, ang}, 隶属度函数为梯形。其中横坐标为论域 $[0, 4]$ , 纵坐标为隶属程度。其论域如图 6(f) 所示。

### 3.2 建立模糊规则库

根据输入输出隶属度函数关系, 结合驾驶员经验以及智能小车尺寸, 建立了 162 个模糊规则, 如表 2 所示。

- (1) 当  $L_w \geq L + 0.66$  m 时, 符合平行车位泊车条件。
- (2) 当  $L_w \geq L + 0.66$  m, 但  $D_d < 0.358$  m 时, 车位不可用。
- (3) 当  $L_w \geq W + 0.15$  m 时, 符合垂直车位泊车条件。
- (4) 当  $L_w \geq W + 0.15$  m, 但  $D_d < 0.445$  m 时, 车位不可用。
- (5) 当  $L_d \geq W + 0.15$  m 时, 符合斜向车位泊车条件。
- (6) 当  $L_d \geq W + 0.15$  m, 但  $D_d < 0.445$  m 时, 车位不可用。

表 2 模糊规则

Tab.2 Fuzzy rule

编号	$\theta_1$	$\theta_2$	$L_w$	$L_d$	$D_d$	车位类型匹配结果
1	PS	PS	PS	PS	PS	not
2	PS	PS	PS	PS	PM	not
3	PS	PS	PS	PS	PL	not
4	PS	PS	PS	PL	PS	not
5	PS	PS	PS	PL	PM	ang
...	...	...	...	...	...	...
160	PL	PL	PL	PL	PS	not
161	PL	PL	PL	PL	PM	para
162	PL	PL	PL	PL	PL	para

### 3.3 去模糊化

采用重心法进行去模糊化, 通过计算隶属度函数曲线与横坐标围成面积的重心来作为模糊推理系统的输出值。

## 4 仿真试验与结果分析

本研究设计了 6 种不同工况的车位场景, 并在 MATLAB/Simulink 中搭建模糊推理系统, 以验证车位识别方法的可行性。由于篇幅限制, 本研究展示 4 种车位场景试验情况。其中车位场景 1 期望输出平行车位; 车位场景 2 期望输出斜向车位; 车位场景 3、4 期望输出不可用车位。在仿真模型中, 障碍物 1 和障碍物 2 均为长 0.5 m, 宽 0.35 m 的矩形障碍物, 障碍物 3 表示高度低于二维激光雷达工作范围的物体。仿真试验结果如图 7 所示。

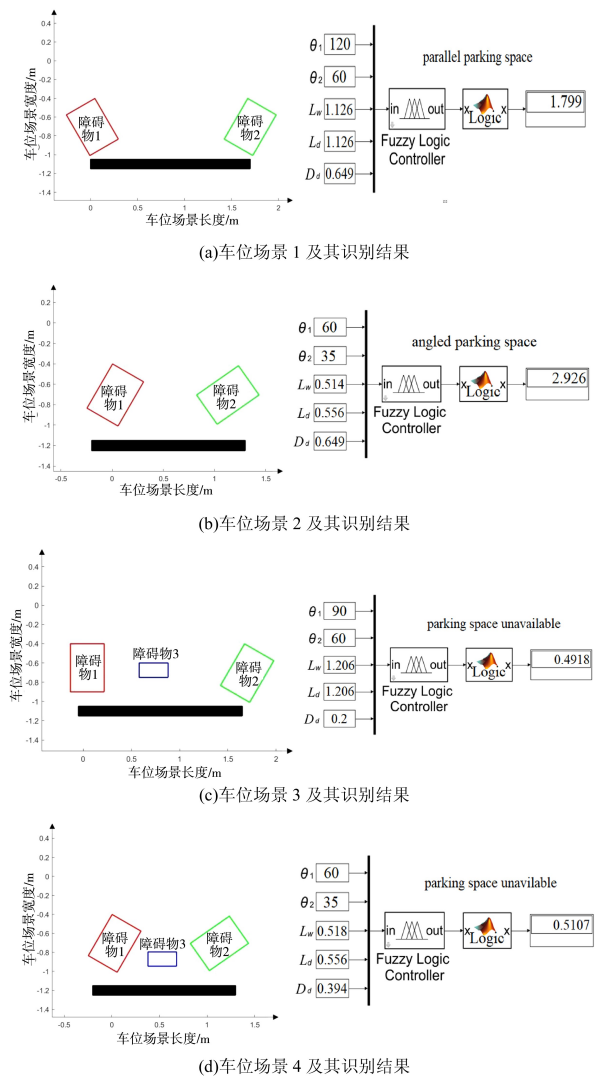


图 7 仿真试验结果

Fig.7 Results of simulation experiment

综上所述, 本研究提出的车位识别方法能够正确识别出不同车位类型, 并且在有障碍物存在的情况下, 能够实现危险车位空间预警。

### 5 智能小车试验与结果分析

为了进一步验证车位识别方法的准确性,本研究以安装有 ROS 的智能小车作为试验车辆,利用智能小车搭载的传感器获取车位空间参数,数据经处理后传入上位机中搭建的模糊推理系统,实时输出车位类型结果。

以 RC 遥控车作为障碍物搭建了 6 种泊车场景,其中工况 1 为车位中无障碍物的情况,工况 2

为车位中有障碍物的情况。场景 1 为常规平行车位,工况 1 时期望输出平行车位;场景 2 为常规垂直车位,工况 1 时期望输出垂直车位;场景 3 为常规斜向车位,工况 1 时期望输出斜向车位;场景 4 为不规则车位,工况 1 时期望输出平行车位;场景 5 为不规则车位,工况 1 时期望输出垂直车位;场景 6 为不规则车位,工况 1 时期望输出斜向车位。场景 4 与 6 的试验结果如图 8 所示。

智能小车试验结果汇总于表 3 中。

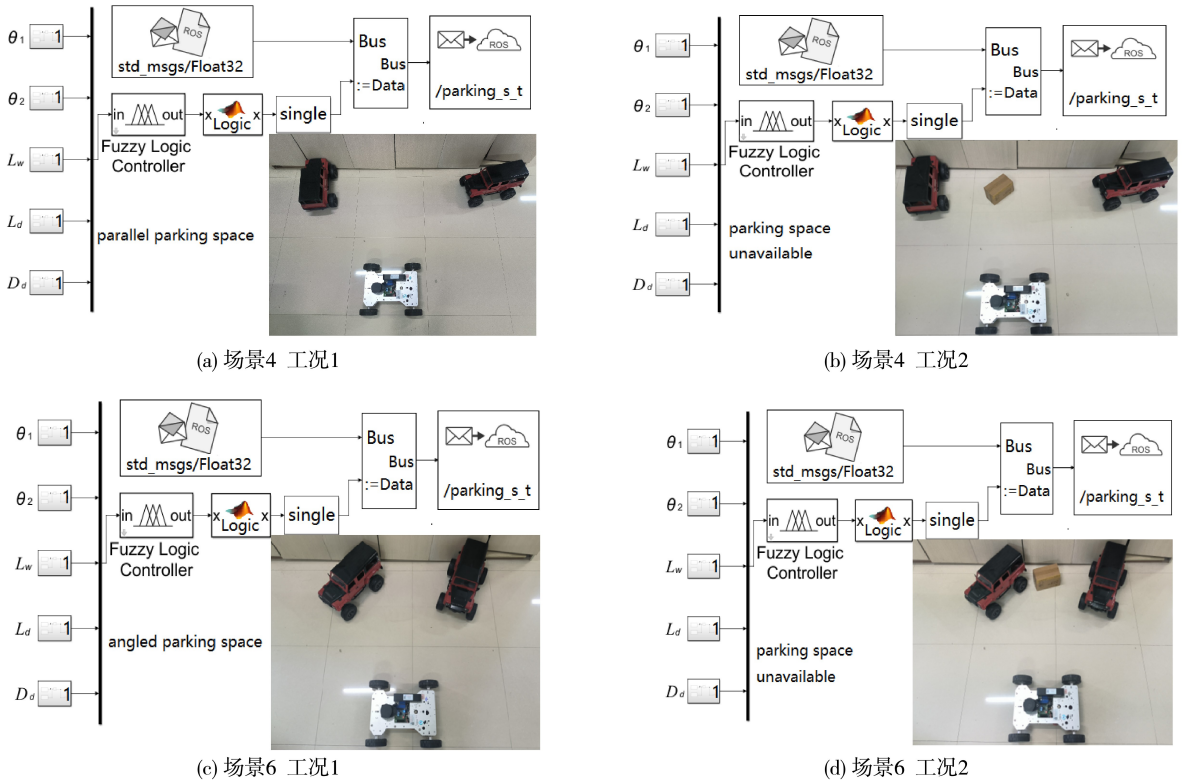


图 8 智能小车试验结果

Fig.8 Intelligent vehicle test results

表 3 智能小车试验结果

Tab.3 Results of the intelligent vehicle test

场景	期望输出结果		试验次数		成功次数		成功率/%	
	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2
1	平行车位	车位不可用	50	50	50	50	100	100
2	垂直车位	车位不可用	50	50	49	50	98	100
3	斜向车位	车位不可用	50	50	49	50	98	100
4	平行车位	车位不可用	50	50	47	50	94	100
5	垂直车位	车位不可用	50	50	48	50	96	100
6	斜向车位	车位不可用	50	50	49	50	98	100

观察试验结果可知,场景 4 的识别成功率低于其他场景。由于场景 4 中障碍物间距离较远,二维激光雷达对两障碍物姿态角的计算准确率较低,导致识别时出现误判的情况。

综上,本研究提出的多传感器融合车位识别方法对无车位线车位中常规车位与不规则车位的类型识别均有较高的成功率,有助于提高车位空间利用率。同时准确判断车位空间中是否有障碍物,为自动泊车系统后续环节提供较好的先行判断。

## 参考文献:

- [1] 江浩斌,王成雨,马世典,等. 基于图像梯度匹配的自动泊车系统车位识别方法[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2020,41(6):621-626.
- [2] 朱旺旺,黄宏成,马晋兴. 基于图像识别的泊车车位检测算法研究[J]. 汽车工程,2019,41(7):744-749,756.
- [3] MA S D, FANG W F, JIANG H B, et al. Parking space recognition method based on parking space feature construction in the scene of autonomous valet parking[J]. Applied Sciences, 2021, 11(6):2759.
- [4] 徐远征,吴长水. 基于改进快速探索随机树的复杂环境垂直泊车路径规划[J]. 汽车技术,2022(7):42-47.
- [5] 仇旭,朱浩,邓元望. 基于超声波雷达的改进车位检测算法研究[J]. 中国机械工程,2020,31(14):1747-1753.
- [6] JIMÉNEZ F, CLAVIJO M, CERRATO A. Perception, positioning and decision-making algorithms adaptation for an autonomous valet parking system based on infrastructure reference points using one single LiDAR[J]. Sensors, 2022, 22(3):979.
- [7] 王志伟. 基于安全通道路径规划的自动泊车系统关键技术研究[D]. 长春:吉林大学,2022.
- [8] 肖淳. 自动泊车系统规划设计与跟踪控制仿真研究[D]. 广州:广东工业大学,2022.
- [9] 《中国公路学报》编辑部. 中国汽车工程学术研究成果·2023[J]. 中国公路学报,2023,36(11):1-192.
- [10] PIAO C H, ZHANG J, CHANG K, et al. Multi-sensor information ensemble-based automatic parking system for vehicle parallel/nonparallel initial state[J]. Sensors, 2021, 21(7):2261.
- [11] 江浩斌,沈峥楠,马世典,等. 基于信息融合的自动泊车系统车位智能识别[J]. 机械工程学报,2017,53(22):125-133.
- [12] 姜武华,辛鑫,陈无畏,等. 基于信息融合的自动泊车系统多工况车位识别和决策规划[J]. 机械工程学报,2021,57(6):131-141.
- [13] 汪永旺,汪石农,姜灏,等. 多工况下自动泊车系统停车位识别方法研究[J]. 电子测量与仪器学报,2022,36(9):174-182.
- [14] 王杰,周志杰,胡昌华,等. 不确定性信息表示及推理[J]. 控制与决策,2023,38(10):2749-2763.
- [15] 刘春华,安佳奕. 基于 Lyapunov 函数的 Mamdani 模糊控制系统稳定性研究[J]. 机床与液压,2020,48(11):172-178.

## 6 结束语

本研究融合二维激光雷达和 3D 相机获取车位空间参数,基于模糊推理建立了车位识别系统,在多种工况条件下进行仿真试验,证明了所提出的方法在无车位线车位识别以及车位空间预警方面的可行性。泊车场景下的智能小车的试验,实现了车位识别以及空间障碍物的实时检测,证明了所提出的车位识别方法具有较好的适用性和识别准确率,同时提升了自动泊车系统的运行安全性。

(责任编辑:方素华)