

DOI: 10.13382/j.jemi.B2205518

多工况下自动泊车系统停车位识别方法研究^{*}

汪永旺¹ 汪石农¹ 姜 灏² 周倪青² 李志晋¹

(1. 安徽工程大学电气工程学院 芜湖 241000; 2. 奇瑞汽车股份有限公司 芜湖 241000)

摘 要:针对自动泊车系统需要对多工况下的停车位进行正确识别的问题,提出了一种基于摄像头和超声波传感器进行距离和视觉信息融合的停车位识别方法。该方法首先通过摄像头和超声波传感器对停车位进行识别,识别成功则输出停车位类型,否则融合摄像头、超声波传感器和车轮速传感器的信息得出车辆的车身姿态特征参数,通过模糊推理方法输出相应的停车位类型。然后,多工况下停车位识别仿真模型在 MATLAB 上被搭建,并针对不同的停车位场景进行了仿真分析,仿真结果表明了该方法的合理性和可靠性。最后,在多工况下对该方法进行了实车实验,停车位识别正确率超过了 90%,表明了该方法具有实际应用的可行性。

关键词:信息融合;模糊推理;停车位识别

中图分类号: TP274 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510. 80

Research on parking space identification method of automatic parking system under multiple working conditions

Wang Yongwang¹ Wang Shinong¹ Jiang Hao² Zhou Niqing² Li Zhijin¹

(1. Anhui Polytechnic University, School of Electrical Engineering, Wuhu 241000, China;

2. Chery Automobile Co., Ltd., Wuhu 241000, China)

Abstract: Aiming at the problem that automatic parking system needs to correctly identify the parking space under multiple working conditions, this paper proposes a parking space recognition method based on distance and visual information fusion of cameras and ultrasonic sensors. This method first identifies the parking space through cameras and ultrasonic sensors, and the parking space type is output if the identification is successful. Otherwise, the information of cameras, ultrasonic sensors and wheel speed sensors is fused to obtain the vehicle parking position characteristic parameters, and the corresponding parking space type is output through fuzzy reasoning. Then, the simulation model of parking space identification under multiple working conditions is built on MATLAB, and the simulation analysis is carried out for different parking space scenarios. The simulation results show that the method is reasonable and reliable. Finally, the real vehicle experiment is carried out under multiple working conditions, and the parking space recognition accuracy is more than 90%, indicating that the method is feasible for practical application.

Keywords: information fusion; fuzzy reasoning; parking space identification

0 引 言

随着社会发展和经济水平不断提高,汽车行业发展得越来越迅猛,人们对汽车的保有量不断增加。但是城市由于受到空间和容积率等方面的影响,出现了停车位

发展与车辆数量不匹配的现象。因此,在不同的场合出现了各种各样的停车位,比如小区里的地板砖停车位,路边的带路沿停车位,医院里的地面停车位以及一些不规则停车位等,不同的停车位对自动泊车系统的停车位识别要求也越来越高^[1-6]。

国内外的科研机构、高校和研究者们对停车位识别

收稿日期: 2022-05-21 Received Date: 2022-05-21

^{*} 基金项目:安徽省高校自然科学基金重点项目(KJ2021A0508)、安徽工程大学国家基金预研项目(Xjky2020019)、电气传动与控制安徽省重点实验室开放基金项目(DQKJ202207)资助

做了大量的研究,常用的停车位识别方法主要包括两种,一种是通过摄像头直接识别车辆,在有停车线的情況下,通过摄像头拍摄图片,通过图像处理算法识别停车线,以此来识别停车位^[7-10];另一种是通过超声波传感器探测停车位^[11-13]。采用摄像头的方法可靠性较差,容易受天气、光照等环境的影响,而超声波传感器识别停车位时,停车位至少一侧需要停有车辆。

随着信号检测与处理技术、计算机技术以及控制技术的飞速发展,各种面向复杂应用背景的多传感器系统大量涌现,信息融合技术已成为自动泊车乃至无人驾驶的研究热点^[14]。在自动泊车领域,通常采用超声波传感器和视觉传感器进行数据融合,以提高识别停车位的能力。Suhr等^[15]提出一种融合超声波传感器与视觉信息以检测停车位的方法。浙江大学王文飞^[16]综合了视觉信息与超声波传感器在某些方面的优势,对停车位进行实时的检测。这些方法虽然有效提高了车位的识别效率,但对于不规则停车位却很难识别出来。江苏大学江浩斌等^[17]利用超声波雷达、视觉传感器、里程计信息融合来辨识停车位两侧车辆姿态和停车位参数模型,再根据模糊逻辑推理出停车位类型,但其重点在于识别不规则停车位,并未提高停车位的识别效率。

为了正确识别多工况下的停车位,本文通过摄像头和超声波传感器对停车位的类型进行识别,识别成功则输出停车位类型,否则在此基础上融合摄像头、超声波传感器和车轮速传感器的信息得出车辆的车身姿态特征参数,然后通过模糊推理方法计算输出相应的停车位类型。通过仿真和实车实验验证了所提出的多工况下停车位识别方法的有效性和可靠性。

1 多工况停车位识别基本原理

多工况下停车位识别基本原理如图1所示。带有自动泊车系统的汽车(以下简称泊车)车身两侧安装有摄像头和超声波传感器,系统首先分别通过摄像头和超声波传感器对停车位进行识别,若摄像头识别成功,超声波传感器未能识别成功,则输出摄像头识别的停车位类型;若摄像头未能识别成功,超声波传感器识别成功,则输出超声波传感器识别的停车位类型;若摄像头和超声波传感器都识别成功,则以摄像头识别为主,输出摄像头识别的停车位类型;若摄像头和超声波传感器都未能识别停车位,则融合摄像头、超声波传感器和车轮速传感器的信息得出车辆的车身姿态特征参数,然后通过模糊推理方法计算输出相应的停车位类型。

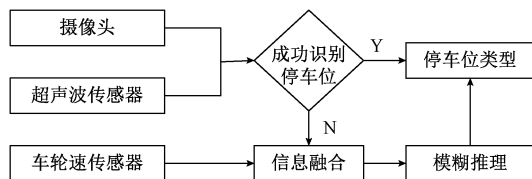


图1 多工况停车位识别基本原理

Fig. 1 Basic principle of parking space identification under multiple working conditions

2 停车位识别方法

2.1 摄像头停车位识别

车辆在行驶过程中首先通过摄像头识别停车位,但是车辆通过摄像头识别的过程中将受到光照不均匀、光照强度变化等环境因素的干扰,为提高停车位检测的精度和算法对环境的鲁棒性,须先对图像进行预处理。车辆的摄像头输入为RGB图像,首先通过式(1)转换法则进行图像灰度化:

$$h(x, y) = 0.299 \times R(x, y) + 0.587 \times G(x, y) + 0.114 \times B(x, y) \quad (1)$$

其中, h 为灰度化图像; R, G, B 分别为图像的3个通道值; (x, y) 为灰度化图像中的像素坐标。然后根据目标信息和背景信息的灰度特性不同,通过图像二值化处理可以将目标信息与背景信息分割开来,如图2(b)所示,其表达式为:

$$f(x, y) = \begin{cases} 0, & f(x, y) < T \\ 255, & f(x, y) \geq T \end{cases} \quad (2)$$

其中, T 为阈值。

灰度化和二值化过程后,基于Canny边缘检测算法找出图中的边缘线,如图2(c)所示,最后采用Hough变换是将影像空间中的曲线(包括直线)变换到参数空间中,通过检测参数空间中的极值点,确定出该曲线的描述参数,从而提取影像中的规则曲线,如图2(d)所示,其对偶变换公式为:

$$x \cdot \cos\theta + y \cdot \sin\theta = p \quad (3)$$

其中, x, y 为像素坐标, p 为原点到直线的垂直距离, θ 为该垂线与 x 轴的夹角。将直线 $y = ax + b$ 代入式(3)变换方程,得:

$$p - b \cdot \sin\theta = \frac{x}{\sqrt{1 + a^2}} \cdot \sin(\theta + \varphi) \quad (4)$$

经Hough变换对车位线边缘检测后,图像空间的车位线边缘像素点在参数空间形成单一峰值点,通过提取该峰值点可以提取边缘直线的相关参数,如图2(e)是提取车位线边缘直线的检测结果。若检测到长度超过1 m的线(虚线或者实线)便虚拟成一条直线,若检测到3条

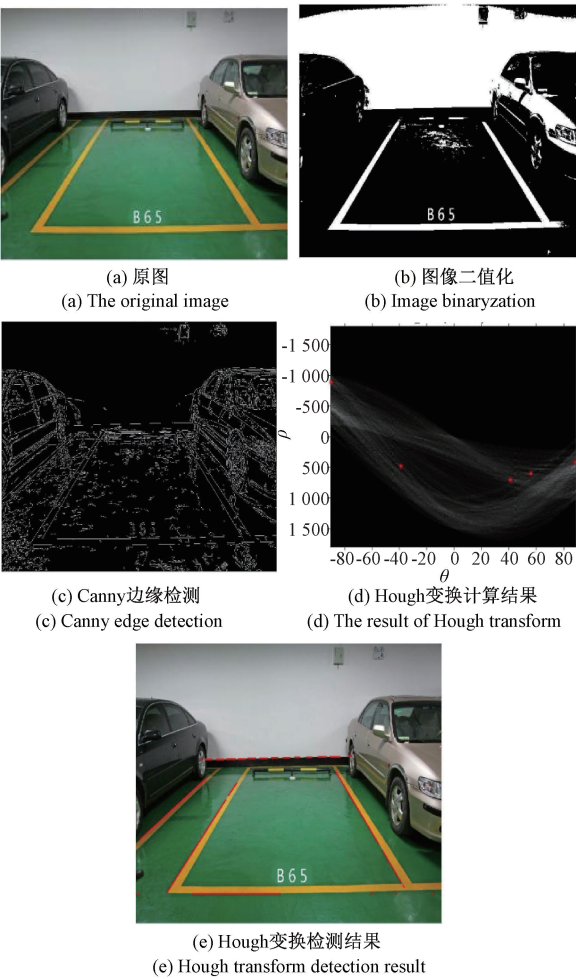


图 2 图像处理过程

Fig. 2 Image processing process

这样的直线,且形成 2 个直角,则认为是一个车位线,在该车位线里进行障碍物检测,若没有障碍物则认为存在一个停车位。

2.2 超声波传感器停车位识别

当摄像头未能成功识别停车位时,超声波传感器需要参与停车位的识别。超声波传感器测距的方法主要有往返时间检测法、相位检测法、声波幅值检测法。其原理是超声波传感器发射一定频率的超声波,借助空气媒质传播,到达测量目标或障碍物后反射回来,经反射后由超声波接收器接收脉冲,通过检测或估计从发射超声波至接收回波所经历的时间以用于计算障碍物的距离。本文选择往返时间法来计算障碍物距车辆的距离,其计算公式为:

$$D = \frac{vt}{2}$$
 (5)

$$v = 331.4 \sqrt{\frac{\tau + 273.16}{273.16}}$$
 (6)

其中, D 为传感器与障碍物之间的距离, v 为空气介质中超声波传感器的传播速度, τ 为空气介质温度。

图 3 为寻库示意图,假定目标停车位两侧各有一辆汽车,用 S 车和 E 车来表示,自车用 P 车表示。P 车在前进过程中,车身两侧的超声波传感器实时对自车相对停车位区域进行单向探测,当车辆从一个由两辆车或两个障碍物夹成的停车位驶过时,车身侧方的超声波传感器探测的距离会有两次跳变,两次跳变的原因则是超声波传感器探测到了障碍物与停车位空当的交界处。如果能够记录每一次跳变时超声波传感器所在的位置,那么障碍物与停车位空当的交界处的位置也就随之确定了,而这两个交界处的位置正是停车位的标定。

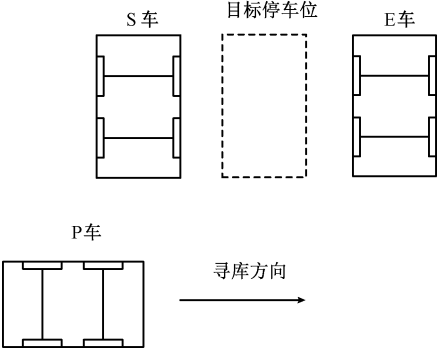


图 3 寻库示意图

Fig. 3 Schematic diagram of searching garage

为了验证超声波传感器识别停车位的可行性,在 MATLAB 上搭建超声波传感器停车位识别模型, X 轴表示行驶方向, Y 轴表示超声波传感器探测方向,车辆沿着 X 轴正方向行驶,同时超声波传感器不断地探测周围情况,其他的小方块表示不同车辆的摆放姿态及位置,识别到的停车位用虚线框表示,如图 4 所示,仿真结果表明超声波传感器可以有效识别出不同类型的停车位。

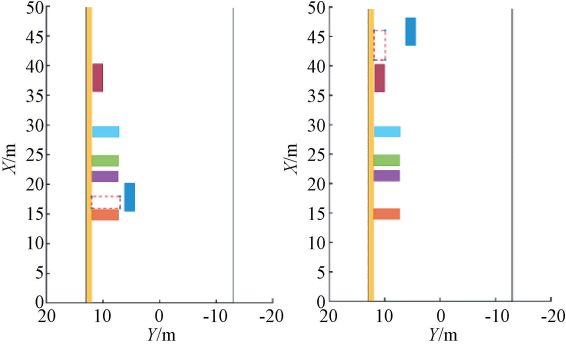


图 4 超声波传感器停车位识别

Fig. 4 Identification of parking space by ultrasonic sensor

3 基于模糊推理的停车位识别

由于仅依靠摄像头和超声波传感器只能识别标准的

停车位,遇到一些不规则停车位的情况时,可能不能正确识别出停车位,因此需要加入模糊推理来识别一些不规则停车位。

3.1 停车位空间模型

图5是两种典型的汽车不规则停放的车身姿态,主要空间参数包括汽车车身的边缘点 A 、 B 、 C 和车身姿态角 θ 。为方便计算,设自车行进的方向为 x 轴正方向,超声波传感器探测的方向为 y 轴方向,建立平面直角坐标系,那么 x 轴所对应的是车轮速传感器记录的自车行驶距离, y 轴所对应的是超声波传感器探测到的距离值。车身姿态角 θ 表示车辆纵向轴与 x 轴之间的夹角,取值范围为 $[0, \pi]$ 。

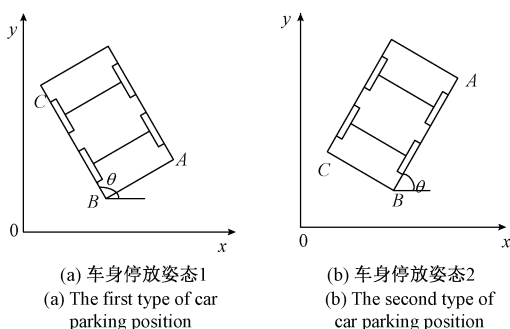


图5 不规则停放的车身姿态

Fig. 5 Irregularly type of car parking position

车辆在行驶过程中探测到的 A 点、 B 点和 C 点坐标分别记为 (X_A, Y_A) 、 (X_B, Y_B) 和 (X_C, Y_C) ,其中, X_A 、 X_B 和 X_C 分别为车轮速传感器记录的自车行驶距离, Y_A 、 Y_B 和 Y_C 分别为超声波传感器探测到的距离值。根据泊车方案的不同,车身姿态角 θ 的计算方式也不同,如式(7)所示:

$$\theta = \begin{cases} \arctan \frac{|Y_A - Y_B|}{X_B - X_A}, \text{judge} = 0 \\ \pi - \arctan \frac{|Y_A - Y_B|}{X_B - X_A}, \text{judge} = 1 \end{cases} \quad (7)$$

其中,第1种计算方式的原理如图5(a)所示, $\text{judge}=0$ 代表摄像头在 B 点和 C 点之间未识别到车牌,认为此时是车辆的侧面;第2种计算方式的原理如图5(b)所示, $\text{judge}=1$ 代表摄像头在 B 点和 C 点之间识别到车牌,认为此时不是车辆的侧面。

以前面的车身姿态模型为基础,建立如图6所示的停车位模型,以便于计算停车位参数。首先获取 S 车的边缘点 A_1 、 B_1 、 C_1 和姿态角 θ_1 , E 车的边缘点 A_2 、 B_2 、 C_2 和姿态角 θ_2 ,且 $D_{\min} \leq D_{B1} \leq D_{\max}$, $D_{\min} \leq D_{B2} \leq D_{\max}$,其中, $D_{\min}$ 为最小安全距离, $D_{\max}$ 为超声波传感器所能探测的最大距离。

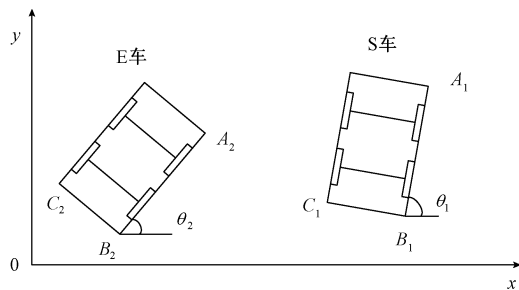


图6 停车位模型

Fig. 6 Parking space model

计算停车位的水平宽度 L_w ,即点 C_1 和点 A_2 对应的距离差,计算公式为:

$$L_w = L_{C1} - L_{A2} \quad (8)$$

融合超声波传感器信息、车轮速传感器信息、 S 车车身姿态角 θ_1 、 E 车车身姿态角 θ_2 ,可以求得 S 车和 E 车的最短距离 L_d 。

S 车到 E 车的最短距离为 S 车的左边边缘点 C_1 到 E 车线段 A_2B_2 的最短距离,其计算公式为:

$$L_{S-E} = \frac{|X_{C1} \cdot \tan \theta_2 - Y_{C2} + Y_{A2} - X_{A2} \cdot \tan \theta_2|}{\sqrt{1 + (\tan \theta_2)^2}} \quad (9)$$

同理可得, E 车到 S 车的最短距离计算公式为:

$$L_{E-S} = \frac{|X_{A2} \cdot \tan \theta_1 - Y_{A2} + Y_{C1} - X_{C1} \cdot \tan \theta_1|}{\sqrt{1 + (\tan \theta_1)^2}} \quad (10)$$

取:

$$L_d = \min \{L_{S-E}, L_{E-S}\} \quad (11)$$

其中,距离单位为 m 。

3.2 基于模糊推理的停车位识别流程

本文采用 Mamdani 型模糊推理方法,以停车位空间模型中提取的4个参数为输入,以驾驶员日常泊车的经验判断为基准原则,通过推理计算,实现对停车位的识别和判断。基本流程如图7所示。

3.3 输入输出变量模糊化

根据 Mamdani 型模糊推理的原理,首先对输入量和输出量模糊化。其中,输入参数分别为 S 车的车身姿态角 θ_1 、 E 车的车身姿态角 θ_2 、车位水平宽度 L_w 、 S 车和 E 车之间的最短距离 L_d ,输出结果为停车位类型,即垂直停车位、倾斜停车位、水平停车位和不是停车位。

输入变量 θ_1 的模糊子集为{小,小中,中,大中,大},简记为{S,SM,M,LM,L},论域为 $[0, \pi]$;输入变量 θ_2 模糊子集为{小,中,大},简记为{S,M,L},论域为 $[0, \pi]$;车位水平宽度 L_w 的模糊子集为{小,中,大},简记为{S,M,L},论域为 $[0, +\infty]$; S 车和 E 车之间的最短距离 L_d 的模糊子集为{小,大},简记为{S,L},论域为 $[0, +\infty]$;输出变量为停车位类型 T ,它的模糊子集为{垂直停车

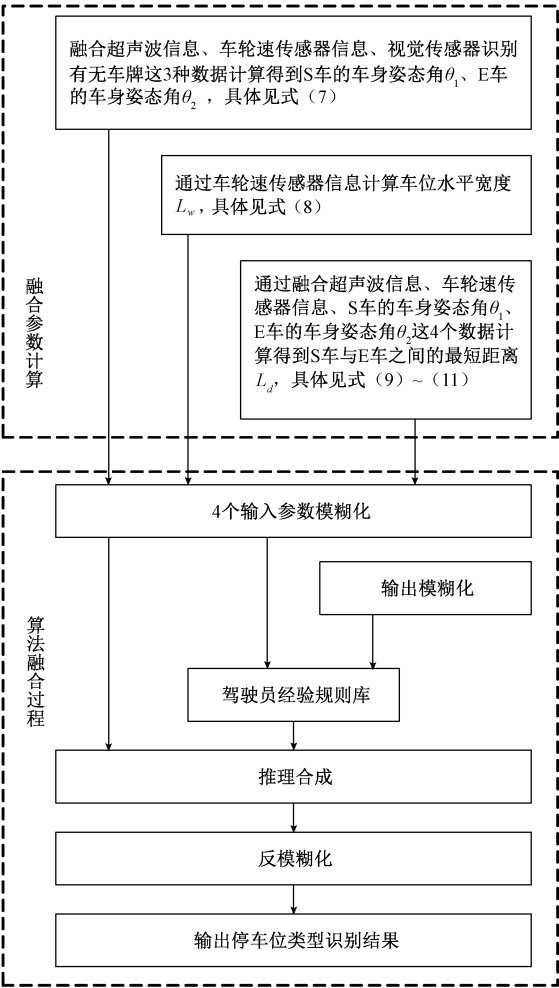


图 7 基于模糊推理的停车位识别流程

Fig. 7 Parking space identification process based on fuzzy reasoning

位,倾斜停车位,水平停车位,不是停车位},简记为 $\{V, O, P, N\}$,论域为 $[0, +\infty]$ 。输入输出变量的隶属度函数均采用常用的梯形,如图 8 所示。

3.4 模糊规则库

模糊规则库的选取原则为:if $(\theta_1)_i$ and $(\theta_2)_i$ and $(L_w)_i$ and $(L_d)_i$ then $(T)_i, i=1, 2, 3, \dots, M, M$ 为模糊规则总数。根据驾驶员日常泊车的经验,最终确定如表 1 所示的 90 个模糊规则。

以上模糊规则的建立,主要基于以下原则,其中 L_c 表示自车车长, W_c 表示自车车宽。

- 1) 当 $L_w \geq L_c + 0.8$ (m) 时,停车位类型判断为水平停车位;
- 2) 当 $L_w \geq L_c + 0.6$ (m) 时,停车位类型判断为垂直停车位;
- 3) 当 $L_d \geq W_c + 0.6$ (m) 时,停车位类型判断为倾斜停车位。

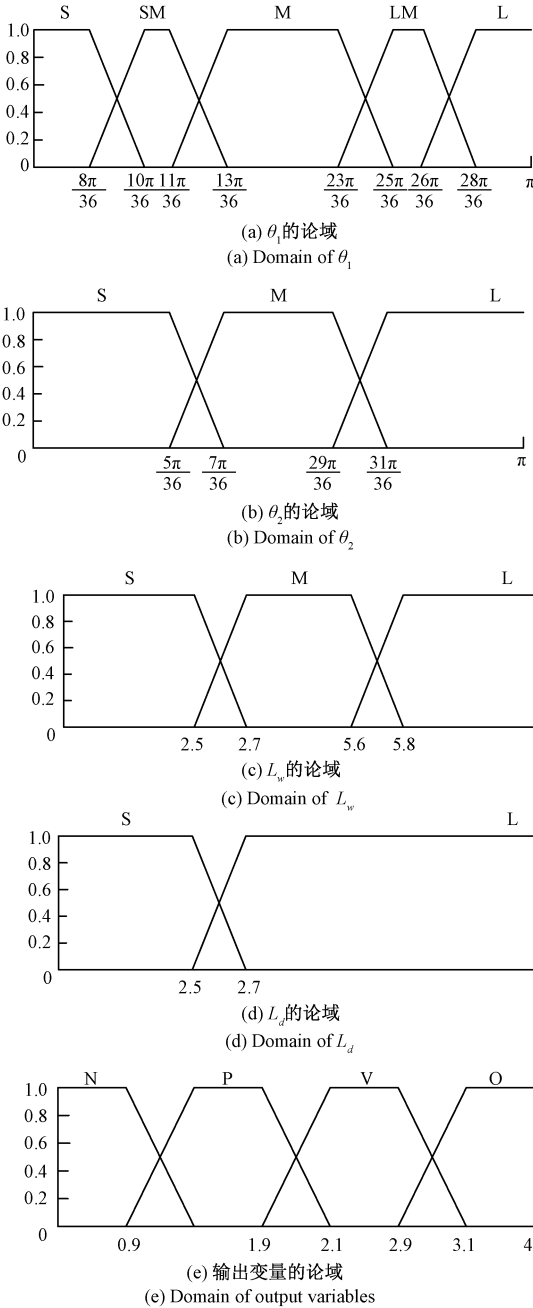


图 8 隶属度函数

Fig. 8 Membership function

4 实车测试

本文借助奇瑞平台某系列安装有自动泊车系统的汽车作为实验车,该实验车带有轮速传感器,车身两侧安装有超声波传感器和摄像头,车内安装有泊车控制器,如图 9 所示,超声波传感器是通过整车 CAN 网络将信号传送给泊车控制器,摄像头通过视频传输线将视频信号传输给泊车控制器。

表 1 模糊规则库
Table 1 Fuzzy rule library

序号	θ_1	θ_2	L_w	L_d	T
1	S	S	S	S	N
2	S	S	S	L	N
3	S	S	M	S	N
4	S	S	M	L	O
5	S	S	L	S	N
6	S	S	L	L	P
7	S	M	S	S	N
8	S	M	S	L	N
9	S	M	M	S	N
10	S	M	M	L	V
11	S	M	L	S	N
12	S	M	L	L	O
13	S	L	S	S	N
14	S	L	S	L	N
15	S	L	M	S	N
16	S	L	M	L	O
17	S	L	L	S	N
18	S	L	L	L	P
19	SM	S	S	S	N
20	SM	S	S	L	N
21	SM	S	M	S	N
22	SM	S	M	L	O
23	SM	S	L	S	N
24	SM	S	L	L	V
25	SM	M	S	S	N
26	SM	M	S	L	N
27	SM	M	M	S	N
28	SM	M	M	L	V
29	SM	M	L	S	N
30	SM	M	L	L	O
31	SM	L	S	S	N
32	SM	L	S	L	N
33	SM	L	M	S	N
34	SM	L	M	L	O
35	SM	L	L	S	N
36	SM	L	L	L	V
37	M	S	S	S	N
38	M	S	S	L	N
39	M	S	M	S	N
40	M	S	M	L	V
41	M	S	L	S	N
42	M	S	L	L	O
43	M	M	S	S	N
44	M	M	S	L	N
45	M	M	M	S	N
46	M	M	M	L	V
47	M	M	L	S	N
48	M	M	L	L	O
49	M	L	S	S	N
50	M	L	S	L	N
51	M	L	M	S	N
52	M	L	M	L	V

53	M	L	L	S	N
54	M	L	L	L	P
55	LM	S	S	S	N
56	LM	S	S	L	N
57	LM	S	M	S	N
58	LM	S	M	L	O
59	LM	S	L	S	N
60	LM	S	L	L	V
61	LM	M	S	S	N
62	LM	M	S	L	N
63	LM	M	M	S	N
64	LM	M	M	L	V
65	LM	M	L	S	N
66	LM	M	L	L	O
67	LM	L	S	S	N
68	LM	L	S	L	N
69	LM	L	M	S	N
70	LM	L	M	L	O
71	LM	L	L	S	N
72	LM	L	L	L	V
73	L	S	S	S	N
74	L	S	S	L	N
75	L	S	M	S	N
76	L	S	M	L	O
77	L	S	L	S	N
78	L	S	L	L	P
79	L	M	S	S	N
80	L	M	S	L	N
81	L	M	M	S	N
82	L	M	M	L	V
83	L	M	L	S	N
84	L	M	L	L	O
85	L	L	S	S	N
86	L	L	S	L	N
87	L	L	M	S	N
88	L	L	M	L	O
89	L	L	L	S	N
90	L	L	L	L	P

针对不同的停车位类型和场景,分别做不同场景的实车实验,如图 10 所示,车内的泊车控制器实时分析计算超声波传感器、摄像头和轮速传感器信息并输出停车位的类型,当发现停车位时,屏幕上会直接显示停车位的信息并提醒进行停车。

实验结果如表 2 所示,垂直停车位识别时,有时会把路边的低路沿误识别为车位线,导致识别的结果错误;倾斜停车位识别时,会因为车位线不够清晰而识别不出停车位;水平停车位的识别效果较好;不规则停车位识别相比于其他停车位的识别成功率较低一些,经分析,主要由于停车不规范时的车身角较大,影响识别汽车车身的边缘点。为了验证本文停车位识别方法的性能,同时进行了目前常用的两种停车位识别方法的对比实验。第 1 种

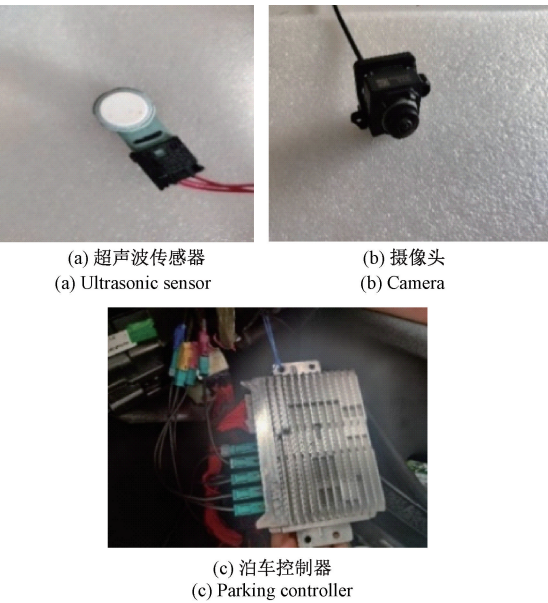


图 9 超声波传感器、摄像头和泊车控制器

Fig.9 Ultrasonic sensor, camera and parking controller

方法是仅通过车身两侧摄像头识别停车位,实验结果如表 3 所示,第 2 种方法是仅通过车身两侧的超声波传感器识别停车位,实验结果如表 4 所示。由实验结果可以看出仅通过摄像头识别停车位和仅通过超声波传感器识别停车位的成功率也都达到了 90% 以上,但因为摄像头只能通过识别车位线来识别车位,所以识别的都是有车位线的停车位,而超声波传感器也因为性能原因,所以识别的停车位都是基于停车位两侧或一侧有汽车的停车位,并且仅通过摄像头和仅通过超声波传感器识别都不能识别出不规则的停车位。

表 2 实车实验结果

Table 2 Actual vehicle experimental results						
停车位类别	测试 编号	横向距离/ cm	车速/ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	试验 次数	识别成 功次数	成功率/ %
垂直停车位	1	50~180	5~15	30	29	96.7
倾斜停车位	2	50~180	5~15	30	28	93.3
水平停车位	3	50~180	5~15	30	30	100
不规则停车位	4	50~180	5~15	30	27	90

表 3 仅安装摄像头时实验结果

Table 3 Experimental results when only cameras are installed						
停车位类别	测试 编号	横向距离/ cm	车速/ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	试验 次数	识别成 功次数	成功率/ %
垂直停车位	1	50~180	5~15	30	28	93.3
倾斜停车位	2	50~180	5~15	30	29	96.7
水平停车位	3	50~180	5~15	30	28	93.3
不规则停车位	4	50~180	5~15	30	—	—



图 10 停车位场景

Fig. 10 Parking space scenario

5 结 论

本文提出了一种基于摄像头和超声波传感器进行距

表 4 仅安装超声波传感器时实验结果
Table 4 Experimental results when only
ultrasonic sensors are installed

停车位类别	测试	横向距离/	车速/	试验 识别成 成功率/		
	编号	cm	(km·h ⁻¹)	次数	功次数	%
垂直停车位	1	50~180	5~15	30	28	93.3
倾斜停车位	2	50~180	5~15	30	27	90
水平停车位	3	50~180	5~15	30	29	96.7
不规则停车位	4	50~180	5~15	30	—	—

离和视觉信息融合的停车位识别方法。通过融合摄像头、超声波传感器和车轮速传感器的信息得出车辆的车身姿态特征参数,再通过模糊推理方法输出相应的停车位类型,可以有效识别出不同类型的停车位。在多工况下对该方法进行了实车实验,实验结果表明,停车位识别正确率超过了 90%,具有实际应用的可行性。虽然摄像头和超声波停车位识别都属于常规的算法,但本文通过引入模糊推理算法,可以有效地识别出多种不同类型的停车位,同时算法简单高效,确保了停车位能够被实时识别。但是,由于本文算法对倾斜停车位和不规则停车位的识别成功率没有达到 95%。所以,在后续工作中,还要对摄像头和超声波传感器识别算法进行进一步融合和优化,以便于更好地提高识别的效率和准确性。

参考文献

[1] 吴锴.智能自动泊车系统的研究[D].南京:南京理工大学,2008.
WU K. Research on intelligent automatic parking system [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2008.

[2] 张微,华一丁,臧晨,等.面向室内停车场的自主代客泊车关键技术研究[J].汽车电器,2019(8):6-8.
ZHANG W, HUA Y D, ZANG CH, et al. Research on key technologies of autonomous valet parking for indoor parking lot [J]. Auto Electric Parts, 2019(8): 6-8.

[3] 江浩斌,叶浩,马世典,等.基于多传感器数据融合的自动泊车系统高精度辨识车位的方法[J].重庆理工大学学报(自然科学),2019,33(4):1-10.
JIANG H B, YE H, MA SH D, et al. High precision parking space identification method for automatic parking system based on multi-sensor data fusion [J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2019, 33(4): 1-10.

[4] SUHR J K. Full-automatic recognition of various parking slot marking using a hierarchical tree structure [J]. Optical Engineering, 2013, 52(3): 7203.

[5] PARK W J, KIM B S, SEO D E, et al. Parking space

detection using ultrasonic sensor in parking assistance system [C]. Intelligent Vehicles Symposium. IEEE, 2008: 1039-1044.

[6] JANG C, SUNWOO M. Semantic segmentation-based parking space detection with standalone around view monitoring system [J]. Machine Vision and Applications, 2019, 30(2): 309-319.

[7] 唐震,彭业萍,王伟江,等.融合 Hough 直线检测和 Grab-cut 的风机叶片自适应分割方法[J].电子测量与仪器学报,2021,35(4):161-168.
TANG ZH, PENG Y P, WANG W J, et al. Adaptive fan blade segmentation method based on Hough linear detection and Grab-cut [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2021, 35 (4): 161-168.

[8] 樊启高,朱高文,黄文涛,等.基于图像分割模型的执行末端视觉跟踪策略研究[J].仪器仪表学报,2021,42(9):62-70.
FANG Q G, ZHU G W, HUANG W T, et al. Research on visual tracking strategy of execution end based on image segmentation model [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2021, 42(9):62-70.

[9] 位营杰,师红宇.基于 Canny 算子的优化研究[J].国外电子测量技术,2021,40(8):77-81.
WEI Y J, SHI H Y. Research on optimization based on Canny operator [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2021, 40(8):77-81.

[10] 朱强.基于全景相机的自动泊车系统设计与实现[D].成都:电子科技大学,2017.
ZHU Q. Design and implementation of automatic parking system based on panoramic camera [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2017.

[11] JUNG H G, KIM D S, YOON P J, et al. Two touch type parking slot marking recognition for target parking position designation[C]. Intelligent Vehicles Symposium. IEEE, 2008.

[12] BIBI N, MAJID M N, DAWOOD H, et al. Automatic parking space detection system [C]. International Conference on Multimedia & Image Processing. IEEE, 2017.

[13] 段建民,李帅印,王昶人,等.基于激光雷达的道路边界与障碍物检测研究[J].应用激光,2018,38(6):1000-1007.
DUAN J M, LI SH Y, WANG CH R, et al. Road boundary and obstacle detection based on lidar [J]. Applied Laser, 2018, 38(6):1000-1007.

- [14] 张煌,王国权,孙鹏. 基于信息融合的目标检测系统研究[J]. 电子测量技术, 2021, 44(19): 28-35.
ZHANG H, WANG G Q, SUN P. Research on target detection system based on information fusion [J]. Electronic Measurement Technology, 2021, 44(19): 28-35.
- [15] SUHR J K, JUNG H G. A universal vacant parking slot recognition system using sensors mounted on off-the-shelf vehicles [J]. Sensors, 2018, 18(4): 1213-1233.
- [16] 王文飞. 基于超声波与机器人视觉的自动泊车系统设计[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
WANG W F. Design of automatic parking system based on ultrasonic and robot vision [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011.
- [17] 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.
JIANG H B, SHEN ZH N, MA SH D, et al. Intelligent parking space recognition for automatic parking system based on information fusion [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2017, 53(22): 125-133.

作者简介



汪永旺, 2019 年于安徽师范大学皖江学院获得学士学位, 现为安徽工程大学研究生, 主要研究方向为检测技术与自动化装置。

E-mail: 2281011167@qq.com

Wang Yongwang received his B. Sc. degree in 2019 from Wanjiang College of Anhui Normal University. He is now a M. Sc. candidate at Anhui Polytechnic University. His main research interests include detection technology and automatic equipment.



汪石农 (通信作者), 毕业于南京航空航天大学, 现为安徽工程大学副教授, 主要研究方向为光伏发电与新能源并网。

E-mail: wsn@ahpu.edu.cn

Wang Shinong (Corresponding author) is graduated from Nanjing University of Aeronautics and Astronautics. Now he is an associate professor in Anhui Polytechnic University. His main research interests include photovoltaic power generation and new energy grid-connected.