

DOI: 10.20189/j.cnki.CN/61-1527/E.202506010

基于预设标识的大型车辆停车定位方法

尉金强, 杜文正, 孙晓艳, 邓刚锋, 唐圣金*
(火箭军工程大学, 西安 710025)

摘 要: 针对现有数字图像处理方法在大型车辆辅助停车定位过程中测量精度较低的问题, 提出一种基于预设标识的大型车辆停车定位方法。首先, 通过张正友标定法来获取相机内外参数, 利用透视变换生成鸟瞰图, 并结合棋盘格角点标定法来实现图像像素与实际物理距离的精确映射; 其次, 识别停车位红色地标线边缘点, 采用最小二乘法拟合直线并计算其中心线与车辆的偏距和偏角, 从而实现车辆横向定位; 最后, 引入可编码的田字格标识符, 通过 HSV 空间颜色分割与形态学处理提取质心, 结合预设颜色序列索引库推算出车辆纵向位置。实验结果表明: 在车长为 8.3 m, 车位尺寸为 10.0 m × 2.5 m 的实测场景下, 所提融合定位方法能够结合多相机数据, 通过协同红色标识线与可编码田字格标识符, 将车辆停车定位误差控制在 4.0 cm 以内, 为大型车辆高精度停车定位提供了可靠技术支撑。

关键词: 数字图像处理; 大型车辆; 停车定位; 预设标识; 最小二乘法

中图分类号: U463.1; TP391 **文献标志码:** A **开放科学标识码(OSID):**

文章编号: 2097-2741(2025)06-0104-11



听语音
与作者互动
聊科研

Preset Marker-Based Parking Localization Method of Large Vehicles

WEI Jinqiang, DU Wenzheng, SUN Xiaoyan,
DENG Gangfeng, TANG Shengjin*
(Rocket Force University of Engineering, Xi'an 710025, China)

ABSTRACT: To address the issue of insufficient measurement accuracy in existing digital image processing methods for assisting parking localization of large vehicles, a parking localization method based on preset markers was proposed. First, the intrinsic and extrinsic parameters of the camera were obtained using Zhang's calibration method. A bird's-eye view was generated via perspective transformation, and a mapping between image pixels and physical distances was established by incorporating checkerboard corner calibration. Second, the edge points of the red markers were detected, and the least-squares method was employed to fit the straight lines and com-

收稿日期: 2025-03-23

修回日期: 2025-04-25

录用日期: 2025-05-29

基金项目: 国家自然科学基金(61873175); 陕西省自然科学基金基础研究计划(2022JM-376)

第一作者: 尉金强(1998—), 男, 硕士研究生, 主要从事目标识别与车辆定位研究。E-mail: 1920622948@qq.com

***通信作者:** 唐圣金(1985—), 男, 副教授, 主要从事锂电池寿命预测及车辆控制研究。E-mail: tangshengjin27@126.com

引用格式: 尉金强, 杜文正, 孙晓艳, 等. 基于预设标识的大型车辆停车定位方法[J]. 火箭军工程大学学报, 2025, 39(6): 104-114.
WEI Jinqiang, DU Wenzheng, SUN Xiaoyan, et al. Preset marker-based parking localization method of large vehicles[J]. Journal of Rocket Force University of Engineering, 2025, 39(6): 104-114.

pute the deviation and offset angle between the vehicle and marker centerlines, thereby achieving lateral localization. Finally, an encoded grid marker was introduced, and the centroid was extracted through HSV space color segmentation and morphological processing. The vehicle's longitudinal position was derived by matching it against a preset color sequence index library. Experimental results show that, in a real-world scenario with a vehicle length of 8.3 m and parking space size of $10.0\text{ m} \times 2.5\text{ m}$, the proposed fusion localization method maintains the parking localization error within 4.0 cm by combining multi-camera data and coordinating the red marking lines with the encoded field, offering a reliable technical solution for high-precision parking localization of large vehicles.

KEYWORDS: digital image processing; large vehicle; parking localization; preset marker; least squares method

车辆停车定位检测技术在智能交通系统中发挥着重要作用,它不仅能够提高停车定位精度,缩短停车时间,还能增强智能泊车系统的可靠性和安全性。随着智能交通的发展,停车定位技术正逐步从依赖人工经验和单一传感器判断的方式,向更加智能化、自动化的方向发展^[1]。目前,智能停车定位方法主要分为多传感器融合方法、基于图像处理的停车定位方法,以及基于计算机视觉和传感器融合的定位方法。

多传感器融合方法结合全球定位系统(global positioning system, GPS)、激光雷达(light detection and ranging, LiDAR)和摄像头等多元数据,来对车辆进行定位,以提高停车定位精度^[2]。胡钊政等^[3]通过融合车端和路端的高精度地图信息,并结合激光雷达和GPS数据,优化了车辆定位效果,但当GPS信号丢失时,算法性能明显下降。周苏等^[4]结合激光雷达和粒子滤波器,在GPS和WiFi信号受限的情况下,将定位误差缩小到10 cm以内,但该方法仍存在进一步优化的空间。Wan等^[5]采用多传感器融合技术,在复杂城市环境中为驾驶员提供高精度车辆定位,但由于涉及多个传感器协同工作和多元数据融合处理,该方法流程复杂且运算耗时较长。Li等^[6]结合LiDAR、相机和GPS数据,在复杂城市环境中实现了较高精度定位,但在光线较差的情况下,算法的可靠性有待提升。陈雷等^[7]通过发光二极管与光敏电阻结合,实现了车位监测与车辆自主导航,但误差相对较大,难以满足高精度定位场景的需求。

基于图像处理的停车定位方法依赖摄像头采集停车场环境信息,并结合计算机视觉、语义分割、深度学习等技术来对车辆进行定位^[8-9]。Wat-

son等^[10]采用图优化技术,在全球导航卫星系统(global navigation satellite system, GNSS)信号不稳定或受干扰的环境中实现了车辆精确定位,但整体精度还有待提升。Zhang等^[11]结合语义地图、视觉信息和距离测量数据,提高了车辆定位的精度和稳定性,尤其在复杂城市环境中定位效果较好,但实时性还需进一步优化。Zhang等^[12]通过结合视觉数据和高精度地图的定位方法,提高了车辆在复杂路况和动态障碍物场景中的适应能力,但计算过程相对复杂,对硬件要求较高。Partha等^[13]将深度神经网络运用在城市地图生成和匹配中,能够显著提升车辆的定位精度,但算法相对复杂,进一步限制了系统的实时响应能力。王依凡等^[14]通过计算大型车辆宽度与车道范围之间的自适应线段,减少了视角差异所导致的车道线形变,从而降低了车辆定位误差,但该方法计算量较大,对硬件的需求较高。詹泽辉等^[15]通过提取车位线骨架特征并计算轮胎触地点与停车位之间的关系来判断复杂环境下的停车方位,但该方法定位精度较差,难以满足高精度停车定位需求。肖广兵等^[16]提出一种基于车载网络的无线定位方法,在提高停车精度和抗干扰能力方面表现良好,但过度依赖车载自组织网络,算法复杂度高,对硬件要求也较为严苛,在基础设施不完善地区的适用性较差。

由于传统卫星定位技术在室内环境中的定位精度有限^[17],一些研究者开始利用机器视觉和传感器相结合的方法来对室内停车进行定位。例如,魏明明等^[18]通过计算机视觉识别停车标识符并计算其与车辆中心点间的距离来对车辆进行停车定位,尽管在无障碍情况下的定位精度较高,但其适用范围十分有限。杨强荣等^[19]结合多传感器数

据, 利用交通规则生成车道线和道路模型, 实现了车辆自主导航与停车定位, 但该方法依赖于预先构建的地图信息, 无法通过采集到的多传感器数据自动生成道路模型。贺婉茹等^[20]通过传感器图像与三边定位算法相结合, 在低光照环境下显著提升了停车定位精度, 但误差依然较大, 难以满足高精度停车需求。李锦等^[21]通过可见光定位导航系统辅助停车, 虽然误差降低至 7.5 cm, 但仍存在进一步优化的空间。邱昌等^[22]结合北斗系统的动态指引技术来提升泊车效率, 但由于北斗系统在部分地区尚未广泛应用, 算法的适用性受到一定的限制。

综上所述, 多传感器融合方法在复杂环境中的鲁棒性较好, 能充分利用不同传感器间的互补优势, 但系统设计较为复杂, 运算耗时长, 且对某些特定信号变化较为敏感。同时, 图像处理方法不受 GPS 信号的限制, 能够利用视觉信息在特定场景下实现车辆的精准定位, 但算法的实时性通常较差, 在光线和视角变化情况下性能易受影响, 整体定位精度还有待提升。基于此, 本文针对大型特种车辆停车定位这一特殊应用场景, 提出一种基于预设标识的停车定位方法, 利用红色标记线和田字格标识符来精准计算车辆与停车位之间的相对位置信息, 从而减少对 GPS、LiDAR 及高算力计算设备的依赖, 提高泊车精度及其稳定性。

1 算法整体设计

基于预设标识的大型车辆停车定位流程如图 1 所示。首先, 对每个相机进行标定以获取相应的内外参数, 然后通过透视变换将相机拍摄图像转换为鸟瞰图, 并利用棋盘格角点检测进行像素和距离的缩放因子匹配; 接着, 识别鸟瞰图中的红色地标线, 使用边缘检测技术提取边缘点, 结合最小二乘法拟合边缘直线并确定地标线的中心线, 通过该中心线的偏距和偏角信息来推算出车辆与停车位的空间关系; 同时, 由于倒车入位初期尾部相机无法拍摄车位底端地标线, 通过设置并检测停车位旁的可编码田字格彩色标识, 并结合相机检测结果, 可以推算出车辆相对停车位底边的位置; 最后, 结合直线和田字格的检测结果, 实现车辆的高精度停车定位。

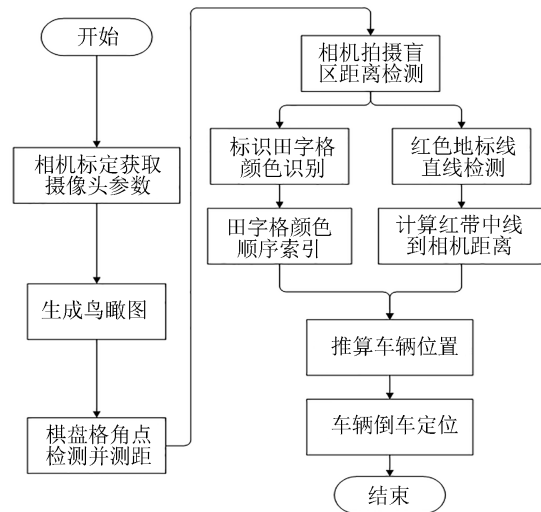


图 1 基于预设标识的大型车辆停车定位流程

Fig. 1 Flowchart of preset marker-based parking localization of large vehicles

2 相机标定与棋盘格距离匹配

2.1 单目相机标定

相机标定是为了获得相机的内外参数及其畸变系数。张正友标定法^[23]通过提取不同姿态下棋盘格图像的角点, 计算相机的内外参数和畸变系数, 从而有效校正镜头畸变和装配误差带来的图像失真。

在理想条件下, 不考虑畸变影响时, 标定板与成像平面之间存在唯一的单应性关系, 表达式为

$$z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = M_1 \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$M_1 = \begin{bmatrix} f/d_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & f/d_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: z_c 为点在相机坐标系下的 z 轴坐标; (u, v) 为成像平面 (图像坐标系) 中像素的坐标值; (x_w, y_w, z_w) 为点在标定板 (世界坐标系) 中的坐标; T 为平移矩阵; r_1 、 r_2 、 r_3 分别为在 3 个不同方向上的旋转分量; f 为相机焦距; d_x 和 d_y 分别为像素在 x 和 y 方向上对应的物理尺寸; (u_0, v_0) 为主点 (光心在图像上的投影) 的像素坐标。

在实际相机标定过程中, 都是选择平面标定板, 可令 $z_w = 0$, 则可将式 (1) 简化为

$$z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = M_1 \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

该转换过程被称为单应性变化, 单应性矩阵 H 可表示为

$$H = \beta M_1 \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & T \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: β 为尺度因子。

相机的内外参数及尺度因子 β 可基于单应性矩阵 H , 通过正交约束联合求解得到。

2.2 基于棋盘格测距的缩放因子计算

由于不同相机的内外参数、高度和俯仰角度存在差异, 导致相机拍摄到的图像转换为鸟瞰图后, 每个像素点与实际距离的对应关系也各不相同。因此, 本文通过已知棋盘格角点间实际距离与鸟瞰图中相邻角点像素距离的对应关系来计算缩放因子, 从而提高测距精度。

以实验小车为例, 选取面向车头左侧靠近车尾和位于车尾的独立相机进行说明。在测距实验中, 分别在这 2 个相机的视野范围内放置棋盘格, 且棋盘格靠近车辆一侧的底边线与车身平齐。在相机捕捉的画面中, 棋盘格边线与相机视角下方的临界线重合, 布局如图 2 所示。

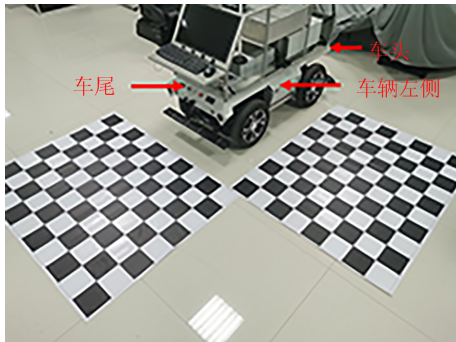


图 2 棋盘格布局

Fig. 2 Checkerboard layout

完成相机标定后, 基于相机内参、高度和俯仰角信息, 将输入图像转换成鸟瞰图像, 以车辆尾部相机为例, 其生成的鸟瞰图像如图 3 所示。

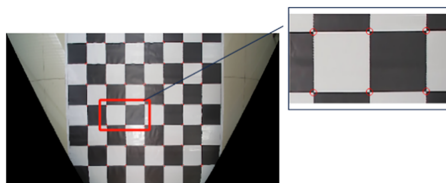


图 3 棋盘格鸟瞰图中角点提取示意

Fig. 3 Schematic of corner point extraction in bird's-eye view of checkerboard

在鸟瞰图中, 为计算图像坐标系与世界坐标系之间的缩放因子, 采用基于棋盘格角点的测距方法, 通过计算相邻角点间的平均像素距离, 得到实际距离与像素距离之间的对应关系, 从而将图像几何信息映射到物理空间中。在本实验中, 棋盘格中的方格尺寸为 $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$, 在车身左侧靠近车尾相机的鸟瞰图中, 每 1 mm 真实距离对应 $1.046 4$ 像素, 尾部相机的鸟瞰图中每 1 mm 真实距离对应 $1.041 3$ 像素。其余相机也采用相同的像素-距离转换方法, 确保测量数据的合理性。

3 基于标识物的车辆倒车定位方法

3.1 基于红色标识框的车辆倒车定位方法

在实际停车过程中, 首先对鸟瞰图中的红色标志带进行直线检测^[24], 采用基于目标 HSV 自适应地标直线检测方法, 可以提高直线检测精度; 然后, 通过提取到的红带边缘点数据, 利用最小二乘法拟合得到地标直线方程; 最后, 利用拟合出的直线端点, 可以确定地标线的中线位置, 并计算红带中心线相对于车身的夹角 θ 为

$$\theta = \arctan \left(\frac{Y_r - Y_l}{X_r - X_l} \right) \quad (5)$$

式中: (X_l, Y_l) 和 (X_r, Y_r) 分别为中心线在图像中的左右边缘点。

由于相机的镜头与车厢保持平行, 可知相机测量到的红带中线偏角与车辆相对于红带的实际偏角一致。在测量红色地标线到相机的垂直距离时, 由于相机的光学中心位于拍摄画面的中心线上, 因此在鸟瞰视角中, 光学中心同样位于图像的竖直中心线上。以车身上某个相机为例, 单个相机实际距离测量如图 4 所示。图中, 红色线框表示地标线, 蓝色线框表示车辆轮廓, 黄色点代表面向车头左侧某个相机的位置, 黄线为相机到红色地标线的垂直距离, 绿线为鸟瞰图中心线方向上相机到红色地标线的距离, 点 O' 为红带中心线与鸟瞰图竖直方向中心线的交点。

根据勾股定理, 可以计算出红色标记线在地面上到车辆测距装置的垂直距离 h 为

$$h = \cos \theta \cdot (L_1 + L_2) \quad (6)$$

式中: L_2 为盲区距离, 即相机拍摄的临界画面中棋盘格边线到车身的距离, 由实验测得; L_1 的测量通过统计鸟瞰图中对应连线的像素数并转换为实际距离推算得到。

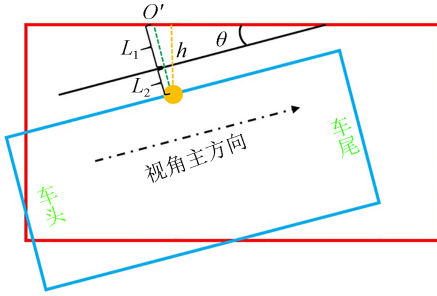


图 4 单个相机实际距离测量

Fig. 4 Schematic of actual distance measurement using a single camera

由于大型车辆的车身较长,在实际工程应用中,将车辆的倒车入位简化为一个几何问题,如图 5 所示。其中,车位长度为 r ,宽度为 s ,车辆长度为 a ,宽度为 b 。为实现较高精度的定位测量,在大型车辆的左右两侧三分之一和三分之二点各安装了测距装置,相机位置分别位于点 M 、 N 、 I 、 G ;点 E 表示车辆尾部测距装置的安装位置;点 R 、 L 、 S 、 H 和点 F 分别表示测距装置与红色标记线之间的垂点,通过这些测距装置可以分别测得车位线距离大型车辆的垂直距离 h_1 、 h_2 、 h_3 、 h_4 和 h_5 。为简化计算,选取地面上的某一点作为原点建立平面直角坐标系,设车辆的几何中心点 P 的坐标为 (x_p, y_p) ,停车位的几何中心点 Q 的坐标为 (x_q, y_q) 。通过测量这些距离,可以求得车辆相对于停车位的相对位置关系^[25]。

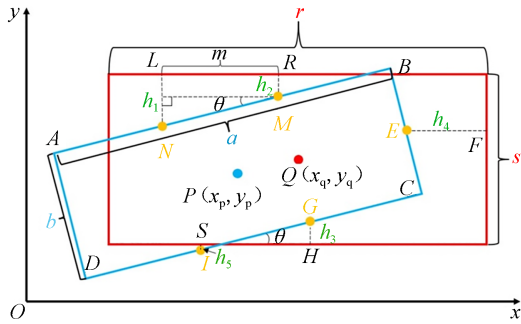


图 5 车辆与红色标识框的相对位置示意

Fig. 5 Schematic of relative position between the vehicle and red marker frame

此外,为进一步提高算法的定位精度,在倒车过程中,当车辆尾部相机检测到车位线时,系统会启用位于点 G 或点 M 的测距相机,与尾部的测距装置共同来进行距离测量。

首先,根据几何关系可得,点 $A(x_a, y_a)$ 与点 P 的关系为

$$\begin{bmatrix} x_a \\ y_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -a/2 \\ b/2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \end{bmatrix} \quad (7)$$

点 $B(x_b, y_b)$ 与点 P 的关系为

$$\begin{bmatrix} x_b \\ y_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a/2 \\ b/2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \end{bmatrix} \quad (8)$$

点 $C(x_c, y_c)$ 与点 P 的关系为

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a/2 \\ -b/2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \end{bmatrix} \quad (9)$$

点 $D(x_d, y_d)$ 与点 P 的关系为:

$$\begin{bmatrix} x_d \\ y_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -a/2 \\ -b/2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \end{bmatrix} \quad (10)$$

通过点 B 和点 C ,可得点 E 的坐标为

$$\begin{bmatrix} x_e \\ y_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a/2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \end{bmatrix} \quad (11)$$

通过车辆尾部中心点的测距装置可以测得点 E 到点 F 的距离 h_4 ,而点 F 与停车位中心点 Q 在 x 方向上的距离为 $r/2$,由此可得点 P 与点 Q 的横向距离为 $a/2 \cdot \cos \theta + h_4 - r/2$,进一步计算点 G 的坐标为

$$\begin{bmatrix} x_g \\ y_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a/6 \\ -b/2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \end{bmatrix} \quad (12)$$

另外,通过相机测距可得点 G 到点 H 的距离 h_3 ,而点 H 与停车位中心点 Q 在 y 方向上相距 $s/2$,由此可得点 P 与点 Q 之间的纵向距离为 $a/6 \cdot \sin \theta - b/2 \cdot \cos \theta - h_3 + s/2$ 。

综上所述,通过测量停车位红色标记线与车辆之间的距离,可以推导出车辆几何中心点 P 与停车位几何中心点 Q 之间的数学关系,即可利用车位线得到车辆与停车位之间的相对位置。

3.2 基于编码田字格的颜色序列索引识别

在停车定位过程中,仅依靠红色地标线进行定位难以确保系统的鲁棒性和可靠性。因此,本文在停车位外侧均匀布置主观标记编码田字格来对车辆进行辅助定位,其布置方式如图 6 所示。

已知停车位总长度为 10 m,在左右两侧每隔 1 m 处分别放置一个田字格,共计布置 20 个,田字格距离红色地标线的距离 d 为 0.15 m。每个田字格均由固定的 4 种不同颜色组成,左右侧相同位置的田字格标识符中心对称,不同颜色排序组合对应车辆与停车位底边的距离不同。通过识别颜色顺序,可以得出车辆与停车位底部的距离,具体流程如图 7 所示。

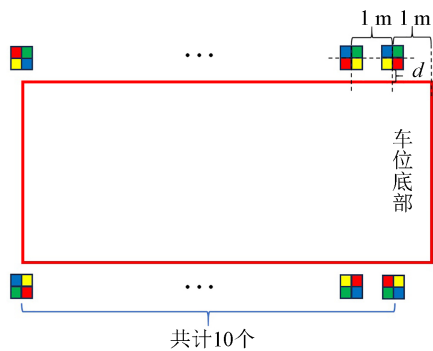


图 6 田字格分布

Fig. 6 Schematic of grid distribution

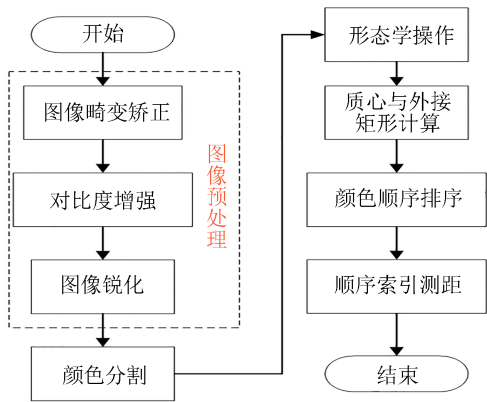


图 7 田字格识别检测流程

Fig. 7 Flowchart of grid recognition and detection

为提高对图像中目标区域的检测精度，本文先对鸟瞰图进行预处理并应用 Canny 算法提取目标边缘信息，其边缘检测效果如图 8 所示。

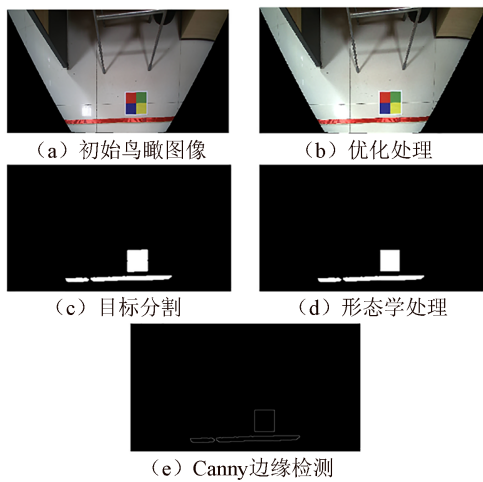


图 8 鸟瞰图目标检测效果

Fig. 8 Object detection results on bird's-eye view

首先，对初始鸟瞰图进行预处理，包括图像矫正和色彩增强等，从而得到优化后的鸟瞰图像如图 8 (b) 所示；然后，将优化后的鸟瞰图像由

RGB 空间转换至 HSV 空间，通过 HSV 空间的通道直方图均衡化来增强颜色稳定性，设置红、绿、蓝和黄色区域的 HSV 分割阈值分别为 $H \in [0.95, 1] \cup H \in [0, 0.05]$ 、 $S > 0.4$ （红色）， $H \in [0.25, 0.4]$ 、 $S > 0.3$ （绿色）， $H \in [0.55, 0.75]$ 、 $S > 0.3$ （蓝色）， $H \in [0.1, 0.2]$ 、 $S > 0.4$ （黄色），并将提取后的颜色区域合并为目标区域，分割结果如图 8 (c) 所示；接下来，通过形态学操作优化边缘检测，填补田字格内部孔洞，使目标边缘平滑，处理结果如图 8 (d) 所示；最后，应用 Canny 算法提取图像边缘信息，边缘提取结果如图 8 (e) 所示。由于在实际场景中图像亮度变化较大，因此本文不对 V 设定阈值区间。

田字格分割检测流程如图 9 所示。通过提取图像中最大连通区域的外接矩形来判断其是否接近正方形；然后选择边长最长的正方形进行处理，利用黑色线框标出田字格并对其进行分割；最后，提取每个颜色块的质心和颜色。在获取到颜色质心后，以红色地标线始终位于田字格下方为基准，按照每个颜色块质心相对于田字格标识符中心左上、右上、左下和右下的顺序来对颜色进行排列。

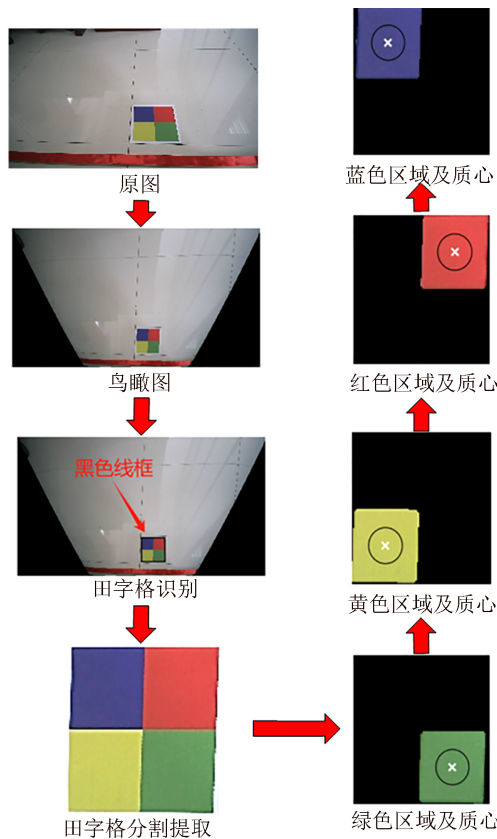


图 9 田字格分割检测流程

Fig. 9 Flowchart of grid segmentation and detection

构建颜色顺序索引库, 将颜色排列与标识符中心点距车位底边的距离相关联, 索引信息如表 1 所示。

表 1 田字格颜色排序索引

颜色序列	对应距离/m
蓝、绿、黄、红	1
蓝、绿、红、黄	2
蓝、红、黄、绿	3
蓝、红、绿、黄	4
红、黄、绿、蓝	5
红、黄、蓝、绿	6
红、蓝、黄、绿	7
红、蓝、绿、黄	8
红、绿、蓝、黄	9
红、绿、黄、蓝	10

通过计算质心的位置, 结合预先设定的排序规则, 并与索引信息进行比对, 便能准确输出标识符距车位底边的距离。从索引表中可知, 图 10 中的田字格标识符与底边的距离为 4 m。

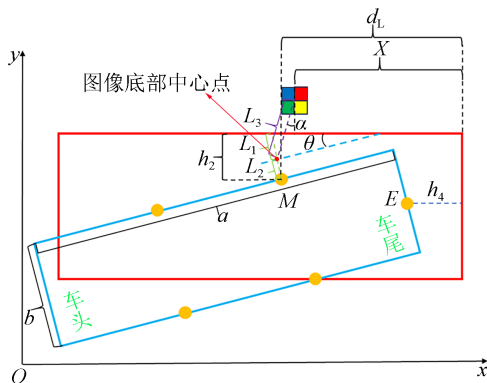


图 10 基于停车位预设标识的车辆与停车位几何关系示意

Fig. 10 Schematic of the geometric relationship between vehicles and parking spaces based on preset parking space markers

3.3 基于停车位预设标识的车辆停车定位方法

基于红色标识框的车辆停车定位方法表明, 尾部相机在车辆停车定位过程中起到至关重要的作用。然而, 由于车身较长, 尾部相机在倒车时距离停车位底边较远, 常常难以及时捕捉到底部红色标记框, 导致定位精度下降。因此, 本文从实际工程应用角度出发, 提出在停车位两侧地标线附近布置带有 4 种颜色的田字格标识符作为辅助

检测工具。以位于车身一侧三分之一处且靠近车尾的相机为例, 其与田字格标识符和停车位的相对位置和几何关系如图 10 所示。

通过单相机测距原理, 可以得到田字格标识符的几何中心坐标 (x_1, y_1) 和图像底部中心点坐标 (x_2, y_2) 之间的实际距离, 并进一步得出 2 点连线与 y 轴的夹角 α 为

$$\alpha = \arctan \left(\frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2} \right) \quad (13)$$

同时, 还可以进一步推算出相机与停车位底边的距离 d_L 为

$$d_L = X - L_1 \sin \theta + L_3 \sin \alpha \quad (14)$$

式中: L_3 为鸟瞰图像底部中心点与田字格中心点的实际距离; X 为从颜色顺序索引库中查得的标识符与红框底端的距离基准值。

由于车长 a 和车宽 b 是已知的, 根据车辆的几何参数, 可以推算出相机 E 距离停车位底端的距离 h_4 为

$$h_4 = d_L - \frac{a}{3} \sin \theta - \frac{b}{2} \cos \theta \quad (15)$$

通过上述方法, 利用位于点 M 的相机检测到田字格信息后, 不仅能准确计算出该相机与车位底端的距离, 还能通过几何推算得出尾部相机与车位底端的距离。同理, 采用相同的计算方法, 其余侧方相机在检测到田字格后, 也可以推算出尾部相机与停车位底边的距离 h_4 。由于田字格与红色地标线的距离较近, 侧方相机在识别田字格时, 不仅能识别田字格, 还能同时检测红色地标线, 从而计算出相机与停车位之间的偏距和偏角。根据前文所述, 在车辆倒车过程中, 各相机测量到的偏角是一致的, 表明在获得尾部相机与车位底端的距离后, 结合车身两侧任意一个相机与车位之间的偏距信息, 就可计算出车辆相对于停车位的位置关系。

4 实验与分析

4.1 相机盲区距离测量

以面向车头左侧某个相机为例, 在拍摄画面中, 画面底部与棋盘格底端边线重合, 由此可测量车身线与棋盘格边线之间的距离, 即为盲区距离, 位置示意如图 11 所示。

使用该方法对车身上所有相机的盲区距离进行测量, 以图 5 中的相机布局为例, 测得点 N 的相

机盲区距离为 5.43 cm，点 M 的相机盲区距离为 5.40 cm，点 E 的相机盲区距离为 5.40 cm，点 G 的相机盲区距离为 5.39 cm，点 I 的相机盲区距离为 5.40 cm。

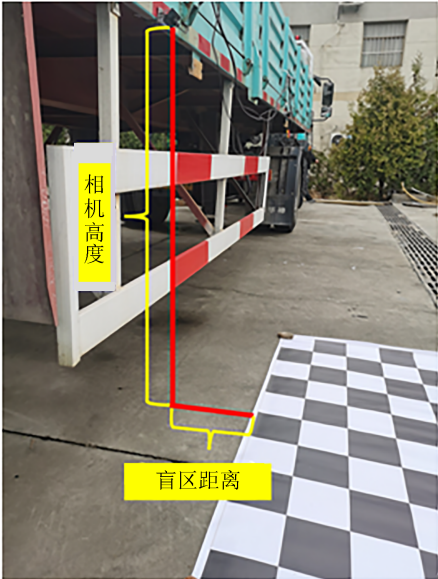


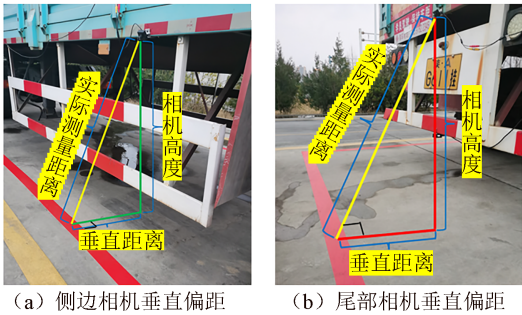
图 11 相机盲区测量示意
Fig. 11 Camera blind zone measurement

4.2 基于红色框测距方法的可靠性实验

使用搭载 AMD Ryzen 7 5800H 处理器（基频为 3.20 GHz，集成 Radeon 显卡）、16 GB 内存的计算机作为硬件平台，程序开发与调试均基于 MATLAB R2021b 完成。

为验证基于红色标识框的车辆定位方法的可行

性，本文以实际的半挂车进行实验，已知车长 a 为 8.3 m、车宽 b 为 2.1 m，停车位的长度 r 为 10 m、宽度 s 为 2.5 m。以图 5 中位于点 E 和点 M 的相机为例，验证所提方法的准确性。其中，点 E 的相机高度为 120.3 cm、俯仰角度为 46° ，点 M 的相机高度为 120.3 cm、俯仰角度为 46.5° ，实测距离示意如图 12 所示。



(a) 侧边相机垂直偏距 (b) 尾部相机垂直偏距

图 12 实际偏移距离测量
Fig. 12 Actual offset distance measurement

在车辆不同位置处分别测量 10 组实际距离，将其与本文计算结果进行对比，偏差如表 2 所示。其中，横距偏差表示通过本文方法计算得到的点 P 到点 Q 之间的横向距离与实际测量值之间的偏差；纵距偏差为本文方法计算得到的点 P 到点 Q 之间的纵向距离与实测值之间的偏差。

由表 2 可知，利用 E 点相机测得的距离与实际距离之间的最大绝对偏差为 1.8 cm；利用 M 点相机测得的距离与实际距离之间的最大绝对偏差为 1.9 cm；横距偏差与纵距偏差的最大绝对偏差分别

表 2 基于红色框测距方法的相机测距结果及其偏差

Table 2 Camera ranging results and deviations based on the red box ranging method									cm
序号	位于点 E 的相机			位于点 M 的相机			横距偏差	纵距偏差	
	计算结果	实测结果	偏差	计算结果	实测结果	偏差			
1	28.0	29.5	1.5	30.7	32.4	1.7	−0.9	−0.2	
2	32.3	33.8	1.5	32.4	32.6	0.2	0.6	−0.4	
3	35.5	35.8	0.3	35.2	34.0	−1.2	−1.1	−0.2	
4	36.0	36.9	0.9	34.8	36.3	1.5	−0.4	0.7	
5	29.1	29.5	0.4	29.9	30.8	0.9	0.9	1.1	
6	23.8	24.8	1.0	25.9	27.8	1.9	−0.4	1.5	
7	28.4	30.0	1.6	27.0	26.1	−0.9	−0.8	−0.4	
8	28.6	27.0	−1.6	28.5	29.9	1.4	0.8	0.2	
9	33.4	33.9	0.5	28.4	30.0	1.6	−0.6	−0.5	
10	29.4	31.2	1.8	27.0	28.1	1.1	−1.7	0.5	

注：粗体为当列的最大绝对偏差。

为 1.7 cm 和 1.5 cm。结果表明：双相机测距的最大误差均不超过 2.0 cm，表明本文方法在大型停车定位过程中具有较高的准确度。

4.3 基于可编码田字格检测方法的可靠性实验

本文设计了基于预设标识的大型车辆停车定位方法的可靠性试验，其真实试验环境中的关键定位参数如图 13 所示。图中，正方形田字格的边长为 20 cm，每个小格的边长为 10 cm，以位于车身上 M 点的相机为例，相机高度为 120.3 cm、俯仰角度为 46° 。



图 13 基于田字格标识物测量

Fig. 13 Measurement based on grid markers

算法通过识别每个田字格的颜色序列，计算相机与停车位底边的距离，并与实际测量值进行对比，结果如表 3 所示。同时，为验证本文所提方法在停车全过程的定位精度优势，选取当前几种典型车辆定位方法，以本文方法的最大定位误差与文献中所得到的最小定位误差作为评估基准进行对比分析，结果如表 4 所示。

表 3 基于可编码田字格检测方法的相机测距结果及其偏差

Table 3 Camera ranging results and deviations based on codeable grid detection method cm

序号	实测距离	相机测距	偏差
1	140.2	139.1	1.1
2	201.1	200.5	0.6
3	392.8	391.9	0.9
4	434.0	433.3	0.7
5	532.5	529.3	3.2
6	603.1	604.3	-1.2
7	727.2	729.1	-1.9
8	873.1	871.9	1.2
9	935.5	931.5	4.0
10	1 028.8	1 030.7	-1.9

注：粗体表示最大偏差。

从表 3 和表 4 可以看出，利用本文方法测得相机与停车位底边的距离与实际距离的最大绝对偏

差为 4.0 cm，而文献 [21]、[4] 与 [7] 所得到的最小误差分别为 7.5 cm、10.0 cm 与 19.0 cm，表明该方法即使在较长距离的测量条件下仍具备良好的精度和稳定性，能够有效辅助驾驶员判断车辆与停车位底边的距离。此外，即使车辆尾部相机无法直接检测到停车位底端红色标记线时，利用基于预设标识的大型车辆停车定位方法，也能推算出尾部相机与停车位底端的垂直距离。

表 4 定位误差对比结果

Table 4 Comparison of localization errors

方法	定位误差/cm
本文方法	4.0
文献 [21]	7.5
文献 [4]	10.0
文献 [7]	19.0

5 结论

本文针对传统数字图像处理方法在大型车辆停车定位过程中存在的精度不足问题，提出一种基于停车位预设标识的停车定位方法，通过融合红色地标线与可编码田字格标识，实现了大型车辆高精度停车定位，主要结论如下。

1) 使用张正友标定法和棋盘格角点标定法能够有效消除镜头畸变和装配误差，为后续车辆定位提供可靠的几何基础数据；

2) 基于红色地标线的车辆定位方法的横距偏差最大为 1.7 cm，纵距偏差最大为 1.5 cm，表明该方法能够在大型车辆尾部相机检测到地标线时，为车辆提供准确的位置信息。

3) 本文方法在车辆全域定位中表现优异，最大误差不超过 4.0 cm，定位精度相较现有方法至少提高了 1.88 倍，最高可达 4.75 倍。

尽管本文方法在当前测试环境中表现良好，但其在极端光照环境中或标识物被严重遮挡情况下的普适性仍需进一步系统验证。未来，将研究视觉-惯性融合策略与抗遮挡特征编码技术，以实现全工况下的高精度停车定位。

参考文献

[1] 王璞瑾, 肖建庄, 肖绪文, 等. 数字化技术在建筑工程施工中的应用与前瞻[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2024, 52(7): 1068-1078.

- WANG P J, XIAO J Z, XIAO X W, et al. Application and prospects of digital technology in building construction[J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2024, 52(7): 1068-1078.
- [2] 张志利, 祝慧鑫, 周召发, 等. 重型车辆高级驾驶辅助系统研究综述[J]. *火箭军工程大学学报*, 2024, 38(3): 94-103, 110.
- ZHANG Z L, ZHU H X, ZHOU Z F, et al. Review on ADAS technologies for heavy-duty vehicles[J]. *Journal of Rocket Force University of Engineering*, 2024, 38(3): 94-103, 110.
- [3] 胡钊政, 孙勋培, 张佳楠, 等. 基于时空图模型的车-路-图协同定位方法[J]. *吉林大学学报(工学版)*, 2024, 54(5): 1246-1257.
- HU Z Z, SUN X P, ZHANG J N, et al. Vehicle-infrastructure-map cooperative localization method based on spatial-temporal graph model[J]. *Journal of Jilin University(Engineering and Technology Edition)*, 2024, 54(5): 1246-1257.
- [4] 周苏, 李伟嘉, 郭军华. 基于激光雷达的停车场车辆定位算法[J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2021, 49(7): 1029-1038.
- ZHOU S, LI W J, GUO J H. Lidar-based localization algorithm of vehicle in parking lot[J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2021, 49(7): 1029-1038.
- [5] WAN G W, YANG X L, CAI R L, et al. Robust and precise vehicle localization based on multi-sensor fusion in diverse city scenes[C]//2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2018: 4670-4677.
- [6] LI Q Q, QUERALTA J P, GIA T N, et al. Multi-sensor fusion for navigation and mapping in autonomous vehicles: accurate localization in urban environments[J]. *Unmanned Systems*, 2020, 8(3): 229-237.
- [7] 陈雷, 成爽. 基于可见光通信的停车场泊车自动导航系统[J]. *激光杂志*, 2021, 42(2): 125-129.
- CHEN L, CHENG S. Parking automatic navigation system based on visible light communication[J]. *Laser Journal*, 2021, 42(2): 125-129.
- [8] AN Q, WANG H J, CHEN X J. EPSDNet: efficient campus parking space detection via convolutional neural networks and vehicle image recognition for intelligent human-computer interactions[J]. *Sensors*, 2022, 22(24): 9835.
- [9] WONG G S, GOH K O M, TEE C, et al. Review of vision-based deep learning parking slot detection on surround view images[J]. *Sensors*, 2023, 23(15): 6869.
- [10] WATSON R M, GROSS J N. Robust navigation in GNSS degraded environment using graph optimization[C]//Proceedings of the 30th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+2017). Portland, Oregon: Institute of Navigation, 2017: 2906-2918.
- [11] ZHANG Z H, HUANG C Y, LI L. Vehicle localization on semantic map by combining visual and distance measurements[C]//Proceedings of 2022 International Conference on Autonomous Unmanned Systems. Singapore: Springer, 2022: 1583-1590.
- [12] ZHANG Z H, ZHAO J T, HUANG C Y, et al. Learning visual semantic map-matching for loosely multi-sensor fusion localization of autonomous vehicles[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 2023, 8(1): 358-367.
- [13] PARTHA M, GUPTA S, GAO G. Neural city maps: a case for 3D urban environment representations based on radiance fields[C]//Proceedings of the 36th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+2023). Denver, Colorado: Institute of Navigation, 2023: 1953-1973.
- [14] 王依凡, 董振江, 陈向东. 交通场景下的大型车辆右转停车检测方法研究[J]. *计算机工程与应用*, 2025, 61(1): 352-360.
- WANG Y F, DONG Z J, CHEN X D. Research on right turn parking detection method for large vehicles in traffic scenarios[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2025, 61(1): 352-360.
- [15] 詹泽辉, 钟铭恩, 袁彬淦, 等. 随机平视摄像条件下的路边车辆违停检测[J]. *上海交通大学学报*, 2025, 59(10): 1568-1580.
- ZHAN Z H, ZHONG M E, YUAN B G, et al. Detection of roadside vehicle parking violations under random horizontal camera condition[J]. *Journal of Shanghai Jiao Tong University*, 2025, 59(10): 1568-1580.
- [16] 肖广兵, 王蓝仪, 孙宁, 等. 基于车路协同的地下停车场车辆定位算法发散性研究[J]. *计算机应用研究*, 2021, 38(2): 530-533.
- XIAO G B, WANG L Y, SUN N, et al. Divergence of cooperative vehicle localization in underground parking lots[J]. *Application Research of Computers*, 2021, 38(2): 530-533.
- [17] ZHU X Q, QU W Y, QIU T, et al. Indoor in-

- telligent fingerprint-based localization: principles, approaches and challenges[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2020, 22(4): 2634-2657.
- [18] 魏明明, 汪焰恩. 基于计算机视觉反馈的 AGV 定位停车研究[J]. 机床与液压, 2011, 39(15): 35-37, 51.
- WEI M M, WANG Y E. AGV positioning and parking based on computer vision feedback[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2011, 39(15): 35-37, 51.
- [19] 杨强荣, 王美玲, 于华超. 无人地面车辆车道级路径引导方法[J]. 西安电子科技大学学报, 2018, 45(6): 156-161.
- YANG Q R, WANG M L, YU H C. Lane-level path guiding method for unmanned ground vehicle[J]. Journal of Xidian University, 2018, 45(6): 156-161.
- [20] 贺婉茹, 何春红, 任斌, 等. 基于机器视觉的光照不理想地下停车场定位系统[J]. 激光杂志, 2022, 43(12): 40-45.
- HE W R, HE C H, REN B, et al. Positioning system of underground parking lot with imperfect illumination based on machine vision[J]. Laser Journal, 2022, 43(12): 40-45.
- [21] 李锦, 莫巨明, 方俊键, 等. 基于 LED 照明灯光的可见光室内停车场定位导航系统[J]. 应用光学, 2019, 40(5): 746-750.
- LI J, MO J M, FANG J J, et al. Visible light indoor parking lot positioning navigation system based on LED lighting[J]. Journal of Applied Optics, 2019, 40(5): 746-750.
- [22] 邱昌, 蒋少武, 邓运生, 等. 地下车库联络道交通引导策略研究[J]. 建筑经济, 2022, 43(S2): 521-525.
- QIU C, JIANG S W, DENG Y S, et al. Traffic guidance strategy for underground garage liaison lane[J]. Construction Economy, 2022, 43(S2): 521-525.
- [23] ZHANG Z Y. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330-1334.
- [24] 尉金强, 杜文正, 孙晓艳, 等. 基于目标 HSV(色调-饱和度-亮度)空间图像自适应分割的直线检测算法[J]. 火箭军工程大学学报, 2024, 38(5): 59-68.
- WEI J Q, DU W Z, SUN X Y, et al. Straight line detection algorithm based on adaptive segmentation of target HSV space images[J]. Journal of Rocket Force University of Engineering, 2024, 38(5): 59-68.
- [25] WEI J Q, DU W Z, XIN H N, et al. A vehicle reversing assistance positioning algorithm based on dual-camera calibration[C]//2024 International Seminar on Artificial Intelligence, Computer Technology and Control Engineering (ACTCE). Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2024: 28-33.
- (编辑: 刘建民)