

# 基于视觉的车位线识别算法

白中浩 周培义 王飞虎

湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室,长沙,410082

**摘要:**提出了一种自动泊车系统中采用视觉方法通过识别车位线来确定泊车位的算法。采用金字塔分层搜索策略,首先在灰度直方图上应用K均值聚类法对图像进行二值化,提取车位线骨架,采用Hough变换检测骨架,并利用基于密度的无参数聚类方法对骨架线聚类,在金字塔高层图像上确定车位角点候选点;然后,在金字塔最底层图像上选择感兴趣区域,采用改进的基于距离变换的骨架提取算法提取骨架,使用遗传算法对车位角点骨架进行精确匹配,根据实际车位角点的分布特征确定目标车位;最后,在室外不同环境下采集多张车位图片进行算法的有效性和快速性验证实验。实验结果表明,采用基于视觉的车位线识别算法进行车位检测能较大地提高检测的效率和识别正确率。

**关键词:**自动泊车;视觉;车位线识别;金字塔分层;图像匹配

**中图分类号:**U463.6

**DOI:**10.3969/j.issn.1004-132X.2014.20.023

## Parking Slot Marking Recognition Algorithm Based on Vision

Bai Zhonghao Zhou Peiyi Wang Feihu

State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacture for  
Vehicle Body, Hunan University, Changsha, 410082

**Abstract:** An algorithm was proposed herein for an automatic parking system, which used vision for recognition of parking slot marking. Pyramid hierarchical search strategy was adopted. First, image binarization was carried out by applying K means clustering to the intensity histogram and skeleton of parking slot marking was extracted. Parking space corner candidate point was determined in high-level pyramid image using Hough transform to detect skeleton and skeleton clustered using unsupervised cluster based on density. Then, region of interest was selected in lowest-level pyramid image and skeleton was extracted using improved distance transform-based skeleton extraction algorithm. Skeleton of parking space corner was matched using genetic algorithm and target parking space was determined according to characteristics of actual parking space. Lastly, the effectiveness and rapidity of the proposed algorithm was verified by collecting many parking space images in the outdoor environment. Experimental results demonstrate that computation is small and parking recognition accuracy is as 98% using the proposed algorithm.

**Key words:** automatic parking; vision; parking slot marking recognition; pyramid delamination; image matching

## 0 引言

随着汽车技术的快速发展和汽车普及率的提高,路边泊车位的空间越来越小。在窄小的空间进行泊车操作,对很多初学者来说是一件很困难的事,即使熟练的驾驶员也对泊车操作产生厌恶情绪,这正是自动泊车技术要解决的问题。目前,只有大众、奔驰和丰田等几家车企推出了相应产品,并应用于少数中高级车上,如大众的迈腾等。我国的汽车厂商目前还没有自主知识产权的自动泊车系统,因此,进行这方面的研究具有实际意义。自动泊车系统包括三个部分,即目标车位指定、路径规划和路径跟踪。目标车位指定的方法可分为四类,即基于人机交互界面、基于车位标志

线、基于车位两侧的车辆和基于基础设施。检测车位所用的传感器主要有视觉传感器和测距传感器<sup>[1]</sup>,目前已有的产品上都是采用超声波传感器检测有效车位,但最吸引驾驶员的是采用基于机器视觉的方法,因为它能使泊车环境和泊车过程可视化,使驾驶员更具安全感。同时,自动泊车系统主要应用于城区,基于车位标志线的车位指定方法是最经济和有效的,因此,研究采用机器视觉的方法进行车位检测有重大意义。Jung等<sup>[2]</sup>提出通过驾驶员在人机交互界面上点击车位入口处两个角点来识别车位,此方法需要驾驶员介入操作。Suhr等<sup>[3]</sup>采用立体视觉的方法进行有效车位的检测,通过安装在车尾的摄像头采集车后的图像,匹配连续两帧图像中的对应点实现三维重建,获得车位信息,该方法每一次识别都需要处理两帧图像,计算量较大。Jung等<sup>[4]</sup>先采用单目视

觉的方法识别车位指引线,然后再分割出单个车位的标志线段来得到泊车所需的车位信息,但在城区中的很多车位指引线是断开的,因此,该方法不适用于车位标志线只有 4 个角点的情况。Huang 等<sup>[5]</sup>采用基于平面的贝叶斯分层结构来检测空车位,在强光照和弱光照环境下能较好地检测到车位。本文提出一种基于机器视觉,采用高斯金字塔分层搜索的方法,先在向下降采样所得的低分辨率图像上搜索出车位角点的粗略位置,然后在高分辨率图像上采用遗传算法进行车位角点的模板精确匹配,得到车位角点的准确位置,由此确定目标车位。

## 1 车位角点的粗提取

为了提高车位角点匹配的效率和,首先进行车位角点的粗提取,然后再精确匹配车位角点,即采用由粗到精的金字塔分层搜索策略,在金字塔最高层图像上确定车位角点的大概位置,以此作为车位角点候选点所在位置,据此在最底层图像上选择感兴趣区域进行车位角点的精匹配,获得车位角点的精确位置。本文采用图像金字塔的方法对所采集的图像向下降采样图像,并提取低分辨率图像的骨架,采用 Hough 变换检测低分辨率图像上的车位标志线,并将得到的车位标志线所在直线的交点作为车位角点的候选点。

### 1.1 3 个坐标系描述

在汽车的左右后视镜上各安装一个广角镜头,可以增大汽车两侧的视野。在检测车位过程中,涉及 3 个坐标系,即输入图像坐标系、矫正图像坐标系和鸟瞰图图像坐标系。输入图像坐标系和矫正图像坐标系之间的关系,可通过相对于图像中心的五阶多项式进行描述<sup>[6]</sup>,摄像头内参数和外参数可通过对摄像头的标定而获得<sup>[7]</sup>。矫正图像坐标系和鸟瞰图图像坐标系之间的关系可通过单应性矩阵  $\mathbf{H}$  进行描述<sup>[8]</sup>。矫正图像坐标系上的一点  $(u, v)$ ,对应于以地面为  $XOY$  平面的世界坐标系的坐标  $(X, Y)$ ,其表达式为

$$\begin{bmatrix} sX \\ sY \\ s \end{bmatrix} = \mathbf{H}^{-1} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$$

式中,  $\mathbf{H}^{-1}$  为单应性矩阵的逆矩阵;  $s$  为比例因子。

由上式可知,输入图像与矫正图像是一对一关系,矫正图像与鸟瞰图图像也是一对一关系。由输入图像得到的矫正图像和鸟瞰图图像如图 1 所示,通过鸟瞰图图像坐标系上的坐标可得到世界坐标系上的坐标。



图 1 3 个坐标系之间的对应关系

图 1 3 个坐标系之间的对应关系

### 1.2 金字塔最高层图像的获取

采用高斯金字塔的方法向下降采样图像可得到金字塔最高层图像,向下降采样一次所得的图像大小变为原图的四分之一,金字塔最高层图像应该足够小,并且影像失真足够小。本文选取金字塔的层数为 3,即对原始鸟瞰图向下降采样三次,得到第三层金字塔鸟瞰图,如图 2 所示,此图的大小较之原图大大缩小,并且影像保真度和图像处理效率较高。

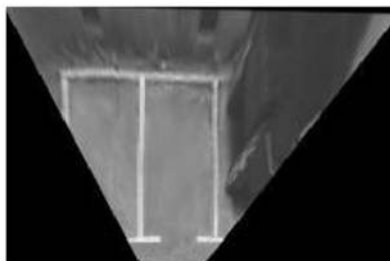


图 2 第三层金字塔鸟瞰图图像

### 1.3 车位角点的粗提取

首先需要将第三层金字塔鸟瞰图图像二值化,图像二值化的效果好坏直接影响目标车位识别的成功与否。通常情况下,车位标志线使用颜色明亮的白色涂料画在颜色灰暗的地面上,图像能被分成两个部分,即明亮的车位标志线和灰暗的地面。但受车辆的影子和地面纹理的影响,车位图像中往往会出现多种颜色,采用固定阈值或者自适应阈值都难以得到理想的分割效果。选用 K 均值聚类法对图像灰度直方图进行聚类<sup>[9]</sup>,将最亮的一类所对应的像素作为车位标志线的像素,使用该方法的难点是类别数  $k$  值的选取,当  $k$  值过大时,本属于该类别的对象将被判为其他类别,在二值化中表现为车位线出现缺失,当  $k$  值过小时,类别中将包括多余的对象,在二值化结果中将出现其他物体。本文通过选取  $k = 2 \sim 6$  时的二值化结果进行比较分析,最终取  $k = 4$ ,此时的图像二值化效果较好,在不同光照条件下的适应性也较好,如图 3 所示。图 3a 为  $k = 3$  时的图像二值化结果,由图可见,二值化后得到的车位线噪声太多;图 3b 为  $k = 4$  时的二值化结果,由图可见,二值化后所得的车位线效果较好;图 3c 为  $k = 5$  时的二值化结果,图面显示车位线出现了缺失,效果较差。



(a)  $k = 3$       (b)  $k = 4$       (c)  $k = 5$

图3  $k$  取不同值时的图像二值化结果

为了去除二值图中的斑点和轮廓的噪声,采用形态学的方法对其进行去噪和平滑处理,即用  $3 \times 3$  的模板遍历图像,当模板对应的图像区域中有 5 个或 5 个以上的像素值为 1 时,将模板中心对应的像素值设为 1,反之设为 0,得到的图像如图 4a 所示。采用形态学方法中的腐蚀操作来细化图像,该方法操作简单并且能达到预定效果,细化得到的图像骨架如图 4b 所示。



(a) 去噪平滑后的图像      (b) 骨架

图4 第三层金字塔鸟瞰图图像骨架的提取结果

由于经过金字塔图像方法处理所得图像较小,因此,采用 Hough 变换检测骨架所在直线效率较高,并且检测效果较好。所提取的同一条车位标志线的骨架点并非严格在一条直线上,检测同一条直线将得到多条参数接近的直线,即每一条骨架线对应一簇直线,由于实际车位的多样性和所采集的车位图像的多样性,所检测直线的簇数量是不确定的,因此,本文采用基于密度的无参数聚类算法<sup>[10]</sup>对 Hough 空间中超过设定阈值的点进行聚类。该方法在进行聚类之前,不需要预先设定类别数目且能较好地得到预想类别数目,因此,该算法能较好地解决本文所需的聚类问题。在聚类结束之后,可得到相同类别中的点在 Hough 空间中的平均位置坐标,每一个位置坐标都代表一条直线,最终得到的直线如图 5 所示。将检测到的直线两两之间求其交点作为车位角点的候选点,所得交点如图 5 所示。

## 2 车位角点的精匹配

在金字塔最高层图像上得到车位角点的候选点之后,下一步任务就是在原始图像上排除非车位角点,并且得到真实车位角点的精确位置。经过三次金字塔图像分层,金字塔最高层图像上的 1 个像素对应最底层图像上的 64 个像素,即在金

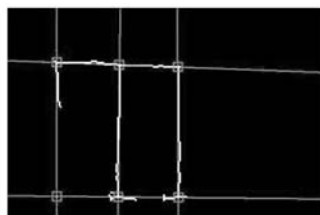
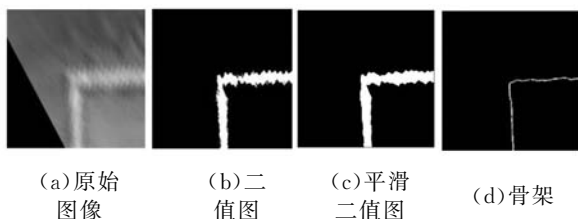


图5 车位角点的粗提取

字塔最高层图像上确定的车位角点候选点,对应最底层图像上的 64 个像素。考虑到提取的候选点可能存在误差,因此,本文在原始图像上选取与候选点对应的大小为  $336 \times 336$  的感兴趣区域来精确匹配车位角点。

### 2.1 感兴趣区域中车位角点骨架的提取

从原始图像的鸟瞰图图像上选取的感兴趣区域如图 6a 所示,采用 K 均值法对图像进行二值化处理后的结果如图 6b 所示。由于进行二值化处理后的图像边缘不光滑,为了更好地提取骨架,采用形态学方法对图像进行去噪和轮廓平滑,所得图像如图 6c 所示。采用改进的基于距离变换的骨架提取方法提取车位角点的骨架<sup>[11]</sup>,该方法需要先计算二值图的距离变换值,然后在其基础上利用距离变换值找出骨架种子点,以种子点为起始点,以单像素宽度生长出其余所有的骨架点,该算法能保证所提取骨架的连通性和单像素性,有利于车位角点骨架的精确匹配,本文选取距离变换图中的最大值所在点为种子点,用此点生长骨架提取的骨架如图 6d 所示。



(a) 原始图像      (b) 二值图      (c) 平滑二值图      (d) 骨架

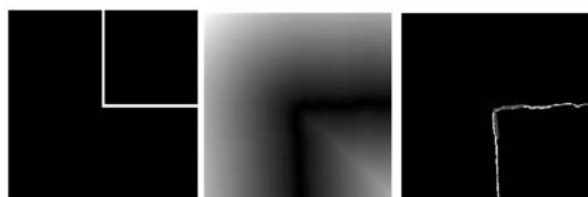
图6 提取的感兴趣区域的图像骨架

### 2.2 车位角点骨架的匹配

本文采用模板匹配的方法来得到车位角点的精确位置,模板如图 7a 所示,大小为  $81 \times 81$ 。当二值图像骨架与模板完全重合时为最佳匹配位置,匹配位置用  $(x, y, \theta)$  表示,其中  $(x, y)$  表示模板左上角在待匹配图像中的坐标,  $\theta$  表示模板图像旋转的角度。为了评价模板与待匹配图像之间的匹配误差大小,采用了骨架的距离变换图,即在骨架点处距离变换值为 0,在非骨架点处距离变换值为该点到最近的骨架点之间的距离,骨架的距离变换图如图 7b 所示。匹配误差定义为:模板中图像所覆盖的距离变换图部分的距离变换值之

和的均值,即当模板与骨架完全重合时,匹配误差为 0,随着不匹配程度的提高,匹配误差逐渐增大。

因此,模板匹配图像的问题就转化为误差最小化的问题,采用遗传算法能高效地解决这个问题。个体中包含模板的位置参数 $(x, y, \theta)$ 3 个基因,其中, $x$  和  $y$  分别为模板左上角像素在待匹配图像中的行与列, $\theta$  为模板的旋转角度;适应度函数定义为模板相对于骨架距离变换图的匹配误差。匹配之后的效果如图 7c 所示。在匹配过程中,以下两种情况可判断候选车位角点为非真实车位角点:① 感兴趣区域中无图像;② 匹配误差大于所设定的阈值。



(a) 模板 (b) 距离变换图 (c) 匹配结果

图 7 车位角点匹配过程

### 3 目标车位的确定

通过模板匹配能把图像中所有车位角点都检测出来,如图 8 所示,因为在所检测到的车位角点候选点中(图 5),所选取的左下角对应的感兴趣区域中无图像,只有背景,因此,判断此点为非真实车位角点。要从图像中确定目标车位,需要先从图像中确定目标车位的 4 个角点。当检测到的车位角点数少于 4 个时,可判断为图像中无有效车位;当检测到的车位角点数大于或等于 4 个时,可判断为图像中可能存在有效车位,需要进一步判断,并且获得真实车位的 4 个角点。

在鸟瞰图图像中,平行车位和垂直车位 4 个角点都能连接成矩形,因此,判断是否为有效车位,即判断 4 个角点能否连接成矩形并且车位大小能否满足泊车要求。矩形的判断条件为:对角线长度相等并且两对角线的中点重合。任取图像中 4 个角点,分为两组:① 角点 1 和角点 2;② 角点 3 和角点 4。分别计算角点 1 和角点 2 之间的距离以及角点 3 和角点 4 之间的距离,得到两距离之差,判断是否在设定的容差之内,并计算角点 1 和角点 2 所连接线段的中点与角点 3 和角点 4 所连接线段的中点之间的距离是否在容差之内。当两者都在容差之内时,即可判断其是目标车位的 4 个角点,当不在容差之内时,两组相互交换一个角点,即分为以下两组:① 角点 1 和角点 3;② 角点 2 和角点 4。重新进行以上计算,判断是否

都在容差之内,并判断矩形尺寸是否满足泊车所需最小车位要求,由此可确定该 4 个角点是否为目标车位的角点。对所检测到的所有角点都进行以上操作,便能搜索出目标车位,如图 9 所示。由车位角点在鸟瞰图图像上的坐标,能得到车位大小和车位相对于自车的位姿关系。

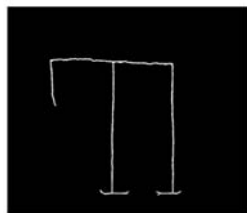


图 8 匹配车位角点

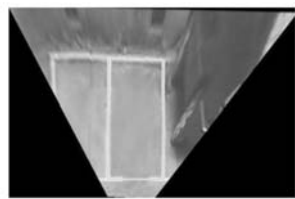


图 9 确定目标车位

### 4 实验结果

本文采用遗传算法工具箱来实现车位角点的匹配,CPU 为 Pentium 4, 2.0 GHz,在 MATLAB7.9 软件环境下对形状和旋转角度不同的车位角点进行匹配算法验证。考虑到经典遗传算法有早熟的缺点,因此,本文采用自适应遗传算法进行图像匹配<sup>[12]</sup>,该算法的交叉概率和变异概率随个体适应度的不同而自适应变化,即当群体将陷入局部极值时,加大交叉概率和变异概率来增加群体的多样性;当个体分散在解空间各处时则减小交叉概率和变异概率来加快收敛速度。3 个遗传因子的设置如下:设有一  $N \times M$  像素的待匹配图像  $S$  和  $H \times W$  像素的模板  $T(H \leq N, W \leq M)$ , 则

$$1 \leq x \leq N - H + 1 \quad 1 \leq y \leq M - W + 1 \\ -180^\circ \leq \theta < 180^\circ$$

染色体编码采用二进制编码方式,3 个遗传因子的编码长度均为 8,则所构成的个体基因二进制编码长度为 24,初始群体大小为 30,遗传代数为 30。匹配结果如图 10 所示,从图中可看出,匹配效果较好,位置和角度都较准确。



图 10 角点匹配结果

在室外采集了不同光照条件下的 50 张车位图片,分别采用以下两种方法进行车位识别:① 不采用金字塔分层搜索策略,即直接在原鸟瞰图图像上进行车位角点的粗提取,采用序贯相似性检测算法(SSDA)进行车位角点的精确匹配;② 采

用本文算法。其结果如表 1 所示,从表中可以看出,采用本文算法进行车位识别虽在快速性上得到了很大提高,但在车位识别的正确率上并无明显差别,都表现出较高的正确率。图 11 所示为采用本文算法进行的不同环境下的车位识别结果,从图中可以看出,车位角点匹配准确,能正确识别出目标车位。图 11a、图 11b 和图 11c 分别为在强光照环境下、正常光照环境下和弱光照环境下的车位识别结果。分析未能正确识别的车位图像发现,导致检测目标车位失败的原因是所采集的图片受强光照的影响,地面反射光线过强,车位标志线与地面无法区分,车位角点无法正确匹配。

表 1 采用两种不同方法进行车位识别的比较

算法	实验次数	最大运行时间 $t_{\max}$ (s)	最小运行时间 $t_{\min}$ (s)	平均运行时间 $t_{av}$ (s)	匹配正确次数	正确率 %
方法(1)	50	41.635	41.358	41.483	48	96
方法(2)	50	8.536	8.132	8.365	49	98



(a)强光照下 (b)正常光照下 (c)弱光照下

图 11 在不同光照下的车位识别结果

## 5 结语

本文针对自动泊车系统提出了一种基于单目视觉的车位线识别算法,采用金字塔分层搜索策略,利用 Hough 变换检测车位线,确定车位角点的候选点,采用遗传算法进行车位角点的精确匹配,最终确定有效车位。该算法能在不同光照强度下较准确地识别出有效车位,识别正确率达到 98%,并且识别快速性得到了较大改善。但是在光照强度太大导致地面反射光太强的情况下,可能出现检测车位失败,因此,未来的研究重点是提高算法的鲁棒性,使其能适应不同的光照环境,并且能识别出斜车位等。

## 参考文献:

[1] Zhou J F, Navarro-Serment L E, Hebert M. Detection of Parking Spots Using 2D Range Data[C]// Intelligent Transportation Systems. Anchorage, 2012;1280-1287.

[2] Jung H G, Lee Y H, Kim J. Uniform User Interface for Semiautomatic Parking Slot Marking Recognition[J]. Vehicular Technology, 2010, 59(2): 616-626.

[3] Suhr J K, Jung H G, Bae K. Automatic Free Parking

Space Detection by Using Motion Stereo-based 3D Reconstruction[J]. Machine Vision and Applications, 2010, 21(2): 163-176.

[4] Jung H G, Kim D S, Yoon P J. Parking Slot Markings Recognition for Automatic Parking Assist System[C]// Intelligent Vehicles Symposium. Tokyo, 2006;106-113.

[5] Huang C C, Tai Y S, Wang S J. Vacant Parking Space Detection Based on Plane-based Bayesian Hierarchical Framework[J]. Circuits and Systems for Video Technology, 2013, P(99): 1-133.

[6] Jung H G, Lee Y H, Yoon P J, et al. Radial Distortion Refinement by Inverse Mapping-based Extrapolation[C]// Pattern Recognition Conference. Hong Kong, 2006;675-678.

[7] Kannala J, Brandt S S. A Generic Camera Model and Calibration Method for Conventional, Wide-angle, and Fish-eye Lenses[J]. Pattern Analysis and Machine, 2006, 28(8): 1335-1340.

[8] Liu Y C, Lin K Y, Chen Y S. Bird's-eye View Vision System for Vehicle Surrounding Monitoring[J]. Robot Vision, 2008, 4931: 207-218.

[9] Song Y, Liu A, Pang L, et al. A Novel Image Text Extraction Method Based on K-means Clustering[C]// Computer and Information Science. Portland, 2008;185-190.

[10] Sakai T, Lmiya A. Unsupervised Cluster Discovery Using Statistics in Scale Space[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2009, 22(1): 92-100.

[11] 丁颀, 刘文予, 郑宇化. 基于距离变换的多尺度连通骨架算法[J]. 红外与毫米波学报, 2005, 24(4): 281-285.

Ding Yi, Liu Wenyu, Zheng Yuhua. Hierarchical Connected Skeletonization Algorithm Based on Distance Transform[J]. Infrared Millim Waves, 2005, 24(4): 281-285.

[12] 郑军, 诸静. 基于自适应遗传算法的图像匹配[J]. 浙江大学学报:工学版, 2003, 37(6): 689-692.

Zheng Jun, Zhu Jing. Image Matching Based on Adaptive Genetic Algorithm[J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2003, 37(6): 689-692.

(编辑 何成根)

作者简介:白中浩,男,1978年生。湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室副教授。主要研究方向为汽车车身设计及安全、汽车电子。获湖南省科技进步二等奖 1 项,获国家专利 6 项。发表论文 20 余篇。周培义,男,1988年生。湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室硕士研究生。王飞虎,男,1989年生。湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室硕士研究生。