doi:10.16018/j.cnki.cn32-1650/n.202503009

基于图像相似度的车位识别算法设计要点探究

王 宇
(集美大学 诚毅学院,福建 厦门 361000)

摘要:为提高城市停车管理效率,基于图像相似度方法,设计了一种新型组合判别算法,结合纹理特征与图像感知哈希值,通过加权融合进行车位判断。实验证明,与传统算法相比,基于欧几里得距离、汉明距离、结构相似度的融合方法能够有效提高车位识别准确率,在夜间低光照环境中,传统算法准确率为78.5%,而基于图像相似度的算法则提升至87.3%,提升幅度达到8.8%。

关键词:图像相似度;图像感知哈希;图像纹理特征
中图分类号:TP391 **文献标志码**:A **文章编号**:1671-5322(2025)03-0055-09

随着城市机动车辆数量的急剧增加,停车难的问题已经成为全球多数大城市共同面临的挑战。城市停车问题不仅影响交通流畅性,还严重制约了城市的可持续发展以及居民的生活质量。传统的停车管理方法不仅效率低下,而且在车位识别和管理方面存在较大的随意性,容易造成车位资源的浪费。因此,相关研究人员利用图像处理技术高效识别车位的算法,尝试开发一套智能化的停车管理系统,以提高停车场车位利用的效率。

1 图像相似度判定

两幅图像在内容上的相似程度通常用图像距离来表征,即通过提取图像特征来计算图像内容的相似程度。在车位识别系统中,由于光照变化、背景干扰等因素可能导致图像特征的不同,而欧几里得距离能够有效地反映这些变化,从而进行精确地图像匹配。因此,本研究中使用欧几里得距离来计算两幅图像之间的相似度,计算公式为[1]

$$d(\boldsymbol{p},\boldsymbol{q}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(p_i - q_i)^2} \qquad (1)$$

式中:$d(\boldsymbol{p},\boldsymbol{q})$表示两幅图像中任意两点$\boldsymbol{p}$与$\boldsymbol{q}$之间的欧几里得距离,该数值越小,说明两个特征向量之间的相似度越高;p_i、q_i代表特征向量$\boldsymbol{p}$、$\boldsymbol{q}$中的第i个特征值;n表示特征向量的维度。

由于每幅图像都是由颜色与纹理构成的,如果用特征1、2、3分别表示图像在红色通道、绿色通道、蓝色通道上的平均值(反映图像中红色、绿色、蓝色的强度分布),特征4表示图像的纹理参数(描述图像中的粗糙度、对比度、方向性等信息),利用系统从每幅图像中提取的特征描述子,即可得到每幅图的特征向量,利用公式(1)即可得出两幅图像的相似度。

对于图像1与图像2,用特征提取方法提取图像1、2的特征1、2、3、4的值,进而得到图像1、2的颜色直方图特征向量分别为$\boldsymbol{p}=[p_1,p_2,p_3,\cdots,p_n]$、$\boldsymbol{q}=[q_1,q_2,\cdots,q_n]$;使用公式(1)分别计算并比较这两个特征向量之间的距离,即可确定这两幅图像的相似度(对于欧几里得距离较小的图像,其相似度被判定为“相似”;而对于欧几里得距离较大的图像,则被判定为“不相似”)。

利用上述方法计算基准图像A与其他图像间的欧几里得距离,结果如表1所示。由表1可知,通过对红、绿、蓝通道以及纹理特征的计算,再通过欧几里得距离能够准确地将图像划分为“完全

收稿日期:2024-11-15
基金项目:福建省中青年教师教育科研项目(JAT220529)。
作者简介:王宇(1980—),女,河南三门峡人,讲师,硕士,主要研究方向为目标图像识别、检测与跟踪。

表1　欧几里得距离判定
Table 1　Euclidean distance determination

图像编号	特征1	特征2	特征3	特征4	欧几里得距离d	相似度判定
图像A(基准)	120	130	110	0.80	0	完全相同
图像B	118	125	115	0.70	3.16	相似
图像C	130	135	100	0.90	15.13	不相似
图像D	115	128	112	0.85	5.09	相似
图像E	123	132	114	0.78	2.65	相似
图像F	140	145	120	0.60	20.22	不相似

相同”、“相似”、“不相似”3类。该方法的优势在于计算简便、直观,且能够针对不同特征的变化提供量化的相似度评估。

2　图像纹理特征提取

2.1　提取检测区域纹理特征

图像纹理特征能够显示图像中的粗细、疏密等结构差异,且对光照变化具有鲁棒性,能在不同光照条件下有效地识别车位[2]。图像纹理特征主要提取方法如表2所示。

在具体操作中,系统首先将彩色的三维图像转换为二维的灰度图像,以简化纹理特征提取并去除颜色干扰;然后,将灰度图像划分为若干个小区域(本研究中选择16 px×16 px的窗口尺寸),对每个划分的小区域,计算中心像素与周围像素的灰度[3];如果周围像素的灰度值大于或等于中心像素的灰度值,则该位置取值为1,否则为0。

2.2　处理图像感知哈希并获取结构相似度

在提取图像检测区域的纹理特征后,需要对图像进行缩小处理,以剔除图像中的高频以及细节信息,使模型能够更加专注于图像的结构部分,从而提升相似度计算的鲁棒性。

本项目中,研究人员使用双线性插值法先对原始图像进行尺寸缩小,以减少后续计算的复杂度。为了在图像缩小的同时保留图像的整体结构以及明暗信息,本研究将原始图像缩小至16 px×16 px。

使用双线性插值法进行图像压缩的计算公式为

$$I(x',y') = (1-a)(1-b)I(x_1,y_1) + a(1-b)\times I(x_2,y_1) + (1-a)b\times I(x_1,y_2) + abI(x_2,y_2) \quad (2)$$

式中:$I(x',y')$表示目标图像点的像素值,即经过插值计算后得到的目标图像像素强度;$I(x_1,y_1)$为左上角的像素值;$I(x_2,y_1)$为右上角的像素值;$I(x_1,y_2)$为左下角的像素值;$I(x_2,y_2)$为右下角的像素值;a与b为计算插值时的权重因子,前者为x'在x_1与x_2之间的相对位置,后者为y'在y_1与y_2之间的相对位置,且$a,b\in[0,1]$。

表2　常用的纹理特征提取方法
Table 2　Common methods for extracting texture features

提取方法	方法类别	具体技术	主要参数	描述与适用场景
灰度共生矩阵	统计方法	GLCM	方向为0°、45°、90°、135°,距离为1、2、3,灰度级数256	通过计算像素对的灰度值分布来提取纹理特征,常用于图像分割
马尔可夫随机场	模型方法	MRF	状态数、邻域结构	建立图像的统计模型,通过相邻像素之间的依赖关系提取特征,适用于图像分割
局部二元模式	统计方法	LBP	邻域半径R、样本点数P	通过比较中心像素与周围像素的灰度值来提取特征,具有光照变化鲁棒性,适用于人脸识别、纹理分类等
边缘检测	结构方法	Canny边缘检测	阈值、滤波器大小	通过检测图像中的边缘信息来提取纹理特征,适用于物体识别以及边界检测
方向梯度直方图	统计方法	HOG	细分块大小、方向bin数	通过计算局部区域的梯度方向直方图来提取特征,常用于行人检测、物体识别

在具体应用中,先确定缩小的目标图像尺寸并计算缩放因子。对于目标图像中的每一个像素(x',y'),计算其在原始图像中的对应坐标(x,y),再计算x、y的整数部分以获取(x_1,y_1)、(x_2,y_2);将计算出的4个邻近像素值代入公式(2),计算出$I(x',y')$的具体数值。对目标图像中的每个像素重复上述过程,直到完成整个图像的缩小处理,如表3所示。

在缩小图像的过程中,图像中的高频以及细节信息会被剔除,高频信息通常包含了图像中的噪声与细节,而车位识别主要依赖于结构特征,例如车位的形状、位置[4]。通过去除这些细节,模型能够更加专注于图像的结构部分,从而提升相似度计算的鲁棒性

在对图像进行缩小处理后,还要对图像进行灰度化处理以消除颜色差异并提高处理速度。为了进一步处理图像,本文引入离散余弦变换(discrete cosine transform,DCT)将灰度化后的图像从空间域转换到频率域。具体地说,对灰度化处理后的图像,提取部分区域进行离散余弦变换,得到离散余弦变换系数,再对每个离散余弦变换系数进行哈希处理。哈希处理规则为:如果离散余弦变换系数大于均值,则在哈希序列中标记为1;否则标记为0。经过哈希处理后最终生成的是一串二进制数的哈希序列,该序列能够有效表示图像的结构特征。

在生成哈希序列后,系统开始计算汉明距离。汉明距离计算公式为

$$h(A',B')=\sum_{i=1}^{m}\delta(A'_i,B'_i) \tag{3}$$

式中:$h(A',B')$表示哈希序列A'与B'之间的汉明距离;m代表哈希序列的长度;A'_i、B'_i分别代表哈希序列A'、B'中第i位的值。

在得到汉明距离后,系统根据预设的阈值来判断这两幅图像是否相似。如果汉明距离小于或等于阈值,则认为图像相似;否则,认为图像不相似。

本文对灰度化处理后的图像,提取左上角8 px×8 px区域进行离散余弦变换,得到离散余弦变换系数后再经哈希处理,得到哈希序列A'、B',再经汉明距离计算与阈值判定,得到结果如表4所示。

在图像相似度计算中,汉明距离越小,表明两幅图像的相似度越高。因此,通过比较哈希序列的汉明距离,可以快速判断两个图像是否相似。

表3　采用双线性插值法缩小图像

Table 3　Reduction of image by bilinear interpolation

原始图像尺寸/(px×px)	目标图像尺寸/(px×px)	缩放因子	插值坐标	原始像素/px	左上像素/px	右上像素/px	左下像素/px	右下像素/px	计算结果/px
256×256	16×16	(1/16,1/16)	(1.5,1.5)	100	150	200	250	240	175
512×512	32×32	(1/16,1/16)	(2.3,2.7)	120	180	240	300	280	215
640×480	40×30	(1/16,1/16)	(3.5,2.5)	110	160	210	260	230	188
800×600	50×37	(1/16,1/16)	(4.0,3.0)	130	190	250	310	300	226
1 024×768	64×48	(1/16,1/16)	(5.0,4.0)	140	200	260	320	280	238
1 280×720	80×45	(1/16,1/16)	(6.2,3.5)	150	210	270	330	310	257

表4　基于哈希序列的汉明距离

Table 4　Hamming distance based on hash sequence

图像对	哈希序列A	哈希序列B	汉明距离h	相似度评估	判别阈值	备注
1	1010101	1010110	1	相似	2	仅一位不同
2	1101100	1101001	1	相似	2	仅一位不同
3	1110001	1100011	2	相似	2	两位不同
4	1001101	0110100	4	不相似	3	四位不同
5	0001110	0000111	3	不相似	2	三位不同
6	1111111	0000000	7	不相似	4	完全不同

本次研究中,汉明距离的计算方式是对比两个哈希序列中不相同的位数,其变化范围为0~64。汉明距离h=0,代表两幅图像的哈希值完全相同,说明它们在内容上几乎没有差异,这种情况通常出现在车位图像与背景模板高度一致时,例如车位空闲时,背景图像与当前图像基本无差异;当汉明距离h=64,表示两幅图像的哈希值完全不同,这意味着图像之间的差异极大,通常出现在车位被占用,且占用物体的外观与背景有明显区别的情况下。

由于表4中的汉明距离h都接近于0时,说明两幅图像较为相似。当把汉明距离运用于车位状态识别时,通过对汉明距离h的变化范围进行分析,系统能够对车位状态作出初步判断:当h接近0时,车位状态可能为空闲;而当h接近64时,车位则很可能是占用状态。

在车位状态识别系统中,计算并保存汉明距离的数值不仅有助于实时判断车位的变化,还为设定判别阈值提供了重要的数据支持。通过分析大量图像的汉明距离得到具体的阈值,可便于在实际应用中快速判断图像之间的相似性。

3　图像相似性组合算法判别指标

除了通过汉明距离h来判断两幅图像的相似性外,还可以通过结构相似度,即通过比较图像的亮度、对比度、结构信息来评估相似性。结构相似度值的范围通常为0~1。当结构相似度p=1时,表示两幅图像完全相同,内容上没有任何差异[5],在车位识别的场景中,这通常对应于车位空闲时的状态;而p=0则表示两幅图像的结构完全不同,显示出明显的差异,这通常在车位被占用且遮挡物的外观与背景完全不同的情况下会出现。

为了综合考虑汉明距离与结构相似度对车位状态的影响,研究人员设计一个组合判别指标Y,即将h值与p值结合起来,形成一个统一的相似度评价标准。组合指标Y的变化范围为:当h=64且p=0时,Y的最小值为0;当h=0且p=1时,Y的最大值为65。这种设计使得组合指标Y的范围为0~65,且Y值越大,表示车位状态越可能为“空闲”;Y值越小,则表示车位状态越可能是“占用”。

4　实验结果分析

为了验证基于图像相似度的车位识别算法的有效性,研究人员通过实验,观察其在车位识别过程中的应用效果。具体实践中,研究人员收集一组车位图像数据,涵盖不同光照、天气、车位遮挡和不同类型的车辆;对这些图像进行去噪、图像裁剪等预处理操作后,使用图像处理算法提取每个车位图像的特征,并为每个图像构建特征向量;采用欧几里得距离,比较特征向量的差异;引入汉明距离,通过比较图像二进制特征值的不同,计算相似度;引入结构相似度,通过比较图像的亮度、对比度、结构等因素,计算图像之间的相似度;将测试图像与数据库中的车位图像进行相似度匹配,并根据匹配结果进行车位识别与分类;使用传统的边缘检测车位识别算法作为对比,通过准确率、召回率、F1-score等指标对比不同算法在不同环境下的表现,如表5所示。

分析表5可以发现,基于图像相似度的车位识别算法效率,在多种环境下表现出了显著的提升;与传统算法相比,基于欧几里得距离、汉明距离以及结构相似度的融合方法能够维持较为稳定的识别效果;在夜间低光照环境中,传统算法准确率为78.5%,而基于图像相似度的算法则提升至87.3%,提升幅度达到8.8%。

本实验结果表明,通过融合欧几里得距离、汉明距离以及结构相似度等多种度量方法,不仅

表5　实验结果对比

Table 5　Experimental Results Comparison

环境条件	传统算法准确率/%	基于图像相似度的算法准确率/%	提升幅度/%	复杂环境表现(光照变化/车辆遮挡等)
清晰环境(白天)	85.0	92.5	7.5	稳定表现
夜间(低光照)	78.5	87.3	8.8	稳定表现
有遮挡(部分车辆遮挡)	70.0	82.4	12.4	仍保持较好表现
雨天(湿滑、反射)	74.3	83.9	9.6	有一定提升
多种车型	80.1	90.2	10.1	表现稳定

提高了车位识别的准确性,还增强了算法对不同复杂环境的适应能力,具有较高的实际应用价值。

5　结语

随着城市化进程的加快,停车位的需求日益增加,传统的车位管理方式已无法满足现代城市的需求。基于图像相似度的车位识别算法利用计算机视觉技术,通过对实时图像进行处理,有效地解决了车位状态识别的问题。通过本次研究,研究人员得出以下结论:

1) 基于图像相似度的车位识别算法,通过提取检测区域的纹理特征,运用感知哈希技术、结构相似度评估,为图像之间的相似性提供了可靠的度量手段。这一方法能有效应对不同光照、环境变化等对图像质量的影响,提高了车位状态检测的准确性。

2) 通过将汉明距离与结构相似度进行组合,设计出的组合判别算法不仅兼顾了两者的优点,还克服了单一指标在判断过程中的局限性。此算法在汉明距离、结构相似度相结合的基础上,形成了一种新的相似度评价标准,能够更加精确地反映车位的实际占用状态。

3) 在确定组合算法判别指标时,通过汉明距离 h、结构相似度 p 的变化范围设定合理的阈值,可以有效地区分车位的“空闲”或者“占用”状态,为智能停车系统的实时监测提供了重要的数据支持。

参考文献:

[1] 赵文涛,冯婷婷. 面向稀疏数据的协同过滤算法相似度[J]. 计算机工程与设计,2024,45(6):1728-1734.

[2] 贾康,李晓楠,李冠宇. 一种基于自适应结构感知池化图匹配的图相似度计算模型[J]. 计算机工程与科学,2023,45(11):1999-2007.

[3] 张威,马永斌,陈磊. 基于结构相似度的多波段图像自适应融合算法[J]. 计算机仿真,2023,40(11):192-196.

[4] 刘耀辉,陈琦鹏,徐慧颖,等. 纵向汉明距离判别法:对潜在属性的发展追踪[J]. 心理科学,2023,46(3):742-751.

[5] 钟静,林晨,盛志伟,等. 基于汉明距离的量子K-Means算法[J]. 计算机应用,2023,43(8):2493-2498.

Exploration of Design Points for Parking Space Recognition Algorithm Based on Image Similarity

WANG Yu

(Chengyi College, Jimei University, Xiamen Fujian　361000, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of urban parking management. Based on the method of image similarity, a new combination discrimination algorithm is designed, which combines texture features and image perceptual hash value to judge parking spaces through weighted fusion. Experiments show that, compared with traditional algorithms, the fusion method based on Euclidean distance, Hamming distance and structural similarity can effectively improve the accuracy of parking space recognition. In low-light environment at night, the accuracy of traditional algorithms is 78.5%, while that of algorithms based on image similarity is 87.3%, with an improvement range of 8.8%.

Keywords: image similarity; image perceptual hashing; image texture features

(责任编辑:邵　茗)