

一种基于数学形态学的实时车牌图象分割方法

左 奇 史忠科

(西北工业大学自动控制系, 西安 710072)

摘 要 根据车牌纹理及其几何形状的特点,设计了一种基于数学形态学的车牌图象分割方法,该方法在二维形态滤波过程中,能自适应地调整阈值大小,以适应光照强度及干扰强度的变化,同时把基于全像素点数学形态学处理的点运算转化成仅有几十条直线的线运算,以使运算速度和抗干扰能力较其他传统分析方法有显著提高,用该方法对不同照明条件下的一系列汽车图象进行的大量实验结果表明,该方法不仅定位效果好、速度快,而且适于对有噪声及复杂背景的车牌图象进行分割。

关键词 计算机图象处理(520·6040) 车牌图象分割 数学形态学 形态滤波 车牌照识别

中图法分类号: TP391.41 U495-39 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)03-0281-05

An Real-time Algorithm for License Plate Extraction Based on Mathematical Morphology

ZUO Qi, SHI Zhong-Ke

(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

Abstract Aiming at plate texture and plate shape of vehicle image, an algorithm applied to license plate extraction of vehicle image based on mathematical morphology is introduced. It adapts to the complicated background of vehicle image and the variety of illuminating conditions by adjusting threshold, while two-dimensional morphological filtering method. Moreover, point operation of mathematical morphology is inverted into line operation of mathematical morphology. The binarization method is based on one-dimensional edge detection to effectively utilize the plate shape and plate texture feature of vehicle images. It is much more robust and faster than the traditional thresholding methods and edge detecting operator methods. We have completed a series of experiments under different conditions. The experiment results show that the segmentation effects and its orientation accuracy are improved significantly, so the proposed method is very effective for segmenting and locating noisy vehicle license plates.

Keywords Vehicle-license-plate image segmentation, Mathematical morphology, Morphological filtering, License plate recognition

0 引 言

图象分割就是把图象分成各具特性的区域,并提取出感兴趣目标的技术和过程,而在分割时,首先要根据目标与背景的先验知识来对图象中的目标、背景进行标记、定位,然后才能将待识别的目标从背景或其他伪目标中分离出来。但是在实际应用中,怎样才能快速、有效地将感兴趣的目标从复杂的背景中分割出来,一直是难以处理的问题。

本文的目的就是要研究出一种将汽车的牌照从复杂的背景中分割出来,以便进一步识别的方法。由于车辆图象自然背景及车身背景都很丰富,且光照条件(白天,黑夜)、天气条件(阴、雨、雾、雪)也对车辆图象有很大影响;另一方面,由于车牌本身会有不同程度的模糊、磨损和变形,这些都给车牌定位带来很大困难,所以需要进行一系列预处理。

为了准确快速地进行车牌定位,人们提出了很多分割算法^[1~4],其中大部分分割算法都是基于车牌的不同特征进行的,目前所利用的车牌特征有:(1)车牌

基金项目:国家自然科学基金重点项目(60134010)

收稿日期:2001-10-25,改回日期:2002-09-16

区域内的边缘灰度直方图统计特征;(2)车牌的几何特征,即车牌的高、宽及高宽比;(3)车牌区域的纹理特征,即穿过车牌的水平直线,其灰度呈现连续的峰、谷、峰分布;(4)车牌区域图象的水平(垂直)投影特征;(5)车牌形状特征及字符排列格式特征,如车牌有矩形边框;(6)频谱特征.其分割方法有多种:如运用 Hough 变换,通过检测直线来提取车牌边界区域;使用灰度分割及区域生长来进行区域分割;使用纹理特征分析技术等等.但是 Hough 变换方法在车牌区域变形或图象被损坏时,失效的可能性会大大增加;相比之下,灰度分割却比直线检测的方法要稳定,但当图象有许多与车牌的灰度非常相似的区域时,该方法也无能为力;另外,纹理分析在遇到类似于车牌纹理特征的其他干扰时,车牌定位正确率也会受到影响.由于在具有复杂背景的汽车图象中,非车牌区域可能会具有车牌区域的某一特征,所以若仅使用车牌的单一特征来分割车牌,效果往往不好,而综合利用车牌的多个特征,则可以有效地滤除伪车牌,以获得目标车牌.在以往的车牌分割算法中,也考虑了综合运用各种车牌特征来提高车牌定位准确性的问题.在上述算法中,由于采用物体的形态特征来进行图象分析,容易实现并行处理,且能较好的满足车牌定位的实时性要求,因此,本文结合车牌纹理及车牌几何形状的特点,设计了一种基于数学形态学的车牌定位方法,与其他传统分析方法相比,该方法在定位准确度、运算速度和抗干扰能力上有明显优势.

1 数学形态学

数学形态学的应用几乎覆盖了图象处理的每个领域,包括抑制噪声、特征提取、边缘检测、图象分割、文字识别、图象编码压缩等图象处理问题.迄今为止,还没有一种方法能像数学形态学那样,既有坚实的理论基础和简洁、朴素、统一的基本思想,又具有如此广泛的实际应用价值.

数学形态学图象处理的基本思想,是利用一个称为结构元素的探针来收集图象的信息.当探针在图象中不断移动时,不仅可根据图象各个部分间的相互关系来了解图象的结构特征,而且利用数学形态学基本运算还可以构造出许多非常有效的图象处理与分析方法.其最基本的形态运算是腐蚀和膨胀.

按定义,二值图象上目标边界点是指位于目标内部,且至少有一个邻点位于目标之外的像素.用 B 代表结构元素,对工作空间 A (被处理的图象)中的每一点 x ,腐蚀和膨胀的定义分别为

$$\text{腐蚀: } A \ominus B = \bigcap \{A - b; b \in B\} \quad (1)$$

$$\text{膨胀: } A \oplus B = \bigcup \{A + b; b \in B\} \quad (2)$$

腐蚀具有使目标缩小、目标内孔增大,以及外部孤立噪声消除的效果;膨胀是将图象中,与目标物体接触的所有背景点合并到物体中的过程,结果是使目标增大、孔洞缩小,可填补目标中的空洞,使其形成连通域.

在数学形态学图象处理中,除了腐蚀和膨胀这两种基本运算外,还有两种非常重要的运算方法,即开运算和闭运算.其定义如下:

$$\text{开运算: } A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

$$\text{闭运算: } A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

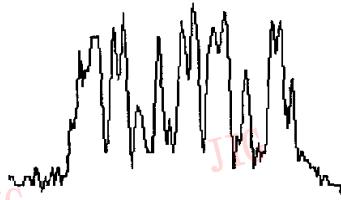
其中,先腐蚀、后膨胀的过程称为开运算,它具有消除图象上细小物体,并在物体影像纤细处(目标狭窄区)分离物体和平滑较大物体边界的作用;先膨胀后腐蚀的过程称为闭运算,它具有填充物体影像内细小空洞,连接邻近物体和平滑边界的作用.

2 车牌纹理特点

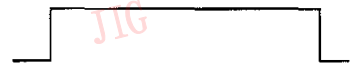
尽管汽车图象的背景很复杂,但车牌区域中的字符目标却有一定的规律,如穿过车牌的水平直线,其灰度就呈现连续的峰、谷、峰、谷的纹理分布,其一维灰度特征如图 1(b)所示.而牌照字符目标图象,则具有如下特点:(1)牌照字符与牌照底交界处有较大



(a) 车牌图象



(b) 车牌字符一维灰度特征



(c) 膨胀后纹理脉冲

图1 车牌字符灰度特征

的灰度值跳变;(2)牌照内有多个字符,基本成水平排列,形成一个矩形区域;(3)不同图象中,牌照的大小、位置虽不确定,但牌照大小变化有一定范围,因此如何将上述3种车牌区域特点都被车牌分割算法所利用,是本文研究的重点。

如图1所示,车牌字符灰度具有如下特征:当横向扫描线通过车牌图象时,车牌区的灰度跳变明显,但跳变宽度不超过两倍字符宽度,而且在车牌区内跳变密集分布(如图1(b)所示),而其他区域,灰度变化不明显或者灰度跳变不密集分布。

任何分割算法,由于都是基于分割对象的特征,以及根据与周围特征的差异来分割图象的,所以车牌分割选取可靠的参数是关键性的问题。本文则选取车牌纹理及车牌几何形状作为特征来对车牌进行定位。车牌纹理虽具有很强的稳定性和可识别性,但如何描述才能更加贴近车牌纹理是决定车牌正确分割的关键。一些研究者采用水平密集跳变数作为车牌纹理特征,虽能较好定位出“准车牌”,但由于定位出的“准车牌”较多,因而为后续准确定位车牌带来了难度,这是因干扰及车体影像的局部灰度跳变特征与简单的车牌纹理描述特征相似所致。但进一步观察发现,车牌灰度密集跳变的间距具有一定的宽度,其最大跳变宽度为两倍车牌字符宽度,因此可利用这一特征来进行识别。如在实际的拍摄环境(十字路口,地下停车场等),设有相应的检测设备(如车辆检测线圈),当汽车闯红灯时,检测设备即被触发,并立即采集图象,从触发到采集图象的时间小于40ms,如车以100km/s行驶速度算,也只走了1m,由于图象中车牌大小变化很小(拍摄距离大于6m),因此可以把车牌字符间距作为可靠的特征来参与车牌定位的识别。为增强车牌大小变化的兼容性,本文取最大车牌字符间距 a (单个车牌字符间距)和字符高度 $4b$ ($4b$ 为单个车牌字符高度)作为形态滤波的参数。

3 形态学分割方法^[5]

由于一些研究者只考虑车牌纹理结构,而忽视车牌整体结构,或由于只考虑车牌整体结构,而忽视细小纹理结构,从而造成错误分割。这主要是由于细小纹理结构与车牌整体结构较难协调统一所致。近几年来,研究者注意到基于两种以上特征的车牌定位分割方法,具有更高的准确度,并研究出了很多算

法,如基于车牌颜色和车牌几何形状的定位分割方法^[6,7];基于车牌纹理水平密集跳变和车牌形状的定位分割算法^[1,8];基于边缘提取和车牌形状的定位分割算法^[9,10]等等。在上述的算法中,尽管也综合考虑了两种以上的车牌特征,但因基于各特征的定位算法都是独立处理、串行工作的,难于相互协调,致使定位出的伪车牌数增加,从而增大了车牌定位的难度。近几年来,随着数学形态学在图象处理中的广泛运用,如今把数学形态学运用于车牌定位的分割算法,虽已屡见不鲜^[1,11,12],但仍存在以下缺点:(1)由于在图象处理的前期工作中,采用数学形态学的开(闭)运算,进行图象处理后,依然存在大量不符合车牌长度的短线和孤立点,因此给后期的车牌定位带来很大干扰和不确定因素;(2)由于预处理工作的不彻底,还需要进行一系列的基于点的数学形态学开闭运算,因此运算速度明显下降^[12],而本文综合运用了数学形态学和评价函数方法,由于更贴近地表述了车牌的综合特征及与周围的差异特性,并极大地避免了因“伪车牌”的出现,而造成错误分割的问题,因此具有更准确的分割效果和更强的抗干扰性能。作者运用数学形态学的膨胀算法,结合信号处理中的带通滤波算法,把纹理结构与车牌整体结构特征相统一,由于兼顾两种车牌特征而大大减少了误判的概率,因此具有很高的识别率。在进行数学形态学运算前,先将车牌图象二值化,本文采用的扫描差分二值化阈值迭代算法的步骤如下:

(1) 将图象中的任意点 $I_{i,j}$ 与相邻点 $I_{i-1,j}$ 相减,然后取绝对值,存入矩阵 $M_{i,j}$,令迭代次数 $k=1$ 。

(2) 将矩阵 $M_{i,j}$ 中的任意点 $m_{i,j}$ 与指定阈值 T 进行比较(如果 $k=1$,则取 $T = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} T_i$),然后将整个图象二值化。如 $m_{i,j} > T$,则为1,否则为0。

(3) 运用数学形态学的膨胀算法。取长度为 $(2a+1)$ 的一维结构元素 B 对二值图象 A 进行膨胀运算。膨胀运算后,在车牌区的横向扫描线上,因峰、谷、峰的纹理特征相互融合而转变为具有一定宽度的脉冲,如图1(c)所示,该脉冲宽度可近似视为车牌宽度。

(4) 对横向扫描线上的方波进行直线带通滤波。其中,对方波宽度小于车牌长度或大于2倍车牌长度的直线,即认为是干扰,予以滤除。

(5) 计算满足带通滤波规则的直线总数 p ,以及满足带通滤波规则的扫描线上的灰度跳变总数 g ,若不满足评价函数 $f(p,g)$,且 $k=k+1$,则转步

骤2,否则转步骤 6.

(6) 执行数学形态学的线开运算(线运算类似于数学形态学的点运算,只是以直线为运算单位).如图 2(b)、图 3(b)所示,车牌区域在垂直方向上也是连续的.假定单个车牌字符高度为 $4b$,则取长度为 $(2b+1)$ 的一维结构元素 B 对二值图象 A 进行开运算,而这种开运算将滤除小于 $2b$ 高度的伪车牌区.如果最大垂直连续区域小于车牌字符高度 $4b$,则减小阈值 T ,且令 $k=k+1$,并跳转到步骤 2,否则转步骤 7.

(7) 对处理过的二值图象进行水平和垂直投影,定位出车牌区域.

扫描差分二值化阈值 T 的选取贯穿于程序流程的始终.阈值的选取分为如下两种方法:(1)将当前时刻以前的最近历史记录(取 10 幅汽车图象)的扫描差分阈值 T ,取均值,作为当前图象扫描差分二值化阈值 T 的初始值,该方法的目的是为了跟踪光照强弱的变化,当光照条件很好时,差分二值化阈值普遍提高,当光照变暗时,差分二值化阈值普遍减小,以减少阈值的搜索时间;(2)采取迭代方法来改进阈值,算法流程如上所述.

当光照强度变化时,图象中目标与背景的对比如也相应地变化,例如,当光线变强(弱)时,一方面,图象中观测物体边缘的相邻像素间的差分值也在相应地变大(小);另一方面,对于拍摄的实际汽车图象,由于具有类似纹理、长度、宽度及高宽比的块区域,因此车牌区域具有最大(至少是次优值)的连续

跳变差分阈值.根据这些观察结果,配以相应的评价函数 $f(p, g)$,以适应阈值变化.评价函数 $f(p, g)$ 如下: $H \leq p \leq 4H; 0.8Lp < g < 1.2Lp$. 其中, H 为字体像素高度, $H = 4b$, L 为车牌内单线跳变数,一般取 $L = 14$. 同时为避免干扰,特提出如下两个参数:即满足带通滤波规则的直线总数 p ,以及满足带通滤波规则的扫描线上的灰度跳变总数 g ,当阈值 T 较低时,则满足带通滤波规则的直线总数 p 和灰度跳变总数 g 都会增加. p 的引入是为了限制满足带通滤波规则的直线过多或过少, g 的引入是为了滤除由于燥声干扰和路面凹凸不平所形成的“伪车牌”.当直线总数 $p < H$ 时,则阈值 $T = T - \Delta T$,当直线总数 $p > 4H$ 时,则 $T = T + \Delta T$;同样,当直线总数 p 满足评价函数时,则仅需判断跳变总数 g ,再通过调整阈值 T 来满足跳变总数 g 的要求.

由图 2(b)、图 3(b)可见,尽管图象背景复杂,但经过水平膨胀及直线带通滤波后,大部分干扰可被滤除,车牌区虽已经显示出来,但仍然存在干扰,因此需再经过垂直方向的腐蚀运算,以极大程度地滤除干扰.另外,图象经过垂直方向上的开运算后,还需将其进行水平(垂直)投影.这样经过上述处理后,存在的干扰区就很少了,且界线分明,很容易定位车牌,从而避免了传统定位方法在投影时,因干扰过多而引起的错误定位.并且由于评价函数 $f(p, g)$ 的引入,使算法对干扰具有很强的鲁棒性,而评价函数中直线总数 p 和水平灰度跳变总数 g 的引入,就是为

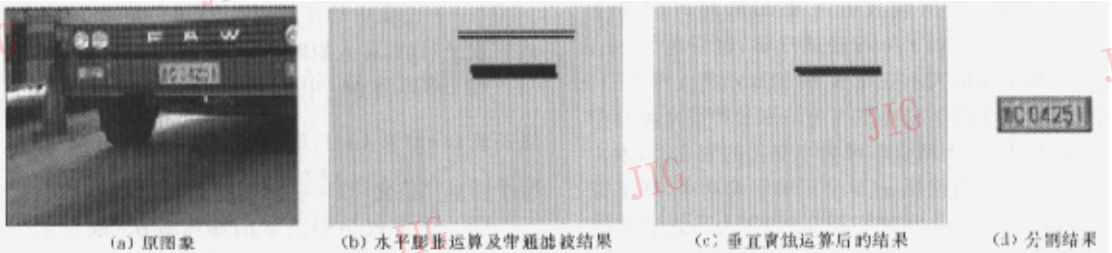


图 2 车牌 A 定位示例

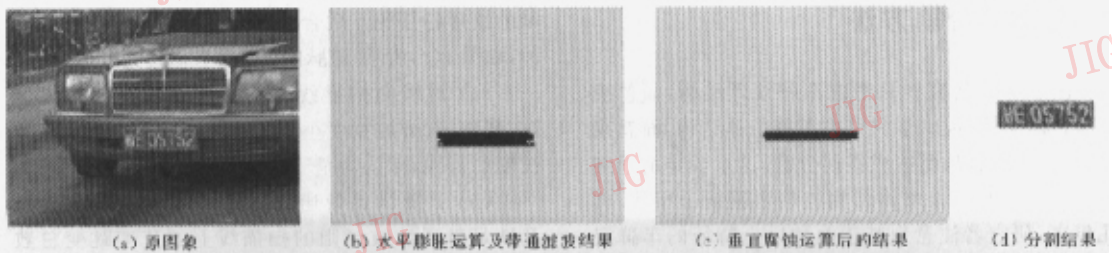


图 3 车牌 B 定位示例

抑制高频和低频干扰,而在性能指标中所加的限制。例如,由于一些水泥地面也具有局部灰度剧烈跳变的特性,但其跳变特性属于大于车牌纹理跳变频率的高频特性或不满足带通滤波的宽度特性,当扫描差分阈值 T 较低时,水平灰度跳变总数 g 会急剧增大,甚至会超过评价函数 $f(p, g)$ 的限制,因此应根据评判准则来提高差分阈值 $T = T + \Delta T$,将干扰予以滤除,以便通过抑制干扰来寻找到最佳车牌区域。

4 结论

为了验证本文算法的定位效果,对在不同照明条件下所采集到的一系列汽车图象进行了大量的实验。实验是采用不同自然背景及车身背景,不同光照条件(白天,黑夜)的车辆图象进行车牌定位。实验结果如表1所示,其定位总正确率为98.5%。

表1 车辆分割定位实验结果

采集时间	采集个数	准确定位个数	错误定位个数	定位正确率 (%)
白天	120	119	1	99.2
夜晚	80	78	2	97.5

整个程序运算简洁、快速,而且能正确定位。在图象处理过程中,都是基于数学形态学运算,且基本上全是加减运算。为了提高处理速度,程序将二维形态滤波器简化为两个一维滤波器(水平和垂直形态滤波器),从而,大大加快了运算速度。同时,一方面,除第1步对图象的每个像素进行运算外,后续步骤将仅对几十条直线进行基于直线形态学的运算,这样就使图象的平均定位时间减少到了每幅0.1s,(图象大小为 256×256 ,计算机主频为233M,64M内存),可见,具有很强的实时效果;另一方面,由于该法在二维形态滤波过程中,能自适应地调整阈值,以适应光照强度变化及干扰强度变化,而且,即使车牌倾斜(小于 10°)时,也同样可以准确定位,因此,本程序在运算速度和抗干扰能力上,比其他传统分析方法有明显优势,具有很强的实用价值。

参考文献

- 1 林纯青,徐立亚,戚飞虎. 汽车图象中字符目标的提取算法[J]. 上海交通大学学报,1998,32(10):1~4.
- 2 牛欣,沈兰荪. 汽车牌照识别技术的研究[J]. 测控技术,1999,18(12):14~17.
- 3 Park S H, Kim K I. Locating car license plates using neural networks[J]. Electronics Letters,1999,35(17):1475~1477.
- 4 Hans A H A high performance license plate recognition system [A]. In: Proc. of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics [C], San Diego, USA, 1998, 5: 4357~4366.
- 5 Jean S R. Introduction to mathematical morphology [J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1986, 35: 283~305.
- 6 陈斌,游志胜. 车牌号码颜色提取搜索方法[J]. 计算机应用, 2001,21(4):75~76.
- 7 赵雪春,戚飞虎. 基于彩色分割的车牌自动识别技术[J]. 上海交通大学学报,1998,32(10):4~9.
- 8 廖金周,宣国荣. 车辆牌照的自动分割[J]. 微型电脑应用,1999, 7(15):32~34.
- 9 晏建华,赵正校. 基于属性开运算的汽车牌照区域定位算法[J]. 红外与激光工程,2000,29(3):19~22.
- 10 牛欣,沈兰荪. 基于特征的车辆牌照定位算法[J]. 交通与计算机,2000,18(1):31~33.
- 11 Kim S K. A recognition of vehicle license plate using a genetic algorithm based segmentation [A]. In: Proc. of IEEE International Conference on Image Processing [C], Lausanne Switzerland, 1996, 2: 661~664.
- 12 戴青云,余英林. 一种基于小波与形态学的车牌图象分割方法 [J]. 中国图象图形学报,2000,5A(5):411~415.



左奇 1974年生,2000年获西北工业大学自动控制系硕士学位,现为西北工业大学自动控制系博士生。主要研究方向为图象分析、模式识别等。

史忠科 1956年生,西北工业大学自动控制系教授、博士生导师。主要研究方向为控制理论、系统工程、图象处理、模式识别、神经网络。