

基于 CNN 彩色图像边缘检测的车牌定位方法

刘万军¹ 姜庆玲^{1,2} 张闯³

摘要 针对现有车牌定位算法准确率不高、步骤多和速度慢等问题, 提出一种彩色图像车牌定位方法 (License plate locating based on CNN color edge detection, LPLCCED). 首先利用细胞神经网络 (Cell neural network, CNN) 模型导出一种与车牌颜色特征相结合的车牌定位专用边缘检测算法, 将车牌的颜色对约束条件融合到边缘检测算法中, 本文专用边缘检测算法可以大大缩小车牌初步定位的范围. 接下来提出一种针对车牌特征边缘滤波算法, 最后根据车牌结构和纹理特征对候选区域进行判别验证. 该流程的各个环节都可以通过硬件实现, 为面向智能交通领域的实时车牌识别系统的前期车牌定位处理提供了依据.

关键词 车牌定位, 彩色边缘检测, 细胞神经网络, 边缘滤波, 人类视觉系统
中图分类号 TP391.41

A Novel Approach for Vehicle License Plate Locating Based on CNN Color Image Edge Detection

LIU Wan-Jun¹ JIANG Qing-Ling^{1,2} ZHANG Chuang³

Abstract In this paper, a novel approach of color image license plate locating based on CNN color edge detection (LPLCCED) is put forward to solve the problems of low accuracy, too many steps and slow speed in the existing license plate locating algorithm. First, combined with the color feature of license plate, a special edge detection algorithm to locate the license plate is derived by means of the cell neural network (CNN) model. Constraint conditions for color pairs of the license plate are fused into the edge detection algorithm, thus the range of the initial location is greatly narrowed. Then, a kind of edge filtering algorithm is proposed for the feature of the license plate. Finally, the candidate areas are identified and verified according to the structure and texture feature of the license plate. Each step of the process can be implemented by hardware, and this new approach provides a basis for the pre-processing of license plate locating in the real-time license plate recognition systems used in the field of intelligent transportation.

Key words Vehicle license plate locating, color edge detection, cellular neural network (CNN), edge filter, human vision system

车牌识别是计算机视觉、图像处理与模式识别技术在智能交通领域应用的重要研究课题之一, 其中车牌定位是要解决的关键问题之一, 车牌定位精确与否, 直接影响到最终能否正确识别车牌号码.

目前, 车牌定位的研究主要沿着两类技术路线进行. 一类是在灰度图像中检测, 主要方法有: 基于纹理^[1], 基于边缘^[2], 基于数学形态学^[3], 基于矢量, 基于梯度, 基于小波, 以及将形态学与小波变换相结合, 将小波变换与遗传算法相结合^[4]的定位方法. Novak 等^[5]发现, 在彩色图像中, 大约有 90% 的边缘与灰度图像中的边缘相同, 也就是说, 有 10% 的边缘在灰度图像中检测不到, 这些边缘来自颜色的

变化. 近年来在彩色图像中定位车牌成为研究的热点, 主要方法有: 基于颜色, 基于颜色和纹理特征^[6], 基于遗传算法, 基于神经网络^[7], 以及将上述方法相结合, 例如: 将彩色边缘检测与区域生长相结合, 将颜色与数学形态学相结合的车牌定位方法.

本文提出一种彩色图像车牌定位方法 LPLCCED (License plate locating based on CNN color edge detection). 首先提出基于细胞神经网络 (Cell neural network, CNN) 的分块自适应彩色图像边缘检测算法. 然后在此算法的基础上构造了一种新的车牌定位方法, 步骤为: 1) 在对彩色图像边缘检测的同时, 加入边缘颜色对的约束条件; 2) 边缘滤波; 3) 根据车牌结构和纹理特征判别验证. 该方法充分利用了车牌的颜色特征, 去除非车牌区域的边缘点, 直接对彩色图像中的车牌定位, 提高车牌定位的准确率和定位速度. 该方法无车牌大小、位置、倾斜的限制, 对噪声、光照具有鲁棒性. 达到了很好的定位效果.

收稿日期 2008-08-25 收修改稿日期 2009-03-09
Received August 25, 2008; in revised form March 9, 2009
1. 辽宁工程技术大学软件学院 葫芦岛 125105 2. 铁岭师范高等专科学校理工学院 铁岭 112300 3. 北京科技大学信息工程学院 北京 100083
1. School of Software Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105 2. School of Polytechnic Engineering, Tieling Normal College of Liaoning, Tieling 112300 3. School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083
DOI: 10.3724/SP.J.1004.2009.01503

1 车牌定位算法

1.1 车牌定位问题的特点

1.1.1 车牌的特点

我国车牌具有一些显著特征. 其中最主要的是颜色特征、结构特征和纹理特征. 1) 车牌背景与字符具有固定的颜色搭配, 即白底黑字或红字(白牌), 蓝底白字(蓝牌), 黑底白字(黑牌) 和黄底黑字(黄牌). 2) 车牌大小变化有一定范围, 存在最大长度和高度. 车牌的边框是线段围成的有规则的矩形, 字符位于矩形框中且有间隔. 3) 车牌区具有排列基本均匀的字符, 在图像上表现为一定的纹理特征, 它们基本呈水平排列, 在矩形内部存在较丰富的边缘.

1.1.2 车牌定位的难点

车牌定位是通过车牌区域的特征来判断牌照位置, 车牌定位的准确与否直接关系到车牌识别的精度和速度. 对车牌区域实现自动定位存在如下难点: 1) 车牌位置在车辆图像中不确定; 2) 抓拍图像易受环境因素干扰, 使车牌精确定位难点较大; 3) 复杂背景的干扰, 包括其他字符区域的干扰以及有类似车牌纹理特征的干扰, 导致车牌难以准确定位; 4) 照片质量很难保证, 当车牌出现污点、变脏、笔迹模糊、褪色以及车牌磨损等, 有效定位率下降; 5) 噪声干扰, 摄像机畸变及图像传输设备的电子噪声等, 使得到的车辆图像模糊, 牌照区域不明显, 从而给提取车牌区域带来很大困难; 6) 运动图像的模糊失真, 形成锯齿; 7) 车牌被部分遮挡.

1.2 对边缘检测算法的要求

根据车牌定位问题的特点, 对边缘检测算法要求如下: 1) 要求边缘检测方法可并行计算和便于硬件实现; 2) 边缘定位准确, 无像素偏移, 有效抑制噪声; 3) 可以在彩色空间内对各分量整体处理, 充分利用彩色图像中携带的彩色信息; 4) 能够根据图像中各个区域的性质自适应地选择合适的参数进行边缘检测; 5) 要求边缘非二值, 为边缘滤波提供条件. 6) 不要求单像素边缘, 不要求连续封闭边缘.

1.3 本文算法的特点

本文采用的是基于边缘检测的车牌定位方法, 要实现车牌的准确定位, 首先要解决边缘检测的问题. 使用哪种边缘检测算法必须根据实际问题的需要来进行选择. 本文提出了基于 CNN 的分块自适应彩色图像边缘检测算法, 特点如下:

1) 1988 年由 Chua 等提出用 CNN 来检测图像边缘^[8-9]. CNN 方法最突出的优点是: 能高速并行计算, 且处理速度与图像大小无关, 便于硬件实现, 多值输出. 2) 目前, CNN 在灰度图像边缘检测中的

应用已经比较成熟, 与其他算法^[1-4] 的对比实验表明 CNN 能够实现边缘的准确定位. 3) 选择在 HVS 彩色空间内对彩色向量整体处理, 并通过 CNN 的鲁棒性设计, 提出一种基于 CNN 的彩色边缘检测算法, 继承了 CNN 的优点又弥补了 CNN 现有算法不能处理彩色图像的空白. 4) 为了使检测结果能够在去除噪声的同时保证边缘定位的准确性, 根据图像中各个子区域的不同性质, 利用图像单元信息熵进行分块, 提出对整幅图像进行分块自适应检测.

本文提出的边缘检测算法已满足第 1.2 节中的要求, 接下来讨论如何根据边缘检测方法实现车牌定位.

车牌背景与字符具有固定的颜色搭配, 为了在进行车牌定位时充分利用图像中的颜色信息, 将这个约束条件加入图像边缘检测算法中(这是灰度图像边缘检测算法无法实现的), 在边缘提取的同时去除大量不符合车牌颜色特征边缘点, 解决了车牌定位难点中的 1)~4). 本文边缘检测方法能够融合边缘颜色对约束条件的原因主要有两个: 1) 彩色的边缘检测, 直接对彩色图像进行处理; 2) 采用 CNN 以及对图像分块, 达到边缘定位准确, 这样才能很好地融合颜色对, 只有在边缘定位准确的情况下判断边缘两边的颜色对才有意义.

本文的边缘检测算法已经抑制了大部分由噪声产生的边缘, 为了进一步解决噪声的问题, 提出一种针对车牌特征边缘滤波算法. 边缘滤波算法的另一个重要作用是滤除大部分干扰信息, 去除边缘图像中非车牌区域的边缘, 从而突出车牌区域, 解决了车牌定位难点中的 4) 和 5). 对于难点 6), 模糊图像中灰度边缘不明显, 但是彩色边缘往往还是能检测出来, 锯齿是摄像机隔行扫描造成的, 会造成进一步边缘检测检测出的边缘错位, 这个问题对定位影响不大, 主要是对字符识别阶段影响比较大.

综上所述, 本文算法能够满足车牌定位问题中对边缘检测算法的要求, 并解决了车牌定位的难点.

1.4 车牌定位算法流程

见下页图 1.

2 彩色边缘检测

2.1 具有边缘颜色对约束的彩色边缘检测

2.1.1 边缘颜色对^[10]

定义. 设颜色集合 $C = \{c_i | i = 1, 2, \dots, n\}$, 对图像任一边缘点 A , 以 A 为中心垂直于 A 的边缘方向取一个 $1 \times (2m+1)$ 的线形窗口, 则窗口内 A 点两侧像素的颜色构成一个二元对, 称 $COCP$ 为边缘点 A 的边缘颜色对, $COCP = \{(c_i, c_j) | i, j = 1, 2, \dots, n \text{ 且 } i \neq j\}$.

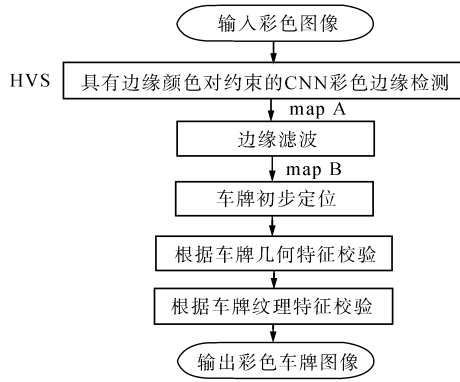


图 1 车牌定位算法流程图

Fig. 1 Flow chart for vehicle license plate locating algorithm

如图 2 所示, 以蓝底白字“1”为例说明边缘颜色对的概念. $Color(x) = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ 表示像素 x 所对应的颜色分别为: 其他色、蓝色、白色、黑色、红色、黄色. 在左边的垂直边缘 $e1$ 上任取一边缘点 A , 过 A 点做一垂直于其边缘方向的 $1 \times (2m+1)$ 线形窗口 (图中以虚线表示). 在 A 点左侧取一点 B_1 , 右侧取一点 B_2 , 则 $Color(B_1) = 1, Color(B_2) = 2$. 边缘点 A 左右两侧像素具有固定颜色搭配 (蓝色, 白色), 用 $COCP = (1, 2)$ 表示, 称边缘点 A 的边缘颜色对. 同理, 右边的垂直边缘 $e2$ 上的边缘颜色对为 $COCP = (2, 1)$. 我们只关心边缘点两侧垂直于边缘方向的像素的颜色组合, 因此, $COCP = (1, 2)$ 等价于 $COCP = (2, 1)$. 根据车牌的颜色特征, 边缘颜色对集合为 $VCOCP = \{(1, 2), (2, 3), (2, 4), (5, 3)\}$.

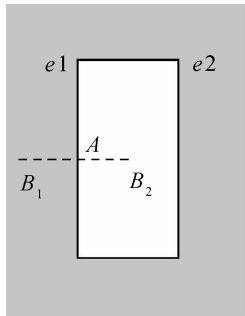


图 2 边缘点 A 的边缘颜色对示意图

Fig. 2 Illustration of edge color pair at point A

2.1.2 彩色空间的选择、彩色空间距离计算

在彩色空间中, RGB 彩色空间的表达最容易得到, 但是它并不能很好地模拟人类对颜色的视觉感知, 人们很难将某 RGB 值与某一确定的颜色直观地对应起来. 近几年来, 基于 HVS 的应用出现在众多研究领域. 为了较好地对彩色图像进行边缘检测, 结合人类视觉系统 (Human vision system, HVS) 的特点, 把颜色看作一个矢量, 分别计算两个颜色的亮度距离和色度距离, 然后将这两个距离的加权平均

值作为最终的颜色距离^[11].

对任一个 RGB 颜色 $C(R, G, B)$, 亮度值公式为:

$$I_c = 0.299R + 0.587G + 0.144B \quad (1)$$

颜色的亮度距离、色度距离计算公式为:

$$\Delta l = |I_A - I_B| = |D_{A,B}|$$

$$\Delta c = \min \left(d \times \eta \times \frac{255}{\sqrt{2}}, 255 \right) \quad (2)$$

最后颜色距离为:

$$D_{A,B} = f_{win} \times \left(\frac{w_l \times \Delta l + w_c \times \Delta c}{w_l + w_c} \right) \quad (3)$$

其中, $D_{A,B}$ 的取值范围为 $[0, 255]$. f_{win} 为窗口函数.

2.1.3 CNN 的鲁棒性设计

1) CNN 的数学描述^[8]

一个标准的 $M \times N$ 的 CNN 由 $M \times N$ 个细胞排列在 M 行 N 列的长方形矩阵中, 第 i 行第 j 列的细胞用 $C(i, j)$ 表示.

标准 CNN 的状态方程为

$$\dot{x}_{i,j} = -x_{i,j} + \sum_{C_{i+k,j+l} \in S_r(i,j)} a_{k,l}(i,j,t)y_{i+k,j+l} + \sum_{C_{i+k,j+l} \in S_r(i,j)} b_{k,l}(i,j,t)u_{i+k,j+l} + z_{i,j}(i,j,t) = -x_{i,j} + \sum_{k=-r,l=-r}^r \sum_{k=-r,l=-r}^r a_{k,l}y_{i+k,j+l} + \sum_{k=-r,l=-r}^r \sum_{k=-r,l=-r}^r b_{k,l}u_{i+k,j+l} + z_{i,j} = -x_{i,j} + A(y_{i,j}) + B(u_{i,j}) + z_{i,j} \quad (4)$$

标准 CNN 的输出方程为

$$y_{i,j} = \frac{1}{2} (|x_{i,j} + 1| - |x_{i,j} - 1|),$$

$$i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

如图 3 所示. 式中 $x_{i,j}, y_{i,j}, u_{i,j}, z_{i,j}$ 为标量, 分别称为细胞的状态、输出、输入和阈值. 参数 r 称为影响球半径, 参数 $a_{k,l}$ 和 $b_{k,l}$ 分别称为 A -模板和 B -模板. 适当选择 CNN 参数, 可以实现不同的图像处理功能.

2) CNN 模板设计

定义 CNN 模板如下:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b_{-1,-1} & b_{-1,0} & b_{-1,1} \\ b_{0,-1} & 0 & b_{0,1} \\ b_{1,-1} & b_{1,0} & b_{1,1} \end{bmatrix}, Z = z$$

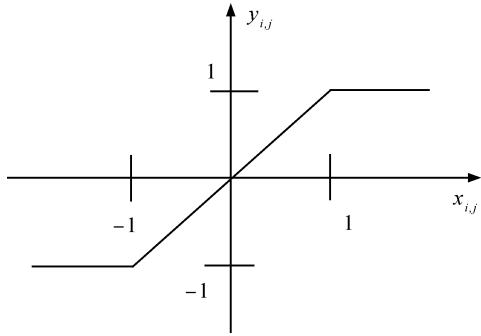


图 3 标准非线性输出函数

Fig. 3 Standard non-linear output function

这里 $a > 1$, $b_{k,l}$ 为非线性函数 $b_{k,l}(\Delta u)$, 如图 4 所示, 根据 CNN 的数学描述和第 2.1.2 节计算出的 HVS 彩色空间距离, 可得

$$\Delta u = f_{\text{win}} \left[\frac{w_l(u_{i,jL} - u_{i+k,j+lL}) + w_c(u_{i,jL} - u_{i+k,j+lL})}{w_l + w_c} \right]$$

$$b_{k,l} = \begin{cases} c, & \text{若 } |\Delta u| > g \\ -1, & \text{否则} \end{cases} \quad (6)$$

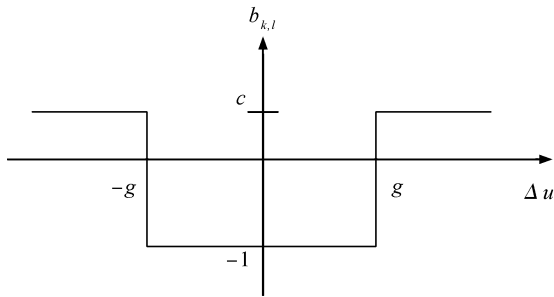


图 4 $b_{k,l}(\Delta u)$ 的非线性函数

Fig. 4 Non-linear function of $b_{k,l}(\Delta u)$

3) 全局功能

a) 给定一个 $M \times N$ 像素的静态彩色图像 U , 作为 CNN 的输入量, $u_{i,j}$ 表示输入初始图像 U 中第 (i, j) 个像素的值, 则 $U = (u_{i,j})_{M \times N}$; b) 给定初始状态为 $X(0) = (x_{i,j}(0))_{M \times N}$, 取 $x_{i,j}(0) = 0$; c) 选择循环边界条件; d) 最终输出的边缘图像为 Y , $Y \Rightarrow Y(\infty) = (y_{i,j}(\infty))_{M \times N}$; e) 用 CNN 检测彩色图像边缘就是将输入的彩色图像 U 映射成输出的边缘图像 Y , 即 $F : U \rightarrow Y$, 通过分析图像中边缘点的特点建立适当的局部规则, 进而构造 CNN 模板参数的取值.

4) 局部规则^[12]

局部规则 1: 当相邻 8 个像素点中至少有 3 个像素满足时, 任意像素的输出为黑色 (黑色对应 +1), 则为 +1, 像素点为边缘点.

局部规则 2: 当相邻 8 个像素点中至多有两个像素满足时, 任意像素的输出为白色 (白色对应 -1), 则为 -1, 像素点为非边缘点.

5) 数学分析

实际应用中, 取 $r = 1$, 根据式 (4) 得到 CNN 的状态 - 输出方程具有如下形式:

$$\begin{aligned} \dot{x}_{i,j} = & -x_{i,j} + \underbrace{\sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 a_{k,l} y_{i+k,j+l}}_{g(x_{i,j})} + \\ & \underbrace{\sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 b_{k,l} u_{i+k,j+l}}_{w_{i,j}} + z = \\ & g(x_{i,j}) + w_{i,j} \end{aligned} \quad (7)$$

$$g(x_{i,j}) = -x_{i,j} + ay_{i,j} \quad (8)$$

$$w_{i,j} = z + \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 b_{k,l} (u_{i+k,j+l}) \quad (9)$$

根据式 (5) 得:

$$y_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{若 } x_{i,j} > 1 \\ x_{i,j}, & \text{若 } -1 \leq x_{i,j} \leq 1 \\ -1, & \text{若 } x_{i,j} < -1 \end{cases} \quad (10)$$

将式 (10) 代入式 (8) 可得:

$$g(x_{i,j}) = \begin{cases} -x_{i,j} + a, & \text{若 } x_{i,j} > 1 \\ -x_{i,j} + ax_{i,j}, & \text{若 } -1 \leq x_{i,j} \leq 1 \\ -x_{i,j} - a, & \text{若 } x_{i,j} < -1 \end{cases} \quad (11)$$

将式 (11) 代入式 $\dot{x}_{i,j} = g(x_{i,j}) + w_{i,j}$ 可得:

$$\dot{x}_{i,j} = \begin{cases} -x_{i,j} + a + w_{i,j}, & \text{若 } x_{i,j} > 1 \\ (a-1)x_{i,j} + w_{i,j}, & \text{若 } -1 \leq x_{i,j} \leq 1 \\ -x_{i,j} - a + w_{i,j}, & \text{若 } x_{i,j} < -1 \end{cases} \quad (12)$$

根据式 (12), 当过 $(-1, 0)$ 点时, $w_{i,j} = a - 1$, 画出动力学曲线, 如图 5 所示的虚线 d_1 . 当过 $(1, 0)$ 点时, $w_{i,j} = 1 - a$, 画出动力学曲线, 如图 5 所示的虚线 d_2 . d_1 和 d_2 属于临界状态的情况. 根据 $w_{i,j}$ 的不同取值范围, 可以得到三类动力学曲线: a) 当 $w_{i,j} > a - 1$ 时, 动力学曲线在 d_1 上方的区域, 即区域 I. 画出其中的一条动力学曲线 c_1 , 它与 $x_{i,j}$ 轴有一个交点为 Q_1 . b) 当 $1 - a \leq w_{i,j} \leq a - 1$ 时, 动力

学曲线在 d_1 和 d_2 之间的区域, 即区域 II. 画出其中的一条动力学曲线 c_2 , 它与 $x_{i,j}$ 轴有三个交点分别为 Q_2, Q_3, Q_4 . c) 当 $w_{i,j} < 1-a$ 时, 动力学曲线在 d_2 下方的区域, 即区域 III. 画出其中的一条动力学曲线 c_3 , 它与 $x_{i,j}$ 轴有一个交点为 Q_5 .

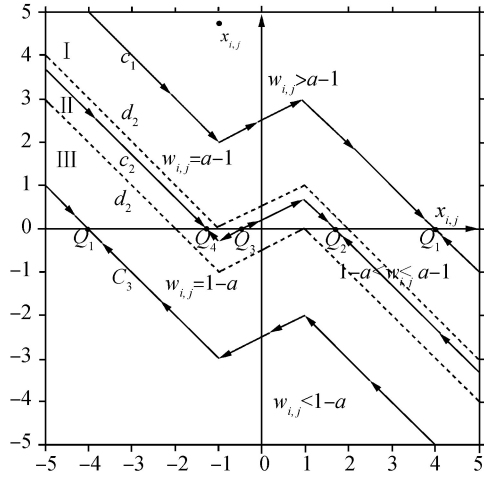


图 5 动力学曲线图

Fig. 5 The dynamic curves of $\dot{x}_{i,j} - x_{i,j}$

对图 5 中动力学曲线方向的说明:

- a) 当动力学曲线在 $x_{i,j}$ 轴上方时, $\dot{x}_{i,j} > 0$, 动力学曲线向 $x_{i,j}$ 增大的方向移动直到 $\dot{x}_{i,j} = 0$ 时停止.
- b) 当动力学曲线在 $x_{i,j}$ 轴下方时, $\dot{x}_{i,j} < 0$, 动力学曲线向 $x_{i,j}$ 减小的方向移动直到 $\dot{x}_{i,j} = 0$ 时停止.

从图 5 可以看出:

- a) 动力学曲线 c_1 , 当 $x_{i,j}(0) \in (-\infty, \infty)$ 时, 沿图中箭头所示方向移动, 最终收敛点为 Q_1 , 由于 $w_{i,j} > a-1$ 则 Q_1 点的 $x_{i,j} > 1$, 根据式 (5) 得 $y_{i,j}(\infty) = 1$.
- b) 动力学曲线 c_2 与 $x_{i,j}$ 轴有 3 个交点 Q_2, Q_3, Q_4 , 当 $\dot{x}_{i,j} = 0$ 时, $(a-1)x_{i,j} + w_{i,j} = 0$ 可得到在 $x_{i,j}$ 上交点 Q_3 的横坐标为 $-w_{i,j}/a-1$, 需要考虑 3 种情况: 当 $x_{i,j}(0) = -w_{i,j}/a-1$ 时, Q_3 点为收敛点, 因为 $\dot{x}_{i,j} = 0$, 则该点不再移动, 由式 (5) 可得 $y_{i,j}(\infty) = -w_{i,j}/a-1$; 当 $x_{i,j}(0) > -w_{i,j}/a-1$ 时, 沿图中箭头所示方向移动, 最终收敛于 Q_2 点, 该点 $x_{i,j} \geq 1$, 由式 (5) 可得 $y_{i,j}(\infty) = 1$; 当 $x_{i,j}(0) < -w_{i,j}/a-1$ 时, 沿图中箭头所示方向移动, 最终收敛于 Q_4 点, 该点 $x_{i,j} \leq -1$, 由式 (5) 可得 $y_{i,j}(\infty) = -1$.
- c) 动力学曲线 c_3 , 当 $x_{i,j}(0) \in (-\infty, \infty)$ 时, 沿图中箭头所示方向移动, 最终收敛点为 Q_5 , 由于 $w_{i,j} < 1-a$, 则 Q_5 点的 $x_{i,j} < -1$, 根据式 (5) 得 $y_{i,j}(\infty) = -1$.

由上面的分析可以得出:

$$y_{i,j}(\infty) =$$

$$\begin{cases} 1, & w_{i,j} > a-1, x_{i,j}(0) \in (-\infty, \infty) \\ 1, & 1-a \leq w_{i,j} \leq a-1, x_{i,j}(0) > -\frac{w_{i,j}}{a-1} \\ -\frac{w_{i,j}}{a-1}, & 1-a \leq w_{i,j} \leq a-1, x_{i,j}(0) = -\frac{w_{i,j}}{a-1} \\ -1, & 1-a \leq w_{i,j} \leq a-1, x_{i,j}(0) < -\frac{w_{i,j}}{a-1} \\ -1, & w_{i,j} < a-1, x_{i,j}(0) \in (-\infty, \infty) \end{cases} \quad (13)$$

设 p_s 为满足 $|\Delta u| \leq g$ 的相邻像素的个数, 设 p_d 为满足 $|\Delta u| > g$ 的相邻像素的个数. 由式 (6) 和 (9) 可得: $w_{i,j} = z - p_s + cp_d = z - (8 - p_d) + cp_d = z - 8 + (1 + c)p_d$.

6) 定理 1. 在上述模板条件下, CNN 满足彩色图像边缘检测的功能, 当且仅当以下条件成立

$$\begin{aligned} a &> 1 \\ z + 3c &> 5 \\ z + 2c &< 6 \end{aligned} \quad (14)$$

证明. 根据局部规则 1, 如果像素点 $u_{i,j}$ 有至少 3 个相邻的点满足 $|\Delta u| > g$, 则 $y_{i,j}(\infty) = 1$. 得到:

$$w_{i,j} = z - 8 + (1 + c)p_d \geq z - 8 + (1 + c)3$$

为了得到 $y_{i,j}(\infty) = 1$, 根据式 (13) 需要满足 $w_{i,j} > a-1$ 或满足 $x_{i,j}(0) > -w_{i,j}/a-1$ 和 $1-a \leq w_{i,j} \leq a-1$, 又因为定义 CNN 模板时取 $a > 1$, 全局功能中已设定初始条件为 $x_{i,j}(0) = 0$, 则:

$$\left. \begin{aligned} a &> 1 \\ w_{i,j} &> a-1 \end{aligned} \right\} \Rightarrow w_{i,j} > 0$$

$$\left. \begin{aligned} x_{i,j}(0) &= 0 \\ x_{i,j}(0) &> -\frac{w_{i,j}}{a-1} \\ a &> 1 \\ 1-a &\leq w_{i,j} \leq a-1 \end{aligned} \right\} \Rightarrow 0 > -\frac{w_{i,j}}{a-1}$$

$$0 < w_{i,j} \leq a-1$$

$$(w_{i,j} > 0) \cup (0 < w_{i,j} \leq a-1) \Rightarrow w_{i,j} > 0$$

那么在 $x_{i,j}(0) = 0$ 的初始条件下, 当且仅当 $w_{i,j} \geq z - 8 + (1 + c)3 > 0 \Leftrightarrow z + 3c > 5$ 成立时, $y_{i,j}(\infty) = 1$. 满足局部规则 1, 得到 $z + 3c > 5$.

根据局部规则 2, 如果像素点 $u_{i,j}$ 有至多两个相邻的点满足 $|\Delta u| > g$, 则 $y_{i,j}(\infty) = -1$. 得到:

$$w_{i,j} = z - 8 + (1 + c)p_d \leq z - 8 + (1 + c)2$$

为了得到 $y_{i,j}(\infty) = -1$, 根据式 (13) 需要满足 $w_{i,j} < a-1$ 或 $x_{i,j}(0) < -w_{i,j}/a-1$ 和

$1 - a \leq w_{i,j} \leq a - 1$, 则:

$$\left. \begin{array}{l} a > 1 \\ w_{i,j} < a - 1 \end{array} \right\} \Rightarrow w_{i,j} < 0$$

$$\left. \begin{array}{l} x_{i,j}(0) = 0 \\ x_{i,j}(0) < -\frac{w_{i,j}}{a-1} \\ a > 1 \\ 1 - a \leq w_{i,j} \leq a - 1 \end{array} \right\} \Rightarrow 0 < -\frac{w_{i,j}}{a-1}$$

$$1 - a \leq w_{i,j} < 0$$

$$(w_{i,j} < 0) \cup (1 - a \leq w_{i,j} < 0) \Rightarrow w_{i,j} < 0$$

那么在 $x_{i,j}(0) = 0$ 的初始条件下, 当且仅当 $w_{i,j} \leq z - 8 + (1 + c)2 < 0 \Leftrightarrow z + 2c < 6$ 成立时, $y_{i,j}(\infty) = -1$. 满足局部规则 2, 得到 $z + 2c < 6$. \square

2.1.4 基于 CNN 的分块自适应检测算法

1) 算法步骤

分块自适应边缘检测算法步骤如下^[12]: a) 将待检测的 $N \times M$ 的彩色图像, 分成大小为 $n \times m$ 的若干子区域. b) 计算图像各子区域的单元信息熵. 在 HVS 颜色空间中, 图像的熵 H 表示为 $H = H_H + H_V + H_S$. c) 计算图像各子区域单元信息熵, 并求出熵的最大值、最小值和平均值^[12]. 在最大值和平均值之间进行三等分, 从最大值到 2/3 处属于边缘区, 剩余 1/3 属于复合区, 在平均值和最小值之间进行三等分, 从平均值到 1/3 处属于复合区, 剩余 2/3 属于平滑区, 实现用熵值动态地判断各子区域的性质. d) 根据各子区域的性质, 采用合适的 g 值. 平滑区域取 $g = 0.2$, 复合区域取 $g = 0.15$, 边缘区域取 $g = 0.1$. e) 将常数 g 变成 $N \times M$ 的矩阵 G , 将其代入上节中得到的 CNN 模板中, 得到新的 CNN 模板.

2) 实验分析及评价

采用 512 像素 \times 512 像素彩色合成图加入 0.05 椒盐噪声进行测试, 如图 6(a) 所示, 图中 A、B、C 三个区域亮度相同, 色调和饱和度不同, 则这三个区域具有相同的灰度级别. 对图 6(a) 边缘检测的对比结果如图 6(b)~(d) 所示. 可以看出: a) 图 6(b) 和图 6(c) 只检测出 2 条边缘线, 图 6(c) 的 2 条线属于标准的直线, 而图 6(b) 的 2 条线受到噪声的干扰呈现小的波浪线. 证明基于 CNN 的边缘检测定位准确, 无像素偏移. b) 图 6(d) 检测出所有的边缘, 为直线. 非边缘区域产生的伪边缘较少. 证明彩色边缘检测能获得更多的边缘信息, 漏减率低, 不致因噪声造成虚假检测. c) 图 6(d) 中 2 条边缘线附近区域含有小的噪声点, 是由于分块自适应检测时, 在图像

的边缘区取较小的域值, 抗噪性相对较差, 但不影响边缘的准确定位. 在图像的平滑区无小的噪声点, 是由于取了较大的域值, 达到了很好的抗噪效果. d) 图 6(d) 的四周有边缘线及噪声点, 这是由于采用了循环边界条件形成的.

为了定量地分析该算法的优越性, 采用文献 [13] 中所用的定量评价标准. 定量评价公式为:

$$FOM = \frac{1}{\max\{I_D, I_I\}} \sum_{k=1}^{I_D} \frac{1}{1 + \alpha(d_k)^2} \quad (15)$$

式中, I_I 是理想状态下边缘点数目, I_D 是检测出的边缘点的数目. d_k 是第 k 个检测出的边缘点与理想边缘点的距离, d_k 越小检测的越准确, d_k 越大越不准确. α 表示一个常数系数, 当检测出的边缘点是主边缘线上的点时, $\alpha = 1$, 当检测出的边缘点是孤立的或分支边缘线上的点时, $\alpha = 0.2$. 当检测出的边缘图与理想边缘图完全一致时 $FOM = 1$, 随着检测误差增大, 偏移点逐渐增多, FOM 的值将会减小到趋近于 0.

表 1 列出了用实验中各种算法对合成图加入不同密度的椒盐噪声所得到的评价指标值. 从表中可以看出随着噪声密度的增加, 本文算法 FOM 值明显大于其他算法 FOM 值, 说明本文算法在对含有噪声图像进行边缘检测时, 对强噪声的去噪效果更加明显.

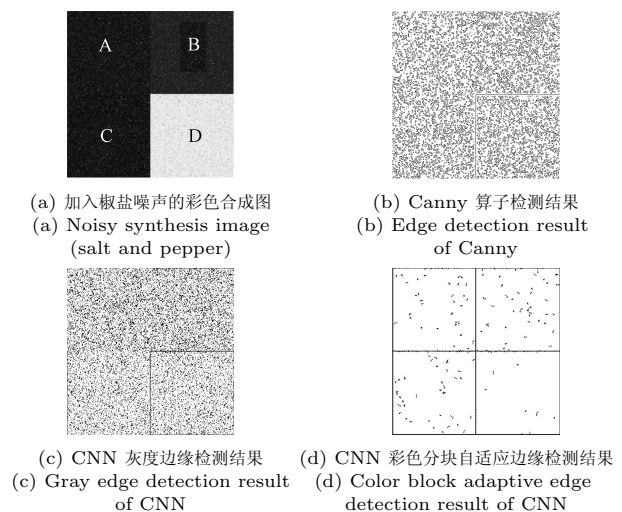


图 6 对加噪合成图的边缘检测结果

Fig. 6 Edge detection results of noisy synthesis image

表 1 检测结果的 FOM 值比较

Table 1 Results of FOM comparison

噪声密度 (椒盐)	Canny 检测	CNN 灰度检测	CNN 彩色分块自适应检测
0.05	0.8213	0.8563	0.9584
0.3	0.7421	0.7742	0.9183
0.5	0.6347	0.6908	0.8609

2.1.5 加入边缘颜色对约束条件的检测算法

算法描述: 利用上节得到的 CNN 模板进行边缘检测时, 对检测到的每一个边缘点求出边缘颜色对, 如果属于第 2.1.1 节得出的边缘颜色对的集合, 则保留该边缘点, 否则将此灰度置 0. 具体步骤为先在线形窗口内边缘点的一侧搜寻具有底色或字符颜色的像素, 若找不到, 说明它不是车牌边缘点, 在边缘图像中去掉它; 若找得到, 则在另一侧搜寻具有和此颜色配对的另一颜色的像素, 若找不到, 说明它也不是车牌边缘点, 同样在边缘图像中去掉此边缘; 若找得到, 说明它可能是车牌边缘点, 在边缘图像中保留它.

对比实验: 图 7(b) 和 (d) 对比可证明, 在第 2.1.4 节算法中加入边缘颜色对约束条件后, 去掉了不符合条件的边缘点; 图 7(c) 和 (d) 对比可证明第 2.1.4 节算法在保证了边缘定位准确的同时有效地去除了噪声.

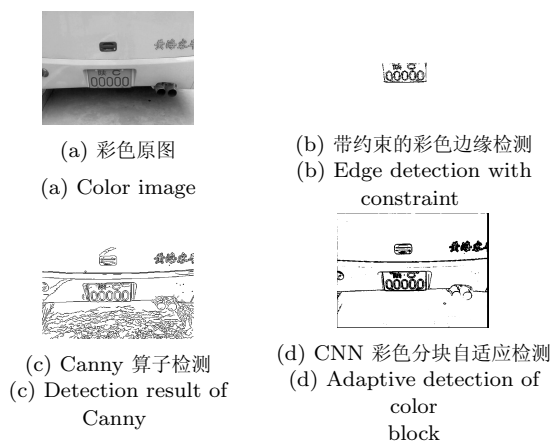


图 7 边缘检测对比结果

Fig. 7 Contrast of edge detection results

2.2 边缘滤波

当背景有与车牌区域类似的颜色对时, 需要边缘滤波, 边缘滤波的目的是: 去除由噪声引起的伪边缘. 第 2.1 节边缘检测结果记为 map A, map A 包含图像中车牌的边缘, 其中也包含由噪声引起的满足边缘颜色对条件的伪边缘. 本文设计的边缘滤波主要考虑以下几个要求: 1) 过滤 map A 中边缘强度小的边缘点; 2) 过滤 map A 中“短”的边缘链; 3) 过滤 map A 中“弱”的边缘链.

边缘滤波步骤如下: 1) 设定高、低阈值, 边缘链长度阈值, 边缘链强度阈值. 2) 连接相邻的边缘点, 强度大于高阈值的点留下, 强度小于低阈值的点去除, 强度介于高、低阈值之间的点, 如果能与高阈值的点连接在一条边缘链上则留下, 否则去除. 得到若干条边缘链的集合. 3) 在 2) 的基础上过滤边缘链集合中长度小于边缘链长度阈值的边缘链. 4)

在 3) 的基础上过滤边缘链集合中平均强度的边缘链: a) 连接过程中优先搜索使边缘走向光滑的点, 例如边缘链中上一个边缘点在本边缘点的“左下”, 则优先搜索本边缘点的“右上”位置, 其次是“右”位置、“上”位置, 再次是“左上”位置、“右下”位置, 最后是“左”位置、“下”位置. 其他情况同理. b) 在优先级相同的情况下, 在 8 邻域内优先搜索强度较大的边缘点. c) 边缘单链连接结束后还要返回起始点向相反方向搜索. d) 如果将边缘分支考虑进去, 可以在主链连接结束后, 依次以主链上每点作为起始点搜索分支, 搜索到的分支点记入主链. 此过程可递归, 最好设置一个最大递归深度, 避免递归次数过多. map A 经过边缘滤波后得到 map B.

选择背景复杂的彩色图像如图 8(a), 用第 2.1 节算法检测结果为图 8(b), 边缘滤波后去掉了与车牌区域有类似颜色对形成的边缘, 得到滤波后的边缘为图 8(c).

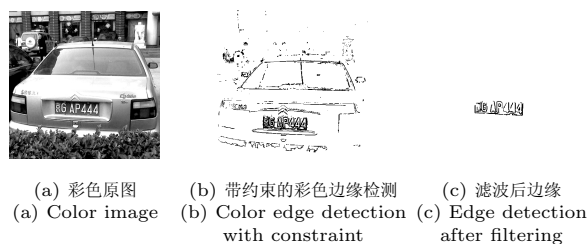


图 8 边缘滤波结果

Fig. 8 Results of edge filter

2.3 车牌初步定位

根据数学形态学的膨胀运算, 对第 2.1 节得到的边缘图生成连通区域图像, 若只有一个连通区域, 则可初步认定为车牌的图像, 再根据车牌的结构和纹理特征进行校验, 如果满足, 则根据连通区域位置从原彩色图像中提取出相应的区域; 若连通区域不止一个, 则再根据车牌的结构和纹理特征进行判断, 通过层层筛选, 可确定真实的车牌区域, 并从原彩色图像中提取该区域.

3 车牌特征校验

3.1 根据车牌结构特征验证

根据车牌结构特征中的长宽比和面积比的范围, 来判断或验证该区域是否为车牌区域. 1) 长宽比范围确定. 车牌为矩形, 长宽有一定的比例, 对于车前部的车牌, 其尺寸均为长 44 cm, 宽 14 cm, 则长宽比为 3.14, 考虑到拍摄及倾斜等原因, 长宽比的取值范围约在 2~4 之间. 2) 面积比范围确定. 对于普通车牌而言, 车牌内的字符区域与车牌底色区域之间的面积比通常是在一个范围内的. 可计算如下的两种极端情况: “川 L 11 111” 和 “赣 B 88 888”, 将这

两种情况作为比值大小的范围边界. 计算结果为最小比值为 0.43135, 最大比值为 3.58111. 可设置面积比的取值范围约在 0.4~3.6 之间.

3.2 根据车牌纹理特征验证

对初步定位的车牌边缘图像进行水平扫描, 统计每行边缘点的数量 N , 每行边缘点间距 L , 若在一定范围内 $N \in [n_{min}, n_{max}], L \in [l_{min}, l_{max}]$, 则可判断或验证该区域为车牌区域.

选择背景有类似车牌颜色和纹理特征干扰的彩色图像如 9(a), 应用第 2.1 节边缘检测算法检测结果为图 9(b), 应用第 2.2 节算法滤波后结果为图 9(c), 膨胀后的连通区域为图 9(d), 车牌初步定位结果为图 9(e), 应用本节的车牌特征校验后的结果为图 9(f).

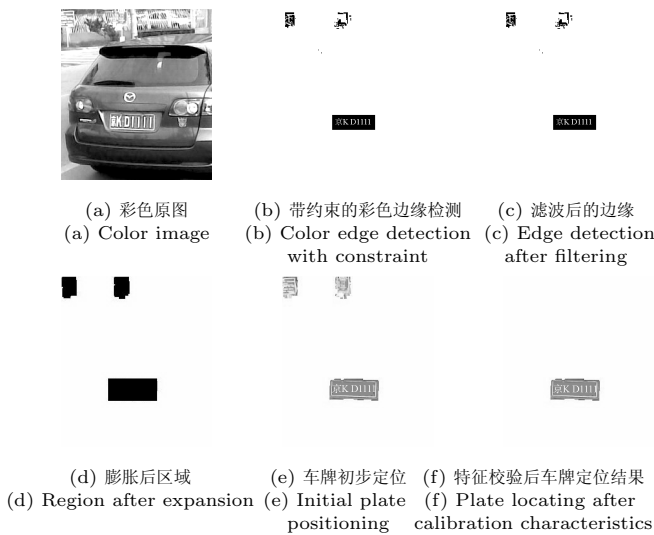


图 9 背景干扰图像的车牌定位过程及结果
Fig. 9 License plate locating process and results of background interfere image



(a) 彩色原图 (a) Color image



(b) 带约束的彩色边缘检测 (b) Color edge detection with constraint



(c) 滤波后边缘 (c) Edge detection after filtering



(d) 膨胀后区域 (d) Region after expansion



(e) 车牌定位结果 (e) The result of license plate locating



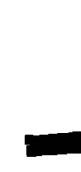
(f) 彩色原图 (f) Color image



(g) 带约束的彩色边缘检测 (g) Color edge detection with constraint



(h) 滤波后边缘 (h) Edge detection after filtering



(i) 膨胀后区域 (i) Region after expansion



(j) 车牌定位结果 (j) The result of license plate locating

图 12 车牌定位过程及结果

Fig. 12 Vehicle license plate locating process and results

4 实验结果及分析

选用实验中几幅具有各种特点的彩色图像, 图 10(a) 为背景复杂、光照不均匀的彩色图像, 图 11(a) 为模糊彩色图像, 图 12(a) 是在白天、晴天, 环境比较适宜的条件下拍摄的彩色图像, 图 12(f) 是在阴雨天气拍摄的彩色图像. 采用本文方法的定位过程及结果如图 10~12 所示.

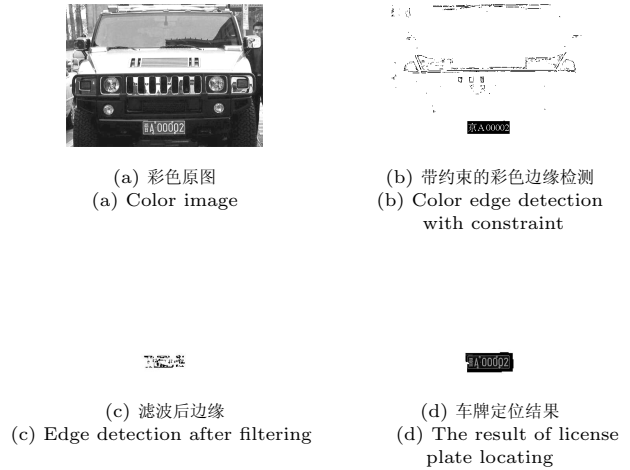


图 10 复杂图像车牌定位过程及结果
Fig. 10 License plate locating process and results of complex image background interfere image

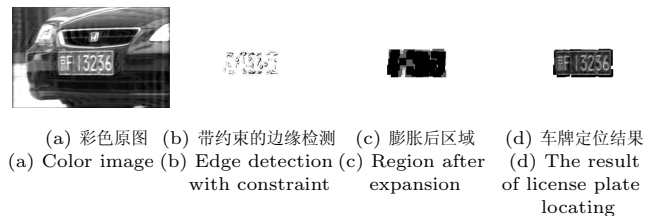


图 11 模糊图像车牌定位过程及结果
Fig. 11 License plate locating process and results of fuzzy image



(a) 彩色原图 (a) Color image



(b) 带约束的边缘检测 (b) Edge detection with constraint



(c) 膨胀后区域 (c) Region after expansion



(d) 车牌定位结果 (d) The result of license plate locating



(e) 车牌定位结果 (e) The result of license plate locating



(f) 带约束的彩色边缘检测 (f) Color edge detection with constraint



(g) 滤波后边缘 (g) Edge detection after filtering



(h) 膨胀后区域 (h) Region after expansion



(i) 车牌定位结果 (i) The result of license plate locating

图 12 车牌定位过程及结果

Fig. 12 Vehicle license plate locating process and results

为了检验本文方法的优越性, 用该方法和其他方法进行了大量的对比实验. 文献 [14] 提出一种有效的车牌定位方法, 步骤为: 1) 对汽车图像增强; 2) 利用 Sobel 算子提取垂直边缘; 3) 去除由背景和噪声引起的边缘; 4) 在得到的边缘图像中用矩形窗口搜寻车牌区域, 从原始图像中分割出车牌. 文献 [10] 提出基于边缘颜色对的车牌定位新方法, 步骤为: 1) 基于方向距离测度的彩色边缘检测; 2) 用神经网络判色并根据边缘颜色对确定车牌边缘图像; 3) 形态滤波, 剥离不符合车牌结构特征的区域; 4) 根据车牌纹理特征确定车牌区域.

本文算法在 P4 3.0 G/1 G 机器上的 VC++ 6.0 环境下实现. 用于测试的彩色图片集分为 3 组. 包含的车牌大小从 80 像素 \times 25 像素 \sim 340 像素 \times 128 像素不等. 第 1 组选取 435 幅在高速公路收费站拍摄得到的图像. 第 2 组选取 228 幅在不同光照 (强光、反光、阴影等)、天气 (晴天、阴天、雨天、扬沙天气等) 和时段 (白天、夜晚等) 拍摄得到的图像. 第 3 组选取 386 幅简单背景、复杂背景图像以及车牌倾斜、拍摄角度、大小 (远近不一致) 变化比较大的图像进行测试.

实验结果统计如表 2 所示, 分析如下: 1) 本文

方法定位精确率为 99.5%, 达到很好的鲁棒性. 其他两种方法大部分不能精确定位的图片包括: 受噪声、光照等干扰; 车牌严重褪色并污染, 导致对比度很小; 车牌过小, 倾斜角度超过一定范围等. 从表 2 数据可见, 其他两种方法鲁棒性较差. 2) 本文方法基本没有漏选的情况出现. 测试中有 1 幅图像中包含了多余区域, 原因是该区域与车牌具有完全相同的颜色、结构和纹理特征, 可以在车牌分割或识别的步骤中再次判别. 有 2 幅图像的车牌区域不完整, 是由于在车速超过一定范围时抓拍的图像, 严重模糊失真. 有 1 幅图像定位失败, 原因为车牌被遮挡. 3) 本文方法平均定位时间为 32.5 ms/幅, 与以往的算法相比, 在提高定位精确率的同时, 保证了很快的定位速度.

从表 3 可以看出, 边缘滤波后, 除了特殊情况 (图像背景中有与该图像中的车牌颜色对相同的区域), 都可以准确的定位车牌. 利用车牌特征判别是否是车牌区域的情况很少, 只有类似图 9 (a) 所示的特殊情况会用最后一步来判别, 实际上主要是为了进行检验. 判别验证约占定位时间的 1/3, 定位速度受图像背景影响较大, 背景越复杂, 定位时间越长.

表 2 用 3 种方法测试 3 组图片, 比较定位率和定位时间

Table 2 Comparison of location rates and locating times of the three methods on the three sets

参数	文献 [10] 的方法			文献 [14] 的方法			本文 LPLCCED 方法		
测试图片数量	435	228	386	435	228	386	435	228	386
精确定位数量	430	224	373	424	205	361	432	228	384
定位后含多余信息	1	0	7	5	7	16	1	0	1
定位车牌不完整	2	1	1	4	10	2	2	0	0
定位失败	2	3	5	2	5	7	0	0	1
有效定位率 (%)	99.5	98.7	98.7	99.5	99.1	98.2	100	100	99.7
		99			99			99.9	
精确定位率 (%)	98.9	98.2	97.1	97.5	89.9	93.5	99.3	100	99.5
		97.9			94.4			99.5	
平均定位时间 (ms/幅)		120			47.9			32.5	

表 3 本文方法对 3 组图片定位过程参数比较

Table 3 Parameter comparison of locating process in the proposed method on the three sets

参数	专用边缘检测算法 (边缘滤波后)				判别验证			
测试图片数量	435	228	386	1049	435	228	386	1049
已精确定位数量	429	228	374	1031	432	228	384	1044
定位后含多余信息	4	0	11	15	1	0	1	2
定位车牌不完整	2	0	0	2	2	0	0	2
未定位数量	0	0	1	1	0	0	1	1
有效定位率 (%)	100	100	99.7	99.9	100	100	99.7	99.9
精确定位率 (%)	98.6	100	96.9	98.3	99.3	100	99.5	99.5
平均执行时间 (ms/幅)			21				11.5	

通过实验证明本文方法定位准确度高、速度快、鲁棒性好,对各种环境有较强的适应性.对严重模糊失真和被遮挡车牌的正确检测,还有待进一步的工作.

5 结论

本文将提出的基于 CNN 的分块自适应彩色图像边缘检测算法,与车牌区域的颜色特征相融合,将其应用于车牌定位,取得了很好的效果.由于考虑了车牌底色与字符的固定颜色搭配,因此在车牌定位的第一步就使非车牌区域的边缘点数大大减少,突出了车牌区域,抑制了非车牌区域,使后续处理算法简单,它不仅能提供车牌的颜色信息,而且能在车牌底色与其周围颜色相近及底色褪色或图像中存在与车牌相似的结构和纹理特征的非车牌区域时,有效地提取车牌,提高了车牌定位的可靠性.实验证明,该方法具有很好的定位效果和实用性.此方法不仅对车牌定位有效,而且对特定颜色特征的彩色目标检测也有普遍意义,为彩色目标检测提供了新的思路.

References

- 1 Wu B F, Lin S P, Chiu C C. Extracting characters from real vehicle licence plates out-of-doors. *IET Computer Vision*, 2007, **1**(1): 2–10
- 2 Hong B H, Yang C H. An approach to license plate locating in intelligent transportation system. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Pervasive Computing and Applications*. Birmingham, UK: IEEE, 2007. 319–322
- 3 Faradji F, Rezaie A H, Ziaratban M. A morphological-based license plate location. In: *Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Image Processing*. Texas, USA: IEEE, 2007. 57–60
- 4 Huang Y R, Duan H. Edge detection of license plate based on wavelet transform and quantum genetic algorithm. In: *Proceedings of the SPIE on the International Society for Optical Engineering*. Wuhan, China: SPIE, 2007. 6786–6789
- 5 Novak C L, Shafer S A. Anatomy of a color histogram. In: *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Champaign, USA: IEEE, 1992. 599–605
- 6 Li G, Liu C, He M Q, Huang X Y. A location method for vehicle license plate based on color image and black-white texture. In: *Proceedings of the SPIE on Mechatronics, MEMS, and Smart Materials*. Gifu, Japan: SPIE, 2008. 67944–67949
- 7 Park S H, Kim K I, Jung K, Kim H J. Locating car license plates using neural networks. *Electronics Letters*, 1999, **35**(17): 1475–1477
- 8 Chua L O, Yang L. Cellular neural networks: theory and applications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 1988, **35**(10): 1257–1272
- 9 Chua L O. Cellular neural networks: a vision of complexity. *International Journal Bifurcation and Chaos*, 1997, **7**(10): 2219–2425

- 10 Li Wen-Ju, Liang De-Qun, Zhang Qi, Fan Xin. A novel approach for vehicle license plate location based on edge-color pair. *Chinese Journal of Computers*, 2004, **27**(2): 204–208 (李文举, 梁德群, 张旗, 樊鑫. 基于边缘颜色对的车牌定位新方法. *计算机学报*, 2004, **27**(2): 204–208)
- 11 Zhang Chuang, Chi Jian-Nan, Zhang Zhao-Hui, Jiang Qing-Ling, Wang Zhi-Liang. A novel color edge detector derived from CNN mode. *Computer Engineering and Applications*, 2008, **44**(21): 17–19 (张闯, 迟健男, 张朝晖, 姜庆玲, 王志良. 一种基于 CNN 的彩色图像边缘检测算法. *计算机工程与应用*, 2008, **44**(21): 17–19)
- 12 Jiang Qing-Ling, Liu Wan-Jun, Zhang Chuang. Color edge detection based on CNN's block adaptive. *Application Research of Computers*, 2009, **26**(3): 337–340 (姜庆玲, 刘万军, 张闯. 基于 CNN 的分块自适应彩色图像边缘检测的研究. *计算应用研究*, 2009, **26**(3): 337–340)
- 13 Abdou I E, Pratt W K. Quantitative design and evaluation of enhancement/thresholding edge detectors. *Proceedings of the IEEE*, 1979, **67**(5): 753–763
- 14 Zheng D N, Zhao Y N, Wang J X. An efficient method of license plate location. *Pattern Recognition Letters*, 2005, **26**(15): 2431–2438



刘万军 辽宁工程技术大学软件学院教授. 主要研究方向为软件理论、图像处理. E-mail: liuwanjun39@sohu.com (LIU Wan-Jun Professor at the School of Software Engineering, Liaoning Technical University. His research interest covers software theory and image processing.)



姜庆玲 铁岭师范高等专科学校理工学院讲师. 2008 年获得辽宁工程技术大学电子与信息工程学院硕士学位. 主要研究方向为图像处理与分析、软件理论及应用. 本文通信作者. E-mail: 5168375@qq.com

(JIANG Qing-Ling Lecturer at the School of Polytechnic Engineering, Tieling Normal College of Liaoning. She received her master degree from Liaoning Technical University in 2008. Her research interest covers image processing and analysis, software theory and application. Corresponding author of this paper.)



张闯 北京科技大学信息工程学院博士研究生. 主要研究方向为图像处理与分析、视线追踪、人工智能和模式识别. E-mail: zhangchuangtc@163.com (ZHANG Chuang Ph.D. candidate at the School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing. His research interest covers image processing and analysis, gaze tracking, artificial intelligence, and pattern recognition.)