

基于曲量场空间的车牌定位与识别

姜文涛¹, 刘万军², 袁 姮³

(1. 辽宁工程技术大学电子与信息工程学院, 辽宁葫芦岛 125105; 2. 辽宁工程技术大学软件学院, 辽宁葫芦岛 125105;
3. 辽宁工程技术大学工商管理学院, 辽宁葫芦岛 125105)

摘 要: 提出了一种新的采用曲量场空间描述的车牌定位与识别算法. 该算法首先在彩色车牌图像中进行亮度扫描, 然后拟合渐变梯度向量, 并以曲量子进行点阵描绘并消除彩色信息, 最后以采样的曲量子群分别融合成车身、车牌及字符的曲量子空间, 将融合的车牌、字符曲量子空间进行边缘曲量子的光滑衔接组成曲量场并提取场内曲量的空间数据及其曲量约束信息进行有损字符的修正, 识别出车牌信息. 该算法抓住了车牌的互异彩色域特征, 继而将互异彩色域特征采用具有空间连续性规律约束的曲量场进行描述识别. 大量实验表明, 该算法克服了特征域旋转、光照强度变化以及多角度有损及模糊对车牌定位与识别的影响, 具有速度快, 识别准确, 适应性强的特点.

关键词: 曲量场空间; 曲量车牌; 曲量子; 场阶维; 车牌定位与识别

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 11-2554-07

Vehicle License Plate Locating and Identifying Based on the Curved Field Space

JIANG Wen-tao¹, LIU Wan-jun², YUAN Heng³

(1. School of Electronics Information Engineering, Liaoning Technical University, Huludao, Liaoning 125105, China;
2. School of Software, Liaoning Technical University, Huludao, Liaoning 125105, China;
3. School of Business and Management, Liaoning Technical University, Huludao, Liaoning 125105, China)

Abstract: A novel approach to license plate locating and identifying based on the Curved Field Space is proposed in this paper. Firstly, by detecting the brightness information in the color vehicle image, the gradual gradient vectors are fitted, and then the dot matrix depiction with curved quantum is used to describe the gradual gradient vectors and the color information is eliminated. Then, the sampling curved quantum groups are merged into sub-curved spaces which include car's body, plate and chars. The sub-curved spaces of plate and chars which are formed of curved quantum groups constitute the curved field space by linking up with each edge curved quantum smoothly. Finally, recognition results are obtained by depth and dimension both of which are extracted from Curved Field Space. Experiments show that the proposed approach has overcome the problem of feature rotating, varied angle, wear and fuzzy chars, and achieves good locating and identifying results.

Key words: curved field space; curved license plate; curved quantum; field order dimension; vehicle license plate locating and identifying

1 引言

车牌定位与识别是计算机视觉、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, 车牌定位与识别的精确与否, 直接影响到最终智能交通管理系统的工作效率.

目前, 车牌定位与识别的研究主要有两大方向. 一种是在灰度图像中进行检测, 例如, Wu 和 Lin 等人提出了基于纹理方法的车牌识别算法^[1], 采用车牌及字符的纹理提取进行车牌定位与字符识别; 伯明翰的 Hong 和

Yang 提出了基于边缘检测的方法^[2], 通过对车牌图像的边缘滤波提取车牌信息; Faradji 等人提出了基于数学形态学方法^[3]. 其中比较经典的识别方法有矢量法、小波变换算法^[4]、形态学与小波相结合的处理方法^[5]、图像融合法^[6]等等. 近年来基于彩色图像的车牌定位与识别成为研究的热点, 主要方法包括: 基于颜色方法, 基于颜色和纹理特征的方法^[7], 基于生物遗传算法, 基于神经网络及其改进型网络的方法^[8], 基于细胞神经网络的边缘检测算法^[9~11], 以及将上述方法结合的方法, 例如: 将彩色边缘与区域生长结合, 将颜色域数学形态学

结合的车牌识别方法.

本文提出了一种新的曲量场空间描述的车牌定位与识别方法 LPLCFS (License Plate Locating based on Curved Field Space). 首先提出了曲量场 (Curved Field Space, CFS) 空间模型, 然后在此模型的基础之上构造了一种新的车牌定位与识别方法. 该算法充分利用了车身、车牌底面、车牌字符的颜色特征, 通过对三种颜色区域进行曲量拟合, 采用空间曲量子区分并描述三种颜色域, 分辨出了非车牌区域的曲量空间, 同时将车牌底面与字符拆分到不同曲量空间, 采用车牌底面的矫正参数对字符空间进行矫正与识别, 提高了车牌定位与字符识别的准确度和速度. 该方法通过曲量场空间描述提取车牌信息, 克服了车牌大小、车牌角度及倾斜的限制, 对噪声、环境光具有鲁棒性. 达到了很好的定位与识别效果.

2 曲量场空间算法

2.1 算法概念定义

定义 1 车牌-字符空间分离信息的原始空间悬浮点阵定义为曲量场, 记为 $S^{(v)} = N_i^l * N_j^c$, $v = 2$, $N \in R$, $1 \leq i \leq \max(N)$, $1 \leq j \leq \max(N)$, $1 \leq Z \leq \max(N_{x,y}, z)$ 其中: S 为曲量场模型, Z 为曲量场厚度, 原始空间悬浮点阵为二维 $v = 2$, $N_{x,y}, z$ 为拉伸后的曲量场中坐标 (x, y) 所对应的 z 轴系数, 点阵 $N^l * N^c$ 为悬浮点行列数, i 和 j 分别为点阵 D 坐标系数. 曲量场模型如图 1 所示. 此时, 最小曲量场表示如下

$$S = S^{(2)}(d_{i,j,z}) = \begin{pmatrix} d_{1,1,z} & \cdots & d_{1,l,z} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{j,1,z} & \cdots & d_{j,l,z} \end{pmatrix}, z = \min(N_{x,y}, z)$$

定义 2 曲量场所在的三维空间定义为曲量场空间, 记为

$$\phi_s^{(v)} = x_N * y_N * z_{Dep}, 1 \leq Dep \leq \max(N_{x,y}, z), v \equiv 3$$

其中: s 为曲量场, x, y, z 分别为曲量场空间坐标系数,

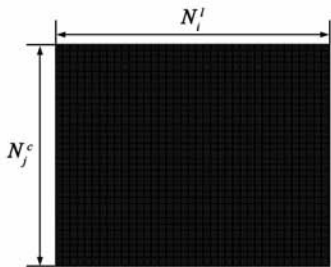


图1 曲量场模型

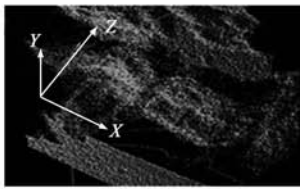


图2 曲量场空间模型

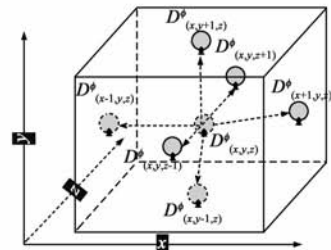


图3 曲量子的空间模型

定义 4 曲量场空间内的三种空间维数定义为三种场空间维数, 其中曲量场空间维定义为一阶维数, 记为 δ_1^s ; 曲量场空间辐射向量簇即曲量子的维定义为二

Dep 为曲量场空间深度, 最小深度为曲量场厚度 Z 的最小值 1, 此时曲量场空间深度存在且有意义. 曲量场空间模型如图 2 所示.

曲量场空间可以描述为最小曲量场的 Z 轴的 n 倍拉伸, 表示为

$$\varphi = \varphi_s^{(3)}[V(x, y, z)] = \begin{pmatrix} V(0, 0, z^+) & \cdots & V(x, 0, z^+) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ V(0, y, z^+) & \cdots & V(x, y, z^+) \end{pmatrix}$$

其中

$$V = V(x, y, z^+) = \begin{pmatrix} (x_{\equiv}, y_{\equiv}, z_1^l) & \cdots & (x_{\equiv}, y_{\equiv}, z_1^n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (x_{\equiv}, y_{\equiv}, z_Z^l) & \cdots & (x_{\equiv}, y_{\equiv}, z_Z^n) \end{pmatrix},$$

x_{\equiv}, y_{\equiv} 为 x, y 轴不变量, n 为 Z 轴的拉伸倍数, 即曲量场空间的深度, 数值 $Z \in [1, \max(N_{x,y}, z)]$.

定义 3 曲量场空间中的悬浮点 $D_{(x,y,z)}^{\phi}$ 与其临近悬浮点 $D_{(x^*, y^*, z^*)}^{\phi}$ 的空间辐射向量簇定义为曲量场空间中的曲量子, 记为

$$\eta = \eta_d^{(v)} = (D_{(x,y,z)}^{\phi(d)}, D_{(x^*, y^*, z^*)}^{\phi}) = \begin{pmatrix} (D_{(x,y,z)}^{\phi(d)}, D_{(x,y,z+1)}^{\phi}) & (D_{(x,y,z)}^{\phi(d)}, D_{(x,y,z-1)}^{\phi}) \\ (D_{(x,y,z)}^{\phi(d)}, D_{(x,y+1,z)}^{\phi}) & (D_{(x,y,z)}^{\phi(d)}, D_{(x,y-1,z)}^{\phi}) \\ (D_{(x,y,z)}^{\phi(d)}, D_{(x+1,y,z)}^{\phi}) & (D_{(x,y,z)}^{\phi(d)}, D_{(x-1,y,z)}^{\phi}) \end{pmatrix},$$

$$d = 1, 2, \dots, Z$$

其中: d 为曲量场空间中第 i 个曲量子, $i \equiv d \in [1, Z]$, 曲量子的矩阵信息为悬浮点 $D_{(x,y,z)}^{\phi}$ 与其上、下、左、右、前和后各个正面所对应的悬浮点 $D_{(x^*, y^*, z^*)}^{\phi}$ 的共六个辐射向量. 曲量子的空间模型如图 3 所示. 其中灰色球体表示场中的悬浮点.

此时单个辐射向量表示为

$$(D_{(x,y,z)}^{\phi(d)}, D_{(x^*, y^*, z^*)}^{\phi}) = \begin{pmatrix} \Delta x^* \\ \Delta y^* \\ \Delta z^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x^{*'} - x^* \\ y^{*'} - y^* \\ z^{*'} - z^* \end{pmatrix}$$

其中: $x^{*'}, y^{*'}, z^{*'}$ 分别为辐射向量的原始坐标系数.

阶维数, 记为 δ_2^s ; 单个辐射向量的维定义为三阶维数, 记为 δ_3^s , 三种场阶维数具有如下关系,

$$\delta_3^s \subset \delta_2^s \subset \delta_1^s, \epsilon \in [0, 6]$$

证明

$$\delta_1^\varepsilon = \begin{cases} x_1^\varepsilon, 0 \leq x \leq N \\ y_1^\varepsilon, 0 \leq y \leq N \\ z_1^\varepsilon, 1 \leq z \leq N \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \begin{pmatrix} x_2' & x_2'' & x_2''' \\ x_2'''' & x_2''''' & x_2'''''' \end{pmatrix} = \delta_2^\varepsilon \cdot x \\ \begin{pmatrix} y_2' & y_2'' & y_2''' \\ y_2'''' & y_2''''' & y_2'''''' \end{pmatrix} = \delta_2^\varepsilon \cdot y \\ \begin{pmatrix} z_2' & z_2'' & z_2''' \\ z_2'''' & z_2''''' & z_2'''''' \end{pmatrix} = \delta_2^\varepsilon \cdot z \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_2^\varepsilon, 0 \leq \varepsilon \leq 6 \Rightarrow \begin{cases} \|D_3^\varepsilon \cdot x' - D_3^\varepsilon \cdot x\|_2 \\ \|D_3^\varepsilon \cdot x'' - D_3^\varepsilon \cdot x\|_2 \\ \|D_3^\varepsilon \cdot x''' - D_3^\varepsilon \cdot x\|_2 \end{cases} \\ y_2^\varepsilon, 0 \leq \varepsilon \leq 6 \Rightarrow \begin{cases} \|D_3^\varepsilon \cdot y' - D_3^\varepsilon \cdot y\|_2 \\ \|D_3^\varepsilon \cdot y'' - D_3^\varepsilon \cdot y\|_2 \\ \|D_3^\varepsilon \cdot y''' - D_3^\varepsilon \cdot y\|_2 \end{cases} \\ z_2^\varepsilon, 0 \leq \varepsilon \leq 6 \Rightarrow \begin{cases} \|D_3^\varepsilon \cdot z' - D_3^\varepsilon \cdot z\|_2 \\ \|D_3^\varepsilon \cdot z'' - D_3^\varepsilon \cdot z\|_2 \\ \|D_3^\varepsilon \cdot z''' - D_3^\varepsilon \cdot z\|_2 \end{cases} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{aligned} &\left\{ \begin{aligned} \|\lambda_x' I - \beta_j\| &\Rightarrow \rho(\lambda_x' - ''') \\ \|\lambda_x'' I - \beta_j\| &\Rightarrow \rho(\lambda_x'' - ''') \\ \|\lambda_x''' I - \beta_j\| &\Rightarrow \rho(\lambda_x''' - ''') \end{aligned} \right\} \rho(\lambda_x' - ''') \\ &\left\{ \begin{aligned} \|\lambda_y' I - \beta_j\| &\Rightarrow \rho(\lambda_y' - ''') \\ \|\lambda_y'' I - \beta_j\| &\Rightarrow \rho(\lambda_y'' - ''') \\ \|\lambda_y''' I - \beta_j\| &\Rightarrow \rho(\lambda_y''' - ''') \end{aligned} \right\} \rho(\lambda_y' - ''') \\ &\left\{ \begin{aligned} \|\lambda_z' I - \beta_j\| &\Rightarrow \rho(\lambda_z' - ''') \\ \|\lambda_z'' I - \beta_j\| &\Rightarrow \rho(\lambda_z'' - ''') \\ \|\lambda_z''' I - \beta_j\| &\Rightarrow \rho(\lambda_z''' - ''') \end{aligned} \right\} \rho(\lambda_z' - ''') \end{aligned} \right\} = \delta_3^\varepsilon$$

\Rightarrow 原式成立.

其中: $\rho(\lambda_x' - ''') = \max(|\lambda|)$, 即方程 $\|\lambda_z'' I - \beta_j\|$ 的场空间的谱半径, β_j 为维度矩阵, I 为单位矩阵, 此时曲量场空间维度 ω 为 $\omega = \prod_{\substack{1 \leq i \leq 3 \\ 0 \leq j \leq 6 \\ 0 \leq k \leq 3}} \varepsilon_i \varepsilon_j \varepsilon_k$.

定义 5 设曲量场子空间 $\phi_i, i = 1, 2, \dots, n$. 的空间维度记为 $\delta(\phi_i)$, 其中 ϕ_i 由曲量子 $\eta_1 \cdots \eta_m$ 组成, 记为 $\phi_i = \text{coup}(\eta_1 \cdots \eta_m)$, 则对 ϕ_i 中任意 ϕ_i, ϕ_{i+1} 有如下空间维度衔接关系,

$$\delta(\phi_i) + \delta(\phi_{i+1}) = \delta(\phi_i + \phi_{i+1}) + \delta(\phi_i \cap \phi_{i+1})$$

且 $\phi_i + \phi_{i+1}$ 与 $\phi_i \cap \phi_{i+1}$ 存在有限维度.

证明 因为 ϕ_i 是有限维度, 且 $\phi_i \cap \phi_{i+1}$ 是 ϕ_i 的曲量场子空间, 则 $\phi_i \cap \phi_{i+1}$ 也是有限维度. 设 $\delta(\phi_i) = n_i, \delta(\phi_{i+1}) = n_{i+1}, \delta(\phi_i \cap \phi_{i+1}) = m$, 取 $\phi_i \cap \phi_{i+1}$ 的一组曲量子 $\eta_1 \cdots \eta_m$, 把它扩充成 ϕ_i 的一组曲量子 $\eta_1 \cdots \eta_m, \gamma_1,$

\cdots, γ_{i-m} , 并且把 $\eta_1 \cdots \eta_m$ 也扩充成 ϕ_{i+1} 的一组曲量子 $\eta_1 \cdots \eta_m, \lambda_1, \cdots, \lambda_{i+1-m}$, 则 $\phi_i = \text{coup}(\eta_1 \cdots \eta_m, \gamma_1, \cdots, \gamma_{i-m}), \phi_{i+1} = \text{coup}(\eta_1 \cdots \eta_m, \lambda_1, \cdots, \lambda_{i+1-m})$, 并且 $\phi_i + \phi_{i+1} = \text{coup}(\eta_1 \cdots \eta_m, \gamma_1, \cdots, \gamma_{i-m}, \lambda_1, \cdots, \lambda_{i+1-m})$ 由线性等式 $k_1 \eta_1 + \cdots + k_m \eta_m + p_1 \gamma_1 + \cdots + p_{i-m} \gamma_{i-m} + q_1 \lambda_1 + \cdots + q_{i+1-m} \lambda_{i+1-m} = 0$

令 $\eta = k_1 \eta_1 + \cdots + k_m \eta_m + p_1 \gamma_1 + \cdots + p_{i-m} \gamma_{i-m} = -q_1 \lambda_1 - \cdots - q_{i+1-m} \lambda_{i+1-m}$, 由第一等式知 $\eta \in \phi_i$; 由第二等式知 $\eta \in \phi_{i+1}$, 于是 $\eta \in \phi_i \cap \phi_{i+1}$. 因此 η 可以由 $\eta_1 \cdots \eta_m$ 线性表示, 即 $\eta = l_1 \eta_1 + \cdots + l_m \eta_m$, 则 $l_1 \eta_1 + \cdots + l_m \eta_m + q_1 \lambda_1 + \cdots + q_{i+1-m} \lambda_{i+1-m} = 0$, 因为 $\eta_1, \cdots, \eta_m, \lambda_1, \cdots, \lambda_{i+1-m}$ 线性无关, 则得 $l_1 = \cdots = l_m = q_1 = \cdots = q_{i+1-m} = 0$, 因而 $\eta = 0$, 从而有 $k_1 \eta_1 + \cdots + k_m \eta_m + p_1 \gamma_1 + \cdots + p_{i-m} \gamma_{i-m} = 0$. 由于 $\eta_1, \cdots, \eta_m, \gamma_1, \cdots, \gamma_{i-m}$ 线性无关, 得 $k_1 = \cdots = k_m = p_1 = \cdots = p_{i-m} = 0$, 因此 $\eta_1, \cdots, \eta_m, \gamma_1, \cdots, \gamma_{i-m}, \lambda_1 \cdots \lambda_{i+1-m}$ 线性无关. 因为 $\eta_1, \cdots, \eta_m, \gamma_1, \cdots, \gamma_{i-m}, \lambda_1 \cdots \lambda_{i+1-m}$ 是 $\phi_i + \phi_{i+1}$ 的一组曲量子, 所以 $\phi_i + \phi_{i+1}$ 是有限维度的, 且 $\text{coup}(\phi_i + \phi_{i+1}) = n_i + n_{i+1} - m$. 因此原式成立.

定义 6 将目标车牌图像向曲量场空间投影, 得到的三维点阵曲量车牌模型定义为曲量车牌 Y , 记为

$$Y(\alpha_{x_{i,j}, y_{i,j}, z_{i,j}}, \beta_{x_{i,j}, y_{i,j}, z_{i,j}}),$$

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

$$i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N$$

其中: α, β 分别为曲量车牌的深度数据和维度数据, $x_{i,j}, y_{i,j}, z_{i,j}$ 为 x 维, y 维, z 维的膨胀基数. 此时曲量车牌深度数据表示如下:

$$\alpha = \alpha^D(\text{dep}^D)$$

$$= \begin{pmatrix} \left\| \sum_{S_1 \leq D \leq S_2} \text{dep}_{x,y,z}^D \right\|_\infty & \cdots & \left\| \sum_{S_{N-1} \leq D \leq S_N} \text{dep}_{x,y,z}^D \right\|_\infty \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \left\| \sum_{S_1 \leq D \leq S_2} \text{dep}_{x,y,z}^D \right\|_\infty & \cdots & \left\| \sum_{S_{N-1} \leq D \leq S_N} \text{dep}_{x,y,z}^D \right\|_\infty \end{pmatrix}$$

设 $T_{i,j,k}$ 为曲量车牌空间的曲量子维度所在的区域, 则该区域内曲量车牌维数表示如下,

$$\beta = \beta^D(T_{i,j,k}) = \begin{pmatrix} T_{1,1,k} & \cdots & T_{1,N,k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{N,1,k} & \cdots & T_{N,N,k} \end{pmatrix},$$

$$i \in [0, N], j \in [0, N], k \in [1, \max(\text{dep})]$$

其中曲量车牌维数由定义 5 的公式进行曲量子衔接可求. 这些求出的曲量场空间的矩阵向量空间, 就表示子区域车牌图像的主特征空间信息.

将车牌字符数据库中的 M 个字符图像均向此曲量场投影,得到各自的三维曲量场深度和曲量子空间维数如下所示:

$$\alpha(1), \alpha(2), \dots, \alpha(M), (\alpha(i))^T = [\sigma(i1)\sigma(i2)\dots\sigma(iA)],$$

$$i = 1, \dots, N; \sigma(ia) = (kj)^T X'_i, a = 1, \dots, K$$

$$\beta(1), \beta(2), \dots, \beta(M), (\beta(i))^T = [\xi(i1)\xi(i2)\dots\xi(iA)],$$

$$i = 1, \dots, N; \xi(ia) = (kj)^T X'_i, a = 1, \dots, K$$

对于目标车牌 Y , 将其曲量车牌的深度和维度分别与上述 $(\alpha(i))^T$ 和 $(\beta(i))^T$ 相比较即可判别出相应字符。

2.2 算法步骤

算法步骤如下: (1) 将待识别的 $N \times M$ 彩色车辆图像, 进行亮度信号检测(包含 R、G、B 三色, 范围为 $(3 \times 0 \sim 3 \times 255)$), 转换为灰度图像; (2) 计算其灰度阶对应像素的分布概率; (3) 计算各灰度阶对应的信息熵值。图像的信息熵 H 表示为

$$H(A) = \sum_{i=1}^N p_i \times \log\left(\frac{1}{p_i}\right) = - \sum_{i=1}^N p_i \times \log(p_i)$$

其中, $H(A)$ 表示随机变量 A 的信息量, $-\log(p_i)$ 表示随机变量 a_i 的自信息量, 当 $p_i = 0$ 时, 自信息量 $-\log(p_i)$ 取值为 0; (4) 计算车辆图像信息熵分布, 统计一维信息熵的极值点; (5) 计算信息熵分布中取得极大值时所对应的灰度阶, 并以此作为图像若干子区域的分割阈值; (6) 将各子区域内灰度阶的变化(灰度递增和递减)采用向量自上而下进行标定, 其中向量的方向和长度分别代表灰度变化的方向和变化的幅度; (7) 曲量场空间投影。具体步骤为: ① 设步骤(6)标定出的梯度向量为 n 个, 计算各梯度向量 $i (i = 0 \dots n)$ 的起点处与终点处对应像素的灰度值 τ_j^i , 其中 $j = \pm 1 (j = +1$ 代表梯度向量 i 的起点, $j = -1$ 代表梯度向量 i 的终点), 以最大灰度值 $\max(\tau)$ 作为曲量场空间模型的 z 轴拉伸倍数(原始曲量场的深度 dep 等于原始曲量场模型的 z 轴大小, 其大小为 1, 即 $dep = z = 1$, 拉伸后曲量场的深度为 $dep = z = 1 \times \max(\tau)$)。以此建立该彩色车牌图像的曲量场空间模型; ② 将各梯度向量的起点处与终点处对应像素的灰度值 τ_j^i 与最大灰度值 $\max(\tau)$ 作比值 $\tilde{\omega}_j^i$, 即 $\tilde{\omega}_j^i = \tau_j^i / \max(\tau)$, $\tilde{\omega}_j^i \leq 1$; ③ 将各梯度向量向曲量场空间模型以 z 轴进行三维方向旋转, 以此形成各梯度向量的空间拉伸走向, 其中旋转角度 θ_j^i 为 $\theta_j^i = \tilde{\omega}_j^i \times \pi/2 = \pi \tau_j^i / 2 \max(\tau)$, $\theta \leq \pi/2$; ④ 将旋转后的各梯度向量的起点与终点分别在已建立的曲量场空间模型上进行 τ_j^i 倍拉伸, 形成空间悬浮点 $D_{(x,y,z)}^{\phi}$, z 为悬浮点在曲量场中的坐标, $z = |i| \times \sin \theta_j^i = |i| \times \sin[\pi \tau_j^i / 2 \max(\tau)]$; (8) 将曲量子空间进行边缘维度衔接(见定义 5)。判别车牌空间与字符空间; (9) 计算曲量场偏移角度, 以曲量场空

间的 Y 轴(见定义 2)旋转相应角度, 矫正字符子空间的位置偏移; (10) 统计曲量子密度并进行低密度区域填充。 k 提取字符子空间 ϕ_s^{char} 中的曲量子的深度 $\alpha (dep^D)$ 和维度 $\beta (T_{i,j,k})$ 进行字符判别。

2.3 算法理论分析与实例验证

2.3.1 曲量场空间理论分析

彩色车牌图像经过曲量场空间投影后, 曲量子 $\eta_d^{(v)} = (D_{(x,y,z)}^{\phi(d)}, D_{(x^*, y^*, z^*)}^{\phi})$ 在空间集集成空间 ϕ_s^{car} , 其中包括三种子空间, 分别为车身子空间 ϕ_s^{body} , 车牌子空间 ϕ_s^{plate} 以及字符子空间 ϕ_s^{char} 。各子空间具有如下关系,

$$\begin{aligned} \phi_s^{car} &= \phi_s^{body} + \phi_s^{plate} + \phi_s^{char} \\ &= \underbrace{a_{i,j} \sum_{k=-1}^N \sum_{l=-1}^N \sum_{t=-1}^n x_{k,l,t} \tau_{i+k,j+l}}_{\phi_s^{body}(x_{i,j})} \\ &\quad + \underbrace{\omega_{i,j} \sum_{k=-1}^N \sum_{l=-1}^N \sum_{t=-1}^n x_{i+t,j+l} \tau_{i,t,k}}_{\phi_s^{plate}(y_{i,j})} \\ &\quad + \underbrace{v_{i,j} \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 \sum_{t=-1}^1 x_{t,l,k} \tau_{i+l,j+k} z_{k,l}}_{z_{i,j}} \\ &= \phi_s^{body}(x_{i,j}) + \phi_s^{plate}(y_{i,j}) + z_{i,j} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\phi_s^{car}(x_{i,j}) = -a_{i,j} x_{i,j} + (1 + \sin \theta_y) y_{i,j} + (1 + \sin \theta_z) z_{i,j} \quad (3)$$

$$\phi_s^{plate}(y_{i,j}) = (1 + \sin \theta_x) x_{i,j} + -\omega_{i,j} y_{i,j} + (1 + \sin \theta_z) z_{i,j} \quad (4)$$

$$z_{i,j} = v_{i,j} z + \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 x_{k,l} + y_{i+k,j+l} \quad (5)$$

式中 x, y, z 为曲量子空间标量分别称为曲量子的 x 维, y 维, z 维的膨胀基数, $a_{i,j}, \omega_{i,j}, v_{i,j}$ 分别为 x 维, y 维, z 维的坐标 $(i, j, 1)$ 处的膨胀系数, θ 为曲量子的空间倾斜的相对角度以及字符空间的矫正幅度 $|D_{(x,y,z)}^{\phi(d)} - D_{(x^*, y^*, z^*)}^{\phi}|$ 。

在此, 为刻画曲量子空间分布情况, 令 $z_{i,j} = 1, \theta = 0^\circ$, 由式(1)得:

$$y_{i,j} = \begin{cases} 1 \pm 1, & x_{i,j} > 1 \\ x_{i,j} \pm 1, & -1 \leq x_{i,j} \leq 1 \\ -1 \pm 1, & x_{i,j} < 1 \end{cases} \quad (6)$$

将式(6)代入式(3)可得:

$$\phi_s^{car}(x_{i,j}) = \begin{cases} -x_{i,j} + a_{i,j} \pm 1, & x_{i,j} > 1 \\ (a_{i,j} - 1) x_{i,j} \pm 1, & -1 \leq x_{i,j} \leq 1 \\ -x_{i,j} - a_{i,j} \pm 1, & x_{i,j} < 1 \end{cases} \quad (7)$$

将式(7)代入式(2), 可得:

$$\phi_s^{car} = \begin{cases} -x_{i,j} + a_{i,j} + z_{i,j} \pm 1, & x_{i,j} > 1 \\ (a_{i,j} - 1) x_{i,j} + z_{i,j} \pm 1, & -1 \leq x_{i,j} \leq 1 \\ -x_{i,j} - a_{i,j} + z_{i,j} \pm 1, & x_{i,j} < 1 \end{cases} \quad (8)$$

根据式(8),当过 $(-1,0)$ 点时, $z_{i,j} = a - 1$,描绘出车身曲量子空间的上膨胀动力学曲线,如图4所示的虚线 d_1 .当过 $(1,0)$ 点时, $z_{i,j} = 1 - a$,车身曲量子空间的下膨胀动力学曲线,如图4所示的虚线 d_2 , d_1 和 d_2 属于临界状态曲线.根据 $z_{i,j}$ 的不同取值范围,可得到三类曲量场动力学曲线:(1)当 $z_{i,j} > a + 1$ 时, d_1 上方的区域为车牌曲量子空间的动力学曲线区域,即区域Ⅰ.其中一条动力学曲线 c_1 , c_1 与 $x_{i,j}$ 轴有一个交点 Q_1 ;(2)当 $1 - a < z_{i,j} < a - 1$ 时,动力学曲线在 d_1 和 d_2 之间的区域,即为区域Ⅱ.动力学曲线 c_2 , c_2 与 $x_{i,j}$ 轴有三个交点,分别为 Q_2, Q_3, Q_4 ;(3)当 $z_{i,j} < 1 - a$ 时,动力学曲线在 d_2 下方区域,即区域Ⅲ.其中动力学曲线 c_3 , c_3 与 $x_{i,j}$ 轴有一个交点为 Q_5 .

对图4中曲量场动力学曲线的方向说明:(1)当动力学曲线在 $x_{i,j}$ 轴上方区域时, $\phi_s^{car} > 0$,动力学曲线向 $x_{i,j}$ 轴增大的方向移动直到 $\phi_s^{car} = 0$ 时停止;(2)当动力学曲线在 $x_{i,j}$ 轴下方时, $\phi_s^{car} < 0$,动力学曲线向 $x_{i,j}$ 轴减小的方向移动直到 $\phi_s^{car} = 0$ 时停止.

从图4可以看出:

(1)当 $x_{i,j}(0) \in (-\infty, \infty)$ 时,动力学曲线 c_1 沿图中箭头方向移动同时收敛于 Q_1 ,由于 $z_{i,j} > a - 1$,则 Q_1 处的 $x_{i,j} > 1$,由式(5)可得, $y_{i,j}(\infty)|_{z_{i,j}=1} = 1$;

(2)动力学曲线 c_2 与 $x_{i,j}$ 轴有 Q_2, Q_3, Q_4 三个交点,当 $\phi_s^{car} = 0$ 时, $(a_{i,j} - 1)x_{i,j} + z_{i,j} \pm 1 = 0$ 可得在 $x_{i,j}$ 轴交于 Q_3 点的横坐标 $-z_{i,j}/a - 1$,此时有

$$y_{i,j}(\infty)|_{z_{i,j}=1} = \begin{cases} -z_{i,j}/a - 1, & x_{i,j}(0) = -z_{i,j}/a - 1 \\ 1, & x_{i,j}(0) > -z_{i,j}/a - 1; \\ -1, & x_{i,j}(0) < -z_{i,j}/a - 1 \end{cases}$$

(3)动力学曲线 c_3 ,当 $x_{i,j}(0) \in (-\infty, \infty)$ 时,沿所示方向移动,收敛于 Q_5 ,此时 $y_{i,j}(\infty)|_{z_{i,j}=1} = -1$.

结合曲量场子空间动力学曲线图可知,当曲线 c_1

与曲线 c_3 之间的区域Ⅱ的像素点少于3个相邻的点时,才能使各曲量子空间产生有效的凝聚,从而分离出字符量子空间,所以在上述条件分析下,曲量场空间满足车辆图像投影与分离字符量子空间的功能,当且仅当以下条件时成立, $a > 1, z_{i,j} \geq 3$.

由上面分析可以得到如下结论:当曲量子空间相邻像素点满足 $a > 1$ 且 $z_{i,j} \geq 3$ 时,动力学曲线图区域Ⅰ收敛于 c_1 ,区域Ⅱ收敛于 c_2 ,区域Ⅲ收敛于 c_3 ,即从曲量场空间来看,空间曲量子聚合于三种子空间,分别为车身曲量子空间、车牌曲量子空间以及字符曲量子空间,其中字符曲量子空间凝聚度收敛幅度好于车牌子空间的收敛幅度,车牌子空间凝聚度的收敛幅度好于车身子空间.

2.3.2 实例验证

为了验证本文算法的实用性,在某高速公路的收费站进行算法的实例验证.实例选择车辆背景包含有类似车牌颜色及纹理特征干扰的车辆图像.算法过程如图5所示.经过在实际现场的不同时间、不同天气环境、不同车辆背景下的反复测试说明,曲量场空间算法对于各类车牌的识别具有较好的鲁棒性,识别的精确度较高,同时对于较模糊的车牌也具有较好的识别效果,但是对于部分遮挡的或者严重磨损的车牌不具有识别效果.

3 实验与分析

实验中选择几幅不同特点的彩色车辆图像进行实验,图6(a)为复杂背景且光照不均匀的车辆图像,其中图6(e)从左至右分别为字符曲量子空间描绘的正面效果、偏左侧效果及偏右侧效果.图7(a)为视觉模糊的车辆图像.图8(a)是在晴朗、环境较适宜的条件下抓拍的车辆图像,图8(g)为阴雨天气条件下拍的车辆图像.采用本文方法的曲量场空间处理过程及结果如图6~8所示.

本文算法在P43.0G/1G机器上采用C语言编程实现.用于实验测试的彩色图像集分为3组.包含的车牌图像大小为80(像素)×25(像素)~340(像素)×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车辆全景图像.第2组选取228幅在不同光照条件

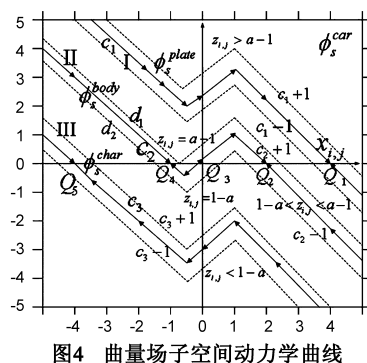


图4 曲量场子空间动力学曲线

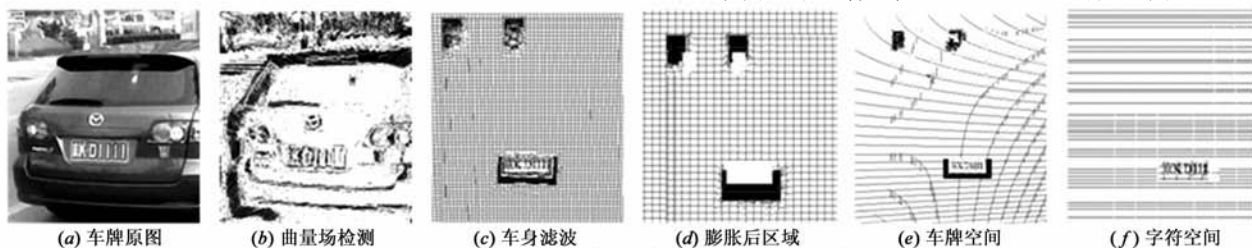


图5 背景干扰下车牌图像的处理的过程及结果

(强光、反光、弱光、阴影等)、天气环境(阴天、晴朗天、下雨天、扬沙天气等)和时间段(清晨、中午、傍晚、夜晚等)拍摄得到的车辆图像.第3组选取386幅简单的背景、复杂的背景图像及车牌照倾斜、不同拍摄角度、大小、远近不一致等变化比较大的车辆图像进行测试.

实验结果数据如表1所示,分析如下:(1)本文方法识别精准率为99.7%,达到了很好的鲁棒性.其它两种方法大部分不能精确识别的图像包括:受光照、噪声等干扰;牌照褪色严重并污染,导致对比度较小;牌照过小,而且倾斜角度超过了一定范围等.由表1数据可见,

其它两种方法的鲁棒性较差;(2)本文算法基本没有出现漏选的情况.实验中有1幅图像出现误识区域,原因是该区域与车牌字符具有完全相同的颜色、结构及纹理特征,可以在车牌定位或识别的步骤中再次进行判别.有2幅车辆图像的牌照区域不完整和损坏,是因为在车速超过了一定范围时抓拍图像,导致严重模糊失真.有1幅图像识别失败,导致的原因是牌照被故意遮挡;(3)本文算法平均识别时间为23.5ms/幅,与以往的方法相比,在提高定位准确率的同时,保证了较高的识别速度.

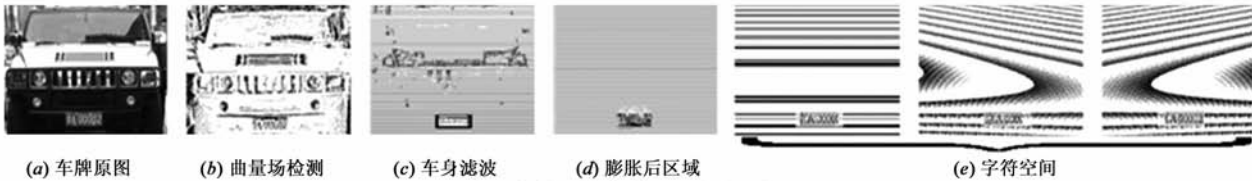


图6 复杂图像车牌处理过程及结果

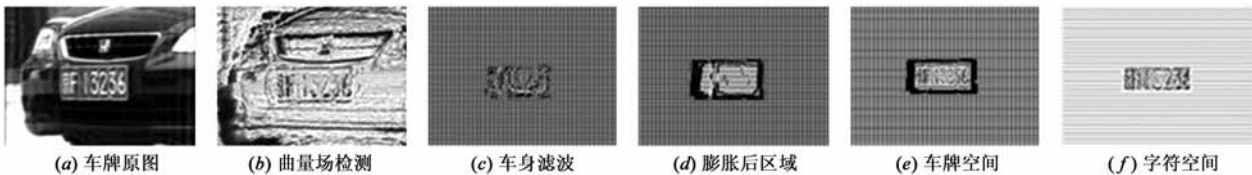


图7 模糊车牌图像处理过程及结果

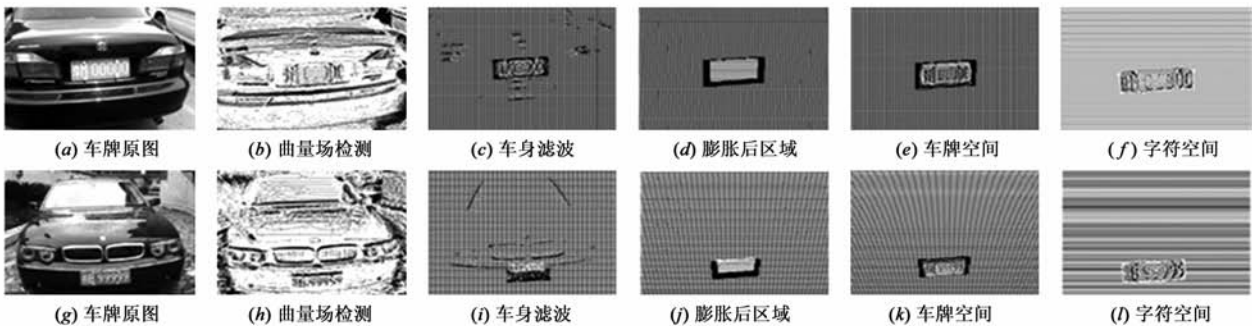


图8 不同天气下车牌图像处理过程及结果

表 1 用3种算法测试3组图像,比较识别率和识别时间									
项目	文献[12]算法			文献[13]算法			本文 CFS 算法		
测试图像数量	435	228	386	435	228	386	435	228	386
精确识别数量	424	205	361	430	224	373	433	228	384
识别后含多余信息	5	7	16	1	0	7	1	0	1
识别信息不完整	2	10	2	2	1	1	1	0	0
识别失败	4	5	7	2	3	5	0	0	1
有效识别率(%)	99.5	99.1	98.2	99.5	98.7	98.7	100	100	99.7
		99			99			99.9	
精确识别率(%)	97.5	89.9	93.5	98.9	98.2	97.1	99.5	100	99.6
平均识别率(%)		94.4			97.9			99.7	
平均识别时间(ms/幅)		47.9			120			23.5	

从表2可见,噪声滤波后,除了车辆图像背景中存在与该图像中的牌照颜色相同的区域,都可以准确地

表 2 本文算法对3组测试图像识别过程的参数比较									
项目	曲量场空间算法 (牌照矫正后)				判别检验				
测试图像数量	435	228	386	1049	435	228	386	1049	
已精确识别数量	430	228	375	1032	433	228	384	1045	
识别后含多余信息	4	0	11	15	1	0	1	2	
识别信息不完整	2	0	0	2	2	0	0	2	
识别失败	0	0	1	1	0	0	1	1	
有效识别率(%)	100	100	99.7	99.9	100	100	99.7	99.9	
平均识别率(%)	98.6	100	96.9	98.3	99.4	100	99.7	99.7	
平均识别时间 (ms/幅)	16				7.5				

定位与识别车牌.利用车牌空间位置特征来判别牌照区域的情况较少,只有与图5(a)所示类似的特殊情况才会利用最后一步来识别,实际上主要目的是为了进行算法检验.牌照及字符矫正判别约占识别时间的1/3,识别速

度受到图像背景影响较大,背景越复杂,识别耗时越长.

实验证明本文算法识别准确度高、速度快、鲁棒性好,对各种环境的车牌识别具有较高的适应性.但是如何正确地识别严重模糊以及被故意遮挡的车牌将是下一步的研究工作.

4 结论

本文提出了一种新的基于曲量场空间的车牌定位与识别算法,特点如下:(1)能实现高速并行分析与计算,处理速度与车辆图像大小无关.(2)曲量场空间描述采用空间悬浮点进行曲量子拟合,没有像素偏移并且能有效抑制系统噪声.(3)对车辆图像的亮度渐变检测采用统计意义下的自修复特性,通过对小范围磨损区域的自动修复,能最大范围内恢复彩色图像包含的渐变梯度信息.(4)曲量场空间通过曲量子进行子空间边缘光滑衔接,需要渐变的亮度梯度信息,不要求明显的三维凸凹特征,也不要连续的封闭空间.本文的曲量场空间算法已经抑制了大部分由系统噪声产生的边缘锯齿,过滤了大部分环境干扰因素,去除了非车牌图像空间的曲量膨胀,从而突出了车牌子空间区域以及字符子空间区域.本文今后将针对严重模糊以及被故意遮挡的车牌识别做进一步研究.

参考文献

- [1] Wu B F, Lin S P, Chiu C C. Extracting characters from real vehicle licence plates out-of-doors [J]. 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 [A]. Proceedings of the 2nd International Conference on Pervasive Computing and Applications. Birmingham [C]. UK: IEEE, 2007. 319-322.
- [3] Faradji F, Rezaie A H, Ziaratban M. A morphological-based license plate location [A]. Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Image Processing. Texas [C]. USA: IEEE, 2009. 57-60.
- [4] Huang Y R, Duan H. Edge detection of license plate based on wavelet transform and quantum genetic algorithm [A]. Proceedings of the SPIE on the International Society for Optical Engineering [C]. Wuhan, China: SPIE, 2009. 6786-6789.
- [5] Novak C L, Shafer S A. Anatomy of a color histogram [A]. Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Champaign [C]. USA: IEEE, 2010. 599-605.
- [6] 陈莹, 韩崇昭. 基于雷达和图像融合的 3D 车辆定位与识别 [J]. 电子学报, 2005. 33(6): 1105-1108.
Chen Ying, Han Chong-zhao. New 3D vehicle location and recognition method fusing radar and image [J]. Acta Electronica Sinica, 2005. 33(6): 1105-1108. (in Chinese)
- [7] Li G, Liu C, He M Q, Huang X Y. A location method for vehi-

cle license plate based on color image and black-white texture [A]. Proceedings of the SPIE on Mechatronics, MEMS, and Smart Materials [C]. Gifu, Japan: SPIE, 2008. 67944-67949.

- [8] Park S H, Kim K I, Jung K, Kim H J. Locating car license plates using neural networks [J]. Electronics Letters, 2010, 35(17): 1475-1477.
- [9] Chua L O, Yang L. Cellular neural networks: theory and applications [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems, 1988, 35(10): 1257-1272.
- [10] Chua L O. Cellular neural networks: a vision of complexity [J]. International Journal Bifurcation and Chaos, 1997, 7(10): 2219-2425.
- [11] Abdou I E, Pratt W K. Quantitative design and evaluation of enhancement thresholding edge detectors [J]. Proceedings of the IEEE, 1979, 67(5): 753-763.
- [12] 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 [J]. 计算机学报, 2004, 27(2): 204-208.
Li Wen-ju, Liang De-qun, Zhang Qi, Fan Xin. A novel approach for vehicle license plate location based on edge-color pair [J]. Chinese Journal of Computers, 2004, 27(2): 204-208. (in Chinese)
- [13] Zheng D N, Zhao Y N, Wang J X. An efficient method of license plate location [J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26(15): 2431-2438.

作者简介



姜文涛 男, 1986 年生于辽宁庄河. 辽宁工程技术大学研究生. 主要研究领域为计算机视觉、图像处理、嵌入式系统.
E-mail: lntuwulue@sina.com



刘万军 男, 1959 年生于辽宁北镇. 教授. 主要研究领域为软件理论、图像处理、计算机视觉、嵌入式系统.



袁 姮 女, 1988 年生于湖北黄冈. 辽宁工程技术大学研究生. 主要研究领域为地理信息系统、图像处理.