

基于改进的水平集局部二值拟合模型车牌分割算法

王洪亚¹, 高尚兵¹, 唐嵩涛², 林岳宾³

(1. 淮阴工学院计算机工程学院, 江苏 淮安 223003)

(2. 淮安市公安局淮阴分局指挥中心, 江苏 淮安 223300)

(3. 淮阴工学院江苏省介入医疗器械研究重点实验室, 江苏 淮安 223003)

[摘要] 本文提出了改进的LBF模型的轮廓演化能量函数, 它结合了CV模型的能量项加快了演化速度, 并在结合LBF模型中的局部均值信息的同时, 引入图像的局部方差和全局方差信息. 实验结果证明该方法能够提供准确的光滑的闭合的边界, 精度可以达到亚像素级, 系统的识别准确率高.

[关键词] 车牌识别, 局部二值拟合, 字符分割

[中图分类号] TB24 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2014)03-0075-04

An Improved License Plate Segmentation Algorithm of Level Set Local Binary Fitting Model

Wang Hongya¹, Gao Shangbing¹, Tang Songtao², Lin Yuebin³

(1. College of Computer Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an 223003, China)

(2. Huaiyin Command Center, Huai'an Public Security Bureau, Huai'an 223300, China)

(3. Jiangsu Provincial Key Laboratory for Interventional Medical Devices, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an 223003, China)

Abstract: This paper proposes an improved model of contour evolution LBF energy function, which combines the CV model energy term to accelerate evolution rate, and combines local mean LBF model information while introducing a global image of the local variance and variance information. Experimental results show that this method can provide accurate smooth closed boundary, and that precision can reach sub-pixel level, and that the recognition accuracy rate is high.

Key words: license plate recognition, local binary fitting, character segmentation

近年来,随着我国机动车辆数目的与日俱增,实现自动化和智能化的道路交通管理越来越重要. 汽车的牌照就像我们每个人的身份证一样,在车辆管理中起着重要的作用. 如果能快速地将汽车牌照识别出来,将大大提高管理效率. 而车牌字符的分割作为在车牌成功定位后,字符识别前的中间环节,分割的好坏直接关系到字符识别的效果.

常用的字符分割方法:(1)基于区域的图像分割^[1]; (2)基于边缘的图像分割^[2]; (3)LBF车牌字符分割^[3]. 传统的图像分割方法速度较快,但也有一些缺点. 基于区域的分割方法容易生成小孔和一些非正则边界;基于边缘的图像分割方法充分利用了图像的局部信息,实现了边缘检测,但是很难提供无断点的一条连续的边界轮廓;LBF模型能够获取图像的局部信息,所以解决了C-V模型^[4]不能分割灰度不均一图像. 然而当图像的内外区域的均值相近而只是方差不同时,有弱边界的图像就难以分割,而且演化的速度也不是很快.

针对上述问题,本文提出了基于改进的水平集局部二值拟合模型车牌分割算法. 它结合了CV模型的能量项加快了演化速度,并在集成了LBF实现不均匀分割的优势时,还实现对局部和整体的方差分析. 实

收稿日期:2013-12-11.

基金项目:江苏省“青蓝工程”、江苏省“六大人才高峰”、江苏省“333工程”、江苏省介入医疗器械研究重点实验室开放基金(JR1405)、江苏省属高校自然科学研究重大项目(11KJA460001).

通讯联系人:王洪亚,助理实验师,研究方向:图像处理和模式识别. 350572992@qq.com

验表明:与LBF模型相比,新模型分割时间减少约50%。此外,该模型不必进行繁杂的重复初始化过程,在很大程度上增大了演化的进程。

1 LBF模型

LBF模型是由Li^[5]等人提出的,它主要是通过引入局部信息,实现对灰度不均匀的图像进行分割。它需要引入一个核函数,可以抽取图像的局部灰度信息。根据轮廓定义了一个数据拟合能量:

$$E^{\text{LBF}}(\phi, f_1, f_2) = \lambda_1 \int \left[\int K_\sigma(x-y) |I(y) - f_1(x)|^2 H(\phi(y)) dy \right] dx + \lambda_2 \int \left[\int K_\sigma(x-y) |I(y) - f_2(x)|^2 H(\phi(y)) dy \right] dx, \quad (1)$$

2个拟合函数 f_1 和 f_2 局部地逼近轮廓内外的图像灰度。

LBF模型总的能量泛函为^[6]:

$$E(\phi, f_1, f_2) = E^{\text{LBF}}(\phi, f_1, f_2) + \frac{u}{2} \int_{\Omega} (|\nabla \phi| - 1)^2 dx dy + v \int_{\Omega} \delta_\varepsilon(\phi) |\nabla \phi| dx dy, \quad (2)$$

其中,第一项表示拟合部分;第二项主要针对水平集函数^[3]进行的防止不断初始化的操作;第三项是演化的长度,通过惩罚轮廓的长度来光滑轮廓。 $\lambda_1, \lambda_2, u, v$ 都是大于零的常数。 K_σ 是标准差为 σ 的高斯核函数^[7]:

$$K_\sigma(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-|x|^2/2\sigma^2}, \quad (3)$$

在保证 ϕ 不变的情况下,对式(2)利用梯度下降法求其能量泛函数,得到 f_1 和 f_2 以及 ϕ 的关系如下:

$$f_1(x) = \frac{K_\sigma(x) * [H(\phi(x))I(x)]}{K_\sigma(x) * H(\phi(x))}, \quad f_2(x) = \frac{K_\sigma(x) * [(1-H(\phi(x)))I(x)]}{K_\sigma(x) * [1-H(\phi(x))]}.$$

再固定函数 f_1 和 f_2 ,仍然结合梯度下降法对式(2)进行变换如下:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = -\delta_\varepsilon(\phi) (\lambda_1 e_1 - \lambda_2 e_2) + u \left[\Delta \phi - \text{div} \left(\frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) \right] + v \delta_\varepsilon \text{div} \left(\frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right), \quad (4)$$

$$e_1(x) = \int_{\Omega} K_\sigma(y-x) |I(y) - f_1(y)|^2 dy, \quad (5)$$

$$e_2(x) = \int_{\Omega} K_\sigma(y-x) |I(y) - f_2(y)|^2 dy. \quad (6)$$

通过上面变换不难发现,引入核函数之后,可以实现通过对局部信息灰度的提取,达到控制整个的轮廓运动趋势,达到前面所说的处理灰度不均匀问题的目的。在处理过程中,对初始化轮廓的敏感度会对效果起到一定的影响作用,是不可忽略的。

2 改进的水平集局部二值拟合算法的实现

根据上述分析,结合图像的统计信息,引入图像的局部方差和全局方差信息。结合LBF模型的局部均值信息,得到改进的LBF模型的局部拟合能量方程式(7):

$$F(f_1, f_2, \phi, \sigma(x)) = \lambda_1 \int \left[\int K_\sigma(y-x) |I(y) - f_1(x)|^2 H(\phi(y)) dy \right] dx + \lambda_2 \int \left[\int K_\sigma(y-x) |I(y) - f_2(x)|^2 (1-H(\phi(y))) dy \right] dx + \lambda_3 (\sigma_1 - \sigma(x)) + \lambda_4 (\sigma_2 - \sigma(x)) + v \int |\nabla H(\phi(x))| dx + \mu \int \frac{1}{2} |\nabla \phi(x) - 1|^2 dx, \quad (7)$$

式中,以当前点 x 为中心,点 x 的邻域范围取 $r \times r$ 大小的窗口(一般 $r=3$), $\sigma(x)$ 为局部方差,表达式为(8):

$$\sigma(x) = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}, \quad (8)$$

式中当前点 x 邻域的像素个数用 n 表示, x_i 为 $r \times r$ 大小窗口中像素点的灰度值, \bar{x} 为以 x 为中心的该邻域的灰度均值, 曲线内部方差用 $\sigma_1(x)$ 表示, 表达式为(9):

$$\sigma_1(x) = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n_1}, \quad (9)$$

式中 n_1, x_i 分别为演化曲线内部的像素点的个数和灰度值, 演化曲线外部方差 $\sigma_2(x)$ 构造与 $\sigma_1(x)$ 相同.

其中, $\lambda_1, \lambda_2, \mu$ 和 ν 是非负常量. K 是核函数, 在文献中 K 是一高斯函数:

$$K_\sigma(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{u^2}{2\sigma^2}}, u \geq 0, \quad (10)$$

满足局部性质: 非负单减, 且 $\lim_{|x| \rightarrow \infty} K(x) = 0$.

通过选取 σ 的大小来调整邻域的范围. 前两项是局部二值拟合项 (local binary fitting energy) 记作 $E^{\text{LBF}}(f_1, f_2, \phi)$, $f_1(x)$ 和 $f_2(x)$ 是轮廓区域外、内的局部拟合灰度值, 因其可以随空域变化而变化, 因此可以很好地克服灰度分布不均匀性; $f_1(x)$ 和 $f_2(x)$ 具有“局部”的特征, 主要由 x 附近的灰度值确定, 因为核函数 $K(x)$ 具有局部性质. 在确保水平集函数 ϕ 演化的稳定性上, 引入第三项第四项, 第三项即是水平集长度项约束, 可以避免噪声对分割结果的影响. 第四项是水平集正则项, 通过这一项来保持水平集在演化的过程中为一符号距离函数, 从而每次更新完水平集函数后无需重新初始化.

固定 ϕ , 极小化能量泛函式, 得到 $f_1(x)$ 和 $f_2(x)$ 的表达式为:

$$f_1(x) = \frac{K(x) \cdot (I(x)H(\phi(x)))}{K(x) \cdot (H(\phi(x)))}, \quad (11)$$

$$f_2(x) = \frac{K(x) \cdot (I(x)(1-H(\phi(x))))}{K(x) \cdot (1-H(\phi(x)))}, \quad (12)$$

最后采用梯度下降法, 极小化能量泛函式, 得到偏微分方程:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \mu \left(\Delta \phi - \text{div} \left(\frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) \right) + \lambda \delta(\phi) \text{div} \left(\frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) - \delta(\phi) p_1 \left(\int_{\Omega} K(y-x) |I(y) - f_1(x)|^2 dy - \int_{\Omega} K(y-x) |I(y) - f_2(x)|^2 dy \right) + p_2 (\lambda_3 e_3 + \lambda_4 e_4), \quad (13)$$

$e_3 = \sigma_1 - \sigma$, $e_4 = \sigma_2 - \sigma$, p_1, p_2 为自适应函数,

$$p_1 = \exp \left(-\frac{|\nabla u|}{C} \right), p_2 = \exp \left(-\frac{1}{|\nabla \sigma|} \right),$$

其中 C 为常数, 是根据图像强度分布不均匀的程度来设定.

根据图像信息的不同, 自适应函数的取值也要随着变化. 当图像强度分布不均匀时, 曲线演化的主动动力为 LBF 能量项, 因而 p_1 取得较大的值. 而处理弱边界图像时, 方差函数项应作为主动力, 则 p_2 取到相对较大的值, 最后使得演化曲线达到目标边界上. 通过以上分析改进的 LBF 模型的轮廓演化能量函数很好地体现了本文改进算法的优点.

下面给出车牌字符分割的算法步骤:

Step 1: 选定初始演化曲线, 由式(8)计算出图像的 3×3 邻域范围内每一个像素点所在的局部方差 σ .

Step 2: 得到演化曲线, 由式(9)计算得到在曲线内部和外部的方差 $\sigma_1(x), \sigma_2(x)$.

Step 3: 将图像方差信息引入到能量泛函中, 得到如式(7)总能量方程.

Step 4: 根据自适应函数 p_1, p_2 , 调整各能量项在曲线演化过程中的强度. 由梯度下降法得到最终的演化方程进行演化.

Step 5: 返回 Step 2, 直到满足迭代停止条件.

3 仿真结果及分析

为了验证本文提出的改进的水平集局部二值拟合模型车牌分割算法的有效性, 测试使用的机器为 (PIV, cpu 2.0 G, 1 G 内存), 利用 matlab 软件对 1 000 幅图片进行了测试, 分别采集于停车场、高速路口、公路行驶, 其中停车场 450 幅, 高速路口 350 幅, 道路行驶车辆 200 幅. 停车场的车牌图像较为清晰, 所受

噪声影响较小,因此一般用 LBF 算法就可将字符分割成功;高速路口拍摄的车牌图像形变较大,公路行驶的车辆受光照条件影响较多,而且这 2 种情况产生的图像噪声也较严重,因此在分割的过程中,当图像的内外区域的均值相近而只是方差不同时弱边界的图像就难以分割,车牌需要引入图像的局部方差和全局方差信息.最后为证明方法的可靠性,以 LBF 字符分割法、LCV 方法^[8]作为对比,实验结果数据如表 1 所示.

比较的测试结果如表 1,部分车牌图像的实验结果如图 1 所示.

表 1 测试数据表

Table 1 The test data sheet

车牌图像类别	测试图像数目	LBF 算法正确率/%	LCV 算法正确率/%	本文算法正确率/%
停车场车牌	450	92.4	95.7	99.6
高速路口车牌	350	90.3	96.3	98.2
道路行驶车辆车牌	200	89.9	92.5	97.3



图 1 LBF 算法和本文算法效果比较

Fig.1 Comparison of LBF algorithm and our algorithm effect

图 1 中(a)为停车场车牌的分割结果,(b)为十字路口拍摄车牌分割结果,(c)为道路行驶车辆车牌的分割结果.每组图片中,第 1 幅图像为原始车牌及初始曲线,第 2 幅图像为使用 LBF 算法进行字符分割后的图像,第 3 幅为改进的水平集局部二值拟合模型车牌分割算法分割的图像.通过对比可知,在图像预处理结果并不理想的情况下,LBF 法不能得到理想的字符边界,而本文算法在集成了 LBF 实现不均匀分割的优势时,还实现对局部和整体的方差分析,内外区域的均值相近,而只是方差不同时弱边界的图像,最终可得到理想的字符边界.并且本算法的局部拟合能量方程式中有水平集正则项,通过这一项来保持水平集在演化的过程中为一符号距离函数,从而每次更新完水平集函数后无需重新初始化,加快了演化速度.用 LBF 算法将背景区域中较多噪声作为目标分割出来,每步耗时 31 ms.而用本文算法每步耗时只有 17 ms,明显提高了计算效率.

4 结束语

本文针对图像车牌内外区域的均值相近而只是方差不同时弱边界的图像不容易分割的缺点提出用改进的水平集局部二值拟合模型来进行字符分割,从而实现对边界的准确分割.并且通过实验证明了本文算法每次更新完水平集函数后无需重新初始化,加快了演化速度.实验结果表明,本文的字符分割算法和字符识别算法在准确率上优于传统的算法.

[参考文献](References)

[1] Wang Xiaofeng, Huang Deshuang, Xu Huan. An efficient local chan-veese model for image segmentation [J]. Pattern Recognition, 2010, 43(3): 603-618.

[2] Caner H, Gecim H S, Alkar A Z. Efficient embedded neural-network-based license plate recognition system [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(5): 2 675-2 683.

(下转第 92 页)

- Wu Haishen, Shi Shuxian. Review in development on synthesis of sucralose as a new sweetener[J]. Fine and Specialty Chemicals, 2010, 18(5): 51–56. (in Chinese)
- [3] Loney G C, Torregrossa A M, Carballo C. Preference for sucralose predicts behavioral responses to sweet and bittersweet tastants[J]. Chemical Senses, 2012, 5(37): 445–453.
- [4] 吴好萱, 陆涛. 三氯蔗糖工业生产中氯代反应后处理的工艺改进[J]. 山西化工, 2010, 30(3): 10–12.
Wu Yuxuan, Lu Tao. A process improvement on after treatment of chlorination in sucralose industrialization[J]. Shanxi Chemical Industry, 2010, 30(3): 10–12. (in Chinese)
- [5] 孟慧琴, 晏日安, 杨伟, 等. 三氯蔗糖及其合成中间体的制备分离与结构表征[J]. 食品科技, 2008, 33(7): 145–147.
Meng Huiqin, Yan Rian, Yang Wei, et al. Synthesis, isolation and characterization of sucralose and the intermediate[J]. Food Science and Technology, 2008, 33(7): 145–147. (in Chinese)
- [6] 朱晶晶, 沈燕波, 崔庆帅, 等. 1,1,2-三氯乙烷-DMF-水三元体系液液平衡数据的测定与关联[J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2013(1): 74–77.
Zhu Jingjing, Shen Yanbo, Cui Qingshuai, et al. Determination and correlation of liquid-liquid equilibrium data for 1,1,2-trichloroethane-DMF-water ternary system[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2013(1): 74–77. (in Chinese)
- [7] 林军, 王延儒, 顾正桂. DEM-乙醇-丙三醇体系错流萃取模拟计算[J]. 计算机与应用化学, 2006, 23(6): 574–576.
Lin Jun, Wang Yanru, Gu Zhenggui. Simulation of extraction process for DEM-Ethanol-Glycerin system[J]. Computers and Applied Chemistry, 2006, 23(6): 574–576. (in Chinese)
- [8] 顾美娟, 顾正桂, 刘玲. 多级错流萃取法从粗品茄尼醇皂化液中提取茄尼醇的研究[J]. 现代化工, 2008(S2): 282–284.
Gu Meijuan, Gu Zhenggui, Liu Ling. Study on multilevel cross extraction of crude solanesol saponification liquid[J]. Modern Chemical Industry, 2008(S2): 282–284. (in Chinese)
- [9] 顾正桂, 林军. 多功能夹套式液液平衡釜: 中国, 2626572[P]. 2004–07–21.
Gu Zhenggui, Lin Jun. Multifunction sandwiching liquid-liquid equilibrium: China, 2626572[P]. 2004–07–21. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]

(上接第78页)

- [3] Wang S, Lee H. Detection and recognition of license plate characters with different appearances[C]//Proc Conf Intell Transp Syst, Chicago: IEEE, 2003: 979–984.
- [4] 李士进, 王万国, 谢萍, 等. 面向遥感图像分割的自适应特征选择水平集模型[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 2012, 48(4): 482–490.
Li S J, Wang W G, Xie P, et al. An adaptive level set model with feature selection for remote sensing image segmentation[J]. Journal of Nanjing University: Nature Sciences Edition, 2012, 48(4): 482–490. (in Chinese)
- [5] Anagnostopoulos C N E, Anagnostopoulos I E, Psoroulas I D, et al. License plate recognition from still images and video sequences: a survey[J]. IEEE Transactions on Intelligent and Transportation Systems, 2008, 9(3): 377–391.
- [6] Li C, Kao C, Gore J, et al. Implicit active contours driven by local binary fitting energy[C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR), Minneapolis: IEEE, 2007: 1–7.
- [7] Frederick T, Alexander W, David A C. Enabling scalable spectral clustering for image segmentation[J]. Pattern Recognition, 2010, 43(12): 4 069–4 076.
- [8] Wang Xiaofeng, Huang Deshuang, Xu Huan. An efficient local Chan-Vese model for image segmentation[J]. Pattern Recognition, 2010, 43(3): 603–618.

[责任编辑: 顾晓天]