

基于演化算法的图像二值化算法研究 *

李康顺^{1,2}, 阮丹丹¹, 张文生³

(1. 江西理工大学 理学院, 江西 赣州 341000; 2. 华南农业大学 信息学院, 广州 510642; 3. 中国科学院自动化研究所, 北京 100190)

摘 要: 针对传统二值化方法的搜索时间长、图像保真度差等缺陷,利用演化算法具有搜索速度快、图像保真度高、全局寻优等特点,来解决图像二值化阈值难以选取的问题。以车牌图像的二值化为例,针对图像的复杂特征设计出图像演化染色体的编码、交叉、变异等演化操作算子,进而建立求解图像二值化阈值的适应值函数。数据实验表明,与传统的算法相比,利用演化算法求解车牌图像二值化阈值时,其搜索速度快、图像保真度高,能够更有效地进行图像识别和图像处理。

关键词: 演化算法; 图像识别; 二值化; 阈值

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)01-0348-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.01.096

Research on image binarization algorithm based on evolutionary algorithms

LI Kang-shun^{1,2}, RUAN Dan-dan¹, ZHANG Wen-sheng³

(1. School of Science, Jiangxi University of Science & Technology, Ganzhou Jiangxi 341000, China; 2. School of Information, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3. Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: In order to overcome some shortcomings of traditional binarization methods—long search time, low image fidelity, this paper used evolutionary algorithm, because it had some advantages—short search time, high image sincerity, searching in the global space. Using evolutionary algorithm could easily get the image binarization threshold value. Taking the license plate image for example, according to the image complex characteristics, designed encode, crossover and mutation evolution operators of image evolution chromosome, then established the fitness function of solving image binarization value. The data experiments show that, compared with the traditional algorithm, using evolutionary algorithm for the binarization threshold value can shorten search time, and improve image fidelity, and can do image recognition and image processing more efficiently.

Key words: evolutionary algorithms; image recognition; binarization; threshold value

车辆牌照识别 (license plate recognition, LPR) 技术是智能交通中的重要组成部分,它在道路交通监控、交通事故现场勘察、交通违章自动记录、高速公路收费系统、停车场自动安全管理、智能园区管理等方面有着广泛的应用前景^[1]。

一般来说,车牌识别系统主要包括三个部分,即车牌定位、车牌字符分割和字符识别。车牌定位的作用是确定出车牌在图像中的具体位置;车牌字符分割的主要任务是在定位出来的车牌区域中,将其字符一一切割出来;字符识别是车牌识别技术的最后一步,它的任务是将切割出来的字符一一识别出来,并输出车牌号码。车牌图像二值化是在车牌定位后、字符分割前的一项关键性工作。

国外这方面的研究工作开展比较早,其中代表性的工作有:Tindall^[2]通过神经网络进行车牌识别;也有以车速受限拍摄拍摄的准静态车牌图像为处理对象的实例,如 Comelli 等人^[3]以收费站实时拍摄的汽车准静态图像为处理对象的;Paris 等人^[4]利用 DSP (digital signal processor) 和神经网络技术开发出了一套车牌识别系统;Cui 等人^[5]提出了一种车牌识别系统,

在车牌定位以后,利用马尔可夫场对车牌特征进行提取和二值化,其重点工作是二值化。国内也有大量的学者从事这方面的研究,吉林大学的张禹等人^[6]在一个样本量为 3 180 的样本集中做了识别实验,车牌定位准确率为 99.42%,切分准确率为 94.52%,在当时是一个非常高的指标;华南理工大学的骆雪超等人^[7]提出了基于车牌特征信息的二值化方法,对效果较好的车牌识别率达到 96%。从实用产品来看,有以色列 Hi-Tech 公司研制出的多种 See/Car System,适用于不同国家车牌识别,但对于中国格式的车牌,它不能识别汉字。

1 图像二值化

二值图像是指整幅图像内仅有黑白二值的图像,它们之间不存在其他灰度层次的变化。图像的二值化从本质上说就是基于阈值的图像分割,是利用图像中要提取的目标物与其背景在灰度特性上的差异,把图像视为具有不同灰度级的两类区域 (目标和背景) 的组合,选取一个合适的阈值,以确定图像中每个像素点应该属于目标还是背景区域,从而产生相应二值图像

收稿日期: 2011-05-26; **修回日期:** 2011-06-27 **基金项目:** 江西省自然科学基金资助项目 (2008GZS0028); 国家“973”计划资助项目 (2004CB318103)

作者简介: 李康顺 (1962-), 男,江西兴国人,教授,硕导,博士 (后),主要研究方向为演化计算、神经网络 (likangshun@sina.com); 阮丹丹 (1987-), 女,湖北宜昌人,硕士研究生,主要研究方向为演化计算、图像处理; 张文生 (1966-), 男,河南郑州人,研究员,博导,主要研究方向为机器学习理论与算法。

的方法。图像的二值化在车牌识别系统中有十分特殊的作用和地位。

在车牌图像二值化中,通常采用最大类间方差法(Otsu 算法)^[8]、Bernsen 算法和逐次逼近法。Otsu 提出的最大类间方差法,又称为大津闭值分割法,是在判断分析最小二乘法原理的基础上推导得出的。此方法有很多缺点,如算法费时(需要对图像中的每一级灰度进行计算),而且 Otsu 算法往往将大量背景错判为字符,导致无法进一步识别。Bernsen 算法^[9,10]是一种典型的局部闭值算法,它将窗口中各个像素灰度级最大值和最小值的平均值作为一个窗口的中心像素的闭值,因此该方法不存在预定闭值,适应性较全局闭值法广。但由于该算法需寻找局部阈值的极值,当窗口宽度增大时实现速度较慢。逐次逼近法是基于逼近的思想,初始阈值选取为图像的平均灰度 T_0 ;然后用 T_0 将图像的像素点分成两部分,计算两部分各自的平均灰度,小于 T_0 的部分为 T_A ,大于 T_0 的部分为 T_B 计算,将 T_1 作为新的全局阈值代替 T_0 ,重复以上过程,如此迭代,直至 $T_{k+1} = T_k$ 。此算法计算量较大,搜索时间较长,为了克服这些缺点,本文采用了搜索速度快、图像保真度高、全局寻优的演化算法。实验表明,与传统算法相比,该算法能取得较好的二值化效果。

2 演化算法

演化算法(evolutionary algorithms,EA)^[11-13]是一种借鉴生物演化和自然遗传选择的思想和原理来求解实际问题的一种极为有效的方法,它的根本思想是 Darwin 的进化论和 Mendel 的遗传学说,由 Holland 教授于 1975 年提出。它与传统算法的主要差别在于演化算法具有智能性、并行性和鲁棒性等特征。由于基于自然的选择策略为适者生存、不适者淘汰,因此,适应值好的个体具有较高的生存概率。同时,演化算法是一种基于种群的搜索算法,它在搜索的过程中具有将适应值好的个体保存到下一代的特点,通常适应值好的个体具有更适应环境的基因结构;再通过交叉和基因突变等遗传操作就可能产生更适应环境的后代^[14]。

演化算法是建立在自然选择和演化变异基础上的迭代自适应概率性搜索算法。在这种算法中,由于演化算法不能直接处理解空间的解数据,染色体通常采用二进制字符串编码,每一编码字符串为一候选解群,这种染色体有多个,即有一群候选解。由于演化算法的群体型操作需要,必须为演化操作准备一个由若干初始解组成的初始化群体,像生物进化一样,繁殖下一代个体的操作有选择、交叉和变异三种现象,这些现象称为演化算子(evolutionary operator)。在每一代中,对于某一给定问题,保持一定数目 N 为定值的解群 $p(t)$,经过对各解的适应值(fitness)的计算,使解群中各解得到评价,各解的适应值大小作为染色体复制机会大小的先决条件,而交叉和突变算子使得最终得到的解具有全局性。

3 基于演化算法的二值化算法

3.1 编码方式

编码方式是应用演化算法时要解决的首要问题,也是一个关键步骤。在演化算法执行的过程中,对不同的具体问题进行编码,编码的好坏直接影响选择、交叉、变异等演化操作。在本

问题中,采用传统的二进制编码方式。由于待处理的图像为 256 级灰度图像,所以采用了 8 位二进制数进行编码,即从 00000000 ~ 11111111(十进制数的 0 ~ 255),对应于车牌图像的灰度值。

3.2 种群初始化

所谓种群初始化就是产生该问题的初始解,在这里是采用随机函数生成 10 个 0 ~ 255 之间的随机数作为此问题的初始解。

3.3 适应值函数的选取

适应值函数也称为评价函数,是根据目标函数确定的用于区分群体中个体好坏的标准,是算法演化过程的驱动力,也是进行自然选择的唯一依据。适应值函数总是非负的,任何情况下都希望其值越大越好。本文采用了 Otsu 方法来选取适应值函数。

设给定图像灰度级为 L ,阈值设为 T ,把灰度大于或等于 T 和小于 T 的像素分为两类,即类 1 和 2。类 1 出现的概率(即类 1 中的像素总数与图像全部像素总数之比)为 $W_1(k)$ 、平均灰度值为 $M_1(k)$ 、方差为 $\delta_1(k)$ 。类 2 出现的概率(即类 2 中的像素总数与图像全部像素总数之比)为 $W_2(k)$ 、平均灰度值为 $M_2(k)$ 、方差为 $\delta_2(k)$ 。所有图像像素平均值为 M ,则类内方差 δ_1^2 和类间方差 δ_B^2 ,分别由以下两式决定^[15]:

$$\delta_A^2 = W_1 \delta_1^2 + W_2 \delta_2^2 \tag{1}$$

$$\delta_B^2 = W_1 (M_1 - M)^2 + W_2 (M_2 - M)^2 \tag{2}$$

习惯认为使方差之比 δ_B^2/δ_A^2 为最大的阈值 T ,本文中为了方便起见,直接令类间方差 δ_B^2 为最大的阈值 T 。即把式(2)作为本文适应值函数原型。

在灰度图像中,所有像素数量为 N ,其中像素灰度值为 i 的像素个数为 n_i ,则

$$\sum_{i=0}^{255} n_i = N \tag{3}$$

又因为像素灰度值为 i 出现的归一化概率 n_i 为

$$P_i = \frac{n_i}{N} \tag{4}$$

则有 $P_0 + P_1 + P_2 + \cdots + P_{254} + P_{255} = 1$

如果待求类间方差的像素灰度值为 t ,则

$$W_1 = \sum_{i=0}^t P_i \tag{6}$$

$$W_2 = \sum_{i=t+1}^{255} P_i = 1 - W_1 \tag{7}$$

$$M = \sum_{i=0}^{255} ip_i \tag{8}$$

$$M_1 = \frac{\sum_{i=0}^t ip_i}{W_1}, M_2 = \frac{\sum_{i=t+1}^{255} ip_i}{W_2} \tag{9}$$

根据式(8)和(9)可得

$$M_1 W_1 + M_2 W_2 = M \tag{10}$$

根据式(7)和(10),可化简式(2)得

$$\delta_B^2 = W_1 W_2 (M_1 - M_2)^2 \tag{11}$$

因此,式(11)为本文算法所采用的适应值函数。

3.4 选择

选择又称复制,是在群体中选择生命力强的个体产生新群体的过程。本文采用了适应值选择和最优保存策略^[16]的方法。最优保存策略的思想是把群体中适应值最高的个体不进行交叉、变异操作,而是用它来替换掉本代群体中经过交叉、变

异等操作后所产生的适应值最低的个体。这种方法有利于提高演化算法的收敛速度。对群体中的其他非最优个体则按适应值选择法来选择进入下一代。这种集成选择操作有助于利用精英保存策略提高收敛速度和提高解的精确度的特点,克服适应值比例选择法容易漏掉精英个体和收敛速度缓慢的缺点。其具体过程如下:

- a)统计上一代种群中比当前种群适应值大的个体及数量,并把当前种群中的个体根据适应值从大到小进行排序。
- b)0 ~ 50 代时,用上一代中适应值最大的个体,替换当前种群中适应值第五大的个体。
- c)51 ~ 100 代时,用上一代中适应值最大的个体,替换当前种群中适应值最小的个体。
- d)101 ~ 150 代时,用上一代中最优秀的五个个体,替换当前种群中适应值最小的五个个体,加快寻优。

在进化初期,替换当前种群中适应值第五大的个体(适应值排列第五位的个体)可以避免局部收敛,从而扩大了最优解的寻求范围;在进化中期,采用最优保存策略,使适应值最好的个体尽量保留到下一代种群中,并保证了演化算法的收敛性;在进化末期,每次从上一代种群中选取适应值最高的五个个体来替换当前种群中适应值最差的五个个体。这样做的原因是为了加快寻优的速度,保证了算法在短时间内能够收敛。

3.5 交叉

本文采用了单点交叉法,它是指在个体编码串中只随机设置一个交叉点,然后在该点相互交换两个配对个体的部分染色体。种群中的 10 条染色体样本分成 5 对,两两进行交叉操作。利用随机函数生成概率 p_1 和 p_2 , p_1 表示是否要进行交叉, p_2 用来产生交叉的位置。由于染色体长度为 8,交叉的位置用 $p_2 \times 8$ 来表示。函数 $swap(x, y, k)$ 用来实现对两个染色体 x, y 从 k 开始的位置进行互换。本文中的交叉概率 $p_c = 0.7$ 。把种群中的 10 条染色体分别用 $t_1, t_2, \dots, t_{10}$ 来表示。其算法描述如下:

```
function crossover()  
for i = 1: 2: popsize  
    P1 = rand;  
    if P1 < Pc  
        p2 = rand;  
        swap( ti, ti + 1, p2 * 8)  
    end  
end
```

3.6 变异

本文采用的是基本位变异操作,是指对个体编码串中以变异概率、随机指定的某一位或某几位基因座上的值作变异运算。利用随机函数产生概率 p_1 和 p_2 , 其中 p_1 表示是否变异, p_2 用来产生要变异的位置。函数 $reverse(x, k)$ 实现对数 x 的第 k 位数字取反。本文中的变异概率 $p_m = 0.3$ 。

其算法描述如下:

```
function mutation()  
for i = 1: popsize  
    P1 = rand;  
    if P1 < Pm  
        p2 = rand;  
        reverse( ti, p2 * 8)  
    end  
end
```

3.7 终止条件

一般可以用解的收敛程度或最大进化代数来控制,当超过

最大迭代次数时,结束计算,本文采用的进化代数为 150,最后输出每代的最佳适应值。

3.8 二值化算法流程

该算法主要思路为:利用演化算法产生车牌图像二值化的阈值;再根据该阈值进行二值化操作,在整个二值化过程中,对图像中每一个像素检测其灰度值,若大于通过上面求出的阈值,则将像素值设为 255,否则设置 0。整个算法流程如图 1 所示。

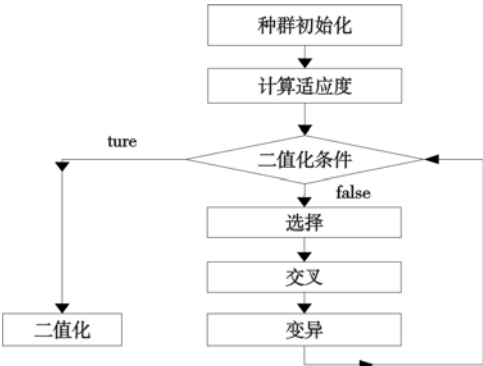


图1 二值化算法流程

4 实验结果与分析

为验证算法的有效性,本文在实验环境为 Pentium® 4 CPU, 3.0 GHz, 512 MB 内存的 PC 机上,通过 MATLAB 7.1 编程实现,分别采用了 Otsu 方法、逐次逼近法(successive approximation algorithm, SAA)和本文算法(EA)进行比较,如表 1 ~ 3 所示。

表 1 图 2(a)的二值化阈值及运行时间比较

实验 次数	传统 Otsu 方法		逐次逼近法		本文算法	
	图像阈值	时间/s	图像阈值	时间/s	图像阈值	时间/s
1	119	1.6698	119	1.8723	121	1.0559
2	119	1.6537	119	1.7622	121	1.0661
3	119	1.6549	120	1.4037	120	1.1311
4	118	1.6573	119	1.3314	121	1.0407
5	119	1.6651	119	1.3571	119	1.0432

表 2 图 3(a)的二值化阈值及运行时间比较

实验 次数	传统 Otsu 方法		逐次逼近法		本文算法	
	图像阈值	时间/s	图像阈值	时间/s	图像阈值	时间/s
1	129	1.6521	129	1.18769	130	1.0334
2	129	1.6652	130	1.1687	130	1.0167
3	128	1.6707	129	1.1582	131	1.0223
4	129	1.6806	129	1.1332	131	1.0447
5	128	1.6859	129	1.1327	130	1.0389

从表 1 中可以看出,利用演化算法来搜索最优阈值可以有效缩短计算时间,约为 Otsu 方法的 64%,约为逐次逼近法的 69%,演化算法搜索图像阈值的范围在 119 ~ 121 之间,稳定在 3 个像素之内;从表 2 中可以看出,演化算法的计算时间约为 Otsu 方法的 62%,约为逐次逼近法的 91%,演化算法搜索图像阈值的范围在 130 ~ 131 之间,稳定在 2 个像素之内;从表 3 中可以看出,演化算法的搜索时间约为 Otsu 方法的 63%,约为逐次逼近法的 92%,演化算法搜索图像阈值的范围在 138 ~ 140 之间,稳定在 3 个像素之内。与其他两种算法相比,演化算法不仅使搜索时间大大减少,同时也保证了全局最优。

表 3 图 4(a)的二值化阈值及运行时间比较

实验 次数	传统 Otsu 方法		逐次逼近法		本文算法	
	图像阈值	时间/s	图像阈值	时间/s	图像阈值	时间/s
1	130	1.6763	130	1.1791	139	1.0997
2	130	1.6794	129	1.1480	140	1.0386
3	129	1.6881	130	1.1403	140	1.0432
4	130	1.6709	130	1.1348	138	1.0163
5	130	1.6894	130	1.1350	139	1.0785

在 MATLAB 7.1 仿真环境下,使用本文算法对 50 辆车牌图像进行二值化处理,并与 Otsu 方法和逐次逼近法作了比较。图 2~4 分别给出了其中三幅车牌图像的二值化结果。

采用传统 Otsu 方法、逐次逼近法和本文算法对三幅车牌图像进行二值化的比较结果如图 2~4 所示。图 5 为原始车牌图像的灰度直方图,均为双峰。用上述三种算法对大量车牌图像二值化,结果表明本文算法自适应能力很强,二值化效果比较好。从图中可以看出,如果不对图像进行预处理而直接采用传统 Otsu 方法和逐次逼近法,由于阈值偏低使得白色像素过多,所得的二值图像周边白点较多,噪声没有得到很好的消除,且字符笔画较粗,不利于后续的几何校正、字符分割、提取和识别。采用本文的算法,可以有效地消除背景噪声,有利于后续的识别处理。实验表明本文提出的方法可以有效地二值化背景偏暗或泛白的车牌图像,同时也适合背景正常情况下的车牌图像的二值化。



图2 车牌图像的二值化结果比较1



图3 车牌图像的二值化结果比较2

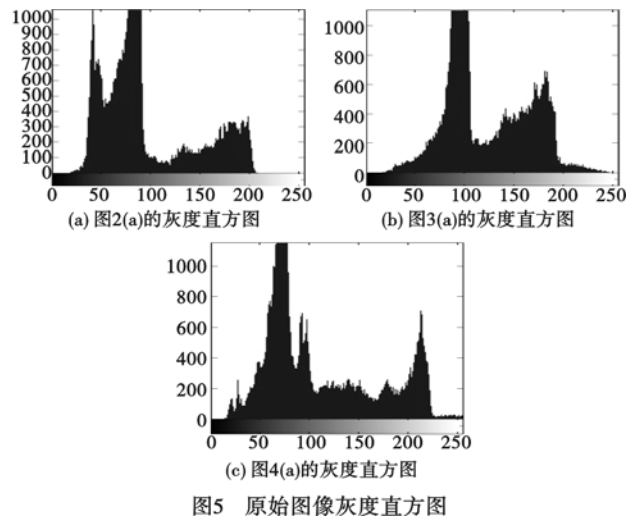


图4 车牌图像的二值化结果比较3

5 结束语

本文利用演化算法对车牌图像进行了二值化操作,使用了 Otsu 方法来选取适应值函数。与其他传统二值化算法相比,

演化算法保证了群体的多样性,加快了收敛速度,缩减了搜索时间,并且能够保证二值化后的车牌图像有较高的真实度。实验结果表明,演化算法可以应用于各种图像的实时分析与处理,且具有较高的实用价值。



参考文献:

[1] 张军. 车牌识别技术的研究与实现[D]. 西安:西安理工大学, 2010.

[2] TINDALL T W. Application of neural network technique to automatic license plate recognition[C]//Proc of European Convention on Security and Detection. London:Institute of Electrical Engineers,1995:81-85.

[3] COMELLI P, FERRAGINA P. Optical recognition of motor vehicle license plate[J]. IEEE Trans on Vehicular Technology, 1995, 44 (4):790-799.

[4] PARISI R, CLAUDIO E, LUCARELL G, et al. Car plate recognition by neural networks and image processing[J]. IEEE Trans on Neural Networks,1998,7(2):195-198

[5] CUI Yun-tao, HUANG Qian. Automatic license extraction from moving vehicles[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 7(4):126-129.

[6] 张禹,马驹良,韩笑. 车牌识别中的图像提取及分割[J]. 吉林大学学报:理学版,2006,44(3):206-210.

[7] 骆雪超,刘桂雄,冯云庆. 一种基于车牌特征信息的车牌识别方法[J]. 华南理工大学学报:自然科学版,2003,31(4):70-73.

[8] 胡斌,宫宁生. 一种改进的 Otsu 阈值分割算法[J]. 微电子学与计算机,2009,26(12):153-155.

[9] 李陵. 一种改进的车牌图像二值化方法[J]. 人工智能及识别技术,2006,12(35):163-164.

[10] 欧阳庆. 不均匀光照下车牌图像二值化研究[J]. 武汉大学学报:工学版,2006,39(4):143-146.

[11] 潘正君,康立山,陈毓屏. 演化计算[M]. 北京:清华大学出版社, 1998.

[12] YAO Xin, XU Yong. Recent advances in evolutionary computation [J]. Computer Science & Technology,2006,21(1):1-18.

[13] 李敏强,寇纪淦,林丹,等. 遗传算法的基本理论与应用[M]. 北京:科学出版社,2002.

[14] 李康顺,潘伟丰,汤铭端,等. 一种基于蜂王交配的求解复杂优化问题的演化算法[J]. 系统仿真学报,2008,20(7):1707-1712, 1757.

[15] 吴一全,吴文怡,潘喆. 二维最大类间方差阈值分割的快速迭代算法[J]. 中国体视学与图像分析,2007,12(3):216-220.

[16] 雷英杰,张善文,李续武. MATLAB 演化算法工具箱及应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2006.