2013年6月

Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology

Jun., 2013

文章编号: 2095-4980(2013)03-0424-05

基于 HEA 算法的二维最大相关准则图像分割

邓上宏1,邓 文2,何小海1,王正勇1

(1.四川大学 电子信息学院,四川 成都 610064; 2.西南电子设备研究所,四川 成都 610036)

摘 要:针对目前一些算法对于同一图像每次分割得出的阈值不同,存在分割不稳定的问题,提出了一种基于和声五元素算法(HEA)的二维最大相关准则图像分割算法。该算法利用图像目标和背景分布的相关量最大值来选取阈值,并运用 HEA 算法优秀的全局搜索能力优化运算速度,提高图像分割的稳定性和质量。实验结果表明本文方法有较好的稳定性,分割效果良好。

关键词:和声五元素算法;最大相关准则;阈值分割;图像分割

中图分类号: TN911.73; TP391.41 文献标识码: A doi: 10.11805/TKYDA201303.0424

Image segmentation based on two-dimensional MCC and HEA

DENG Shang-hong¹, DENG Wen², HE Xiao-hai¹, WANG Zheng-yong¹
(1.College of Electronic and Information, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610064, China;
2.Southwest Institute of Electronic Equipment, Chengdu Sichuan 610036, China)

Abstract: A two-dimensional Maximum Correlation Criterion(MCC) image segmentation based on Harmony Element string Algorithm(HEA) is proposed to resolve the instability of image segmentation algorithms. In this algorithm, the segmentation threshold is selected by using the maximum correlation value of the distribution of the object and background. The stability is optimized by using HEA which has been proved to be an excellent global search method. Experiment results show that the proposed algorithm can improve the stability and quality of image segmentation.

Key words: Harmony Element string Algorithm(HEA); Maximum Correlation Criterion(MCC); threshold segmentation; image segmentation

图像分割是图像分析及模式识别中的一项重要技术,同时也是目前图像处理中急需解决的瓶颈技术难题之一。在岩屑分析中常常需要把各个岩屑颗粒分离出来,统计其岩屑颗粒的数目和种类,图像分割的效果对分析结果有着直接影响。常用的阈值分割方法是在全灰度范围内计算阈值,但该方法存在搜索不稳定、空间开销大的缺点[1-4]。如何稳定、准确地确定最佳阈值已成为今后阈值分割研究的重要方向。

目前图像分割的方法很多,如基于遗传算法的图像分割方法^[5-6],基于模糊逻辑的图像阈值分割方法^[6]等。但这些算法都存在分割阈值不稳定,对于同一图像,每次分割都有不同的分割结果。为了解决该问题,本文提出了基于 HEA 算法的二维最大相关度准则图像阈值分割。HEA 算法是由南非 Cape Town 大学 Yanhong Cui^[7]在 2008年提出的一种新的全局搜索算法,也称和声五元素算法。该算法的提出源于中国传统医学中的"五行"与图论的结合,不仅运算简单,还能达到最大搜索效率。本文提出的方法稳定性极好,寻优能力有一定的提高,分割效果也得到改善。

1 二维最大相关度准则

1.1 二维直方图

设灰度图像大小为 $M \times N$,具有 L+1 个灰度级, $G = \{0,1,2,3,\cdots,L\}$ 为灰度值范围, $n_{i,j}$ 为图像中点灰度为 i,区域灰度均值为j 的像素点数, $p_{i,j}$ 为点灰度一区域灰度均值对(i,j) 发生的概率:

收稿日期: 2012-12-21; 修回日期: 2013-01-31

基金项目: 国家自然科学基金委员会和中国工程物理研究院联合基金资助项目(11176018)

$$p_{i,j} = \frac{n_{i,j}}{S} \tag{1}$$

S 为总像素数。 $P_{i,j}$ 的分布图如图 1 所示。

图中 A 区和 B 区代表目标和背景,C 区和 D 区代表边界和噪声,因此应在 A 区和 B 区中通过二维最大相关准则确定最佳阈值^[5]。

1.2 二维直方图最大相关准则与阈值选取

一维最大相关准则在信噪比较高时,可以取得较好的图像分割结果,但当图像信噪比较低时,其分割能力明显下降。Abutaleb^[8]将一维最大熵法推广到二维,在图像分割上取得了较好的效果,但最大熵法涉及运算较多,本文利用陈修桥等人^[5]提出的二维相关准则对图像进行分割,求取背景与目标的最大相关

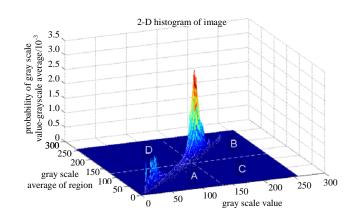


Fig.1 Distribution of 2-D histogram 图 1 二维直方图灰度分布图(Boat 图像)

量,并以此作为选取阈值的标准。对于灰度级范围 $\{i,j=0,1,\cdots,L\}$ 的二维图像直方图,其离散二维相关准则为:

$$C_0 = -\ln \sum_{i \ge 0} \sum_{j \ge 0} p_{i,j}^2 \tag{2}$$

从图 1 可以看出,A 区和 B 区概率 p_{ij} 是不同的,这两类区域发生的总概率在任意门限向量 (s,t)的表示方式如下:

$$P_{A} = \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{t-1} p_{ij}, P_{B} = \sum_{i=s}^{L} \sum_{j=t}^{L} p_{ij}$$
(3)

A区和B区的相关数分别为:

$$C_A(s,t) = -\ln \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{t-1} \left(\frac{p_{ij}}{P_A}\right)^2 = -\ln \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{t-1} p_{ij}^2 + 2\ln P_A = -\ln G_A + 2\ln P_A$$
 (4)

$$C_B(s,t) = -\ln \sum_{i=s}^{L} \sum_{j=t}^{L} \left(\frac{p_{ij}}{P_B}\right)^2 = -\ln \sum_{i=s}^{L} \sum_{j=t}^{L} p_{ij}^2 + 2\ln P_B = -\ln G_B + 2\ln P_B$$
 (5)

式中: $G_A = \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{t-1} p_{ij}^2, G_B = \sum_{i=s}^{L} \sum_{j=t}^{L} p_{ij}^2$ o

可从图 1 观察得到, C 区和 D 区所占的比例较少,意味着其在计算过程中的贡献很低,本文为了简化运算,将该部分的贡献忽略,故这两区域的 $p_{ii}\approx 0$,可以得到:

$$P_B = 1 - P_A, G_B = G_L - G_A \tag{6}$$

式中: $G_L = \sum_{i=0}^L \sum_{j=0}^L p_{ij}^2$, 于是 $C_B(s,t) = -\ln(G_L - G_A) + 2\ln(1 - P_A)$, 准则函数 C(s,t) 为 $C_A(s,t)$, $C_B(s,t)$ 之和。

$$C(s,t) = C_A(s,t) + C_B(s,t) = -\ln[G_A \times G_B] + 2\ln[P_A \times P_B] = -\ln[G_A \times (G_L - G_A)] + 2\ln[P_A \times (1 - P_A)]$$
 (7)

选取的最佳阈值向量(s',t')满足

$$(s',t') = \arg\max_{0 \le s,t \le L} C(s,t)$$
(8)

2 结合 HEA 算法的阈值分割

2.1 HEA 算法

HEA 算法(和声五元素算法)是将中国传统医学中的"五行"与计算机仿真结合一起的优化算法,其中"五行"在算法中用集合{0,1,2,3,4}表示。与目前大部分的全局优化算法相比,HEA 算法既能达到计算最简单,又能达到较高的搜索效率。该算法具有 3 个基本特点[1]: 1) 算法将系统状态用 5 个元素的集合{0,1,2,3,4}表示,搜索最优状态是通过集合运算来实现的; 2) 引入了平衡全局与局部搜索的加权系统 0 可以有效地避免陷入局部搜索最优; 3) 集合运算是一种伪线性变换,在求解非线性多元目标方程最优解时本质上是线性的。该算法延续了遗传算法的思想,用数集来表示与目标函数关联的系统状态和适应度。但 HEA 算法中使用的数集是 5 个元素{0,1,2,3,4}

集合,而不是使用遗传算法中的{0,1}集合。HEA 算法把目标函数看作一个系统,通过在该系统中模拟五元素的平衡来产生一个更好的系统或者为其找到一个更好的解决方案。

2.1.1 HEA 算法实现

设 $\underline{x} = (x_1, x_2, ..., x_n)^T \in D \in \mathbb{R}^2$ 表示目标方程的状态,其中上标 T 表示矩阵转置。用来表示 \underline{x} 的数组长度 p > nu,u 是集合 $\{0,1,\cdots,s-1\}$ 个数。 $\underline{x} = (x_1, x_2, ..., x_n)^T$ 可以表示为:

$$\underbrace{e_1 e_2 \cdots e_u}_{X_1} \underbrace{e_{u+1} \cdots e_{2u}}_{X_2} \cdots \underbrace{e_{(n-1)u+1} \cdots e_{nu}}_{X_n} \tag{9}$$

权重矩阵 $\mathbf{O} = (o_{ij})_{\mathbf{n} \times \mathbf{n} \mathbf{u}}$, 其中第 i^{th} 行 $\underline{o}_{i}^{\mathsf{T}}$ 为:

$$\left(0,0,\dots,0,\dots,\frac{s^{s}}{s^{s+1}},\frac{s^{s-1}}{s^{s+1}},\dots,\frac{s^{0}}{s^{s+1}},\dots,0,0,\dots,0\right)$$
(10)

由上述方程,可得x的表示方式:

$$\underline{x} = \underline{u}_{\min} + u_r \mathbf{O}\underline{e} \tag{11}$$

式中: $u_r = \max_{1 \leq i \leq n} \{u_{\max,i} - u_{\min,i}\}, \ \underline{u}_{\min} \leq \underline{x} \in D, \ \underline{u}_{\max} \geqslant \underline{x} \in D$ 。

2.1.2 操作符定义

HEA 算法中定义了 if-else 操作符,对于 $e \in \{0,1,\dots,s-1\}$,有变换规则 $\lambda[e]$:

$$\lambda[e] = \begin{cases} e+1, & e \in \{0,1,\dots,s-2\} \\ 0, & e=s-1 \end{cases}$$
 (12)

HEA 算法的更多解释请参看文献[7]。

2.2 HEA 算法在图像分割中的实现

本文将二维直方图的优点与 HEA 算法的快速稳定的搜索能力结合起来,优化了二维最大相关度准则的寻优能力和稳定性。基于 HEA 算法的图像分割步骤如下:

第1步:种群初始化

设种群数 N 为 20, 代数 G 为 50, 编码长度 C 为 12, 分割阈值搜索范围 $R \in [0,255]$; 随机生成 2 个种子矩阵 \mathbf{Q}_{\max} 和 \mathbf{Q}_{\min} (大小为 $N \times M$, $M = C \times n$,因式(7)的准则函数中含有 2 个待求未知量,所以 n = 2),取值范围为集合 $\{0,1,2,3,4\}$ 。

第2步: 计算适应度

对经过初始化的种子 Q_{max} 和 Q_{min} 每个值进行 $\lambda[e]$ 运算,生成 10 个备选矩阵 $Q_i(i=1,2,\cdots,10)$

$$Q_{i} = \lambda^{(i-1)} [Q_{\min}], \quad i = 1, 2, 3, 4, 5
Q_{i} = \lambda^{(i-6)} [Q_{\max}], \quad i = 6, 7, 8, 9, 10$$
(13)

式中: $Q_1 = Q_{\min}$, $Q_6 = Q_{\max}$; 并将 $Q_i(i=1,2,\cdots,10)$ 合并为一个大矩阵 Q, 大小为 $(10 \times N) \times (C \times 2)$ 。然后将大矩阵 Q与式(10)的权重相乘得到结果,代人式(7)的准则函数,计算出适应度矩阵 F,大小为 $1 \times (10 \times N)$ 。

第 3 步: 更新最佳阈值

找出最大适应度值更新最佳阈值,如果最佳阈值未能稳定,则更新种子矩阵 $Q_{max}^{"}$ 与 $Q_{min}^{"}$,返回第 1 步。更新种子矩阵 $Q_{max}^{"}$ 与 $Q_{min}^{"}$ 步骤如下:

- 1) 对矩阵 F 进行降序和升序排列,根据排序后的下标在 Q 中获得 2 个矩阵 Q'_{max} , Q'_{min} , 再对 Q'_{max} , Q'_{min} 每个值进行 $\lambda[e]$ 运算,得到种子 Q'_{max} 和 Q'_{min} ;
 - 2) 将 $Q_{max}^{"}$ 与 $Q_{min}^{"}$ 每个相同位置的值进行比较,如果值相等,则用 $Q_{max}^{"}$ 的第1行相同列的值代替该位置的值;
 - 3) 更新种子, $Q_1 = Q_{\min}^{"}$, $Q_6 = Q_{\max}^{"}$,重新回到第 1 步。

第 4 步: 当循环代数执行了最大次数(代数 G)后停止循环,或者连续执行 10 次,适应度函数没有发生变化,则停止循环。

3 实验结果

用于实验的 2 幅岩屑图像大小都为 480×480 像素, 灰度级均为($0 \sim 255$)。比较本文方法与其他 2 种方法的效果, 如图 2 所示, 其中, 图 2(a),(b),(c),(d)为原图像; 图 2(a1),(b1),(c1),(d1)为改进的模糊阈值图像分割方法^[6]; 图 2(a2),(b2),(c2),(d2)为二维最大相关度准则与遗传算法^[2]; 图 2(a3),(b3),(c3),(d3)为本文方法的分割结果图。

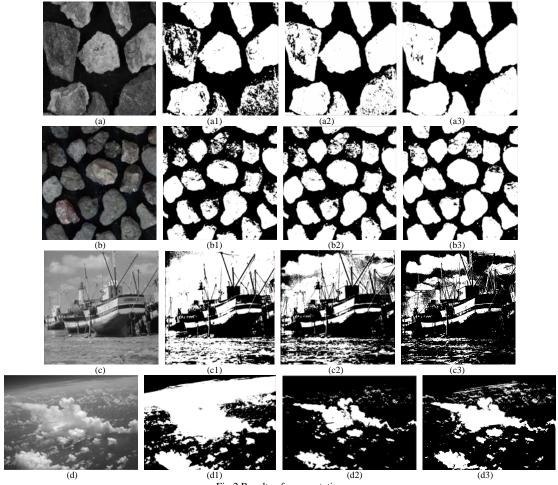


Fig.2 Results of segmentation 图 2 图像分割后的效果

从图像分割质量来观察,当图像亮度较低时,如图 2(a),(b),改进的模糊阈值图像分割方法所得到的阈值显然取得过大,边缘信息大部分没有提取出来,伪噪点过多,原本是目标却被当成背景,被伪噪声淹没。而图像亮度较高时,所得阈值过小,把部分背景当成了目标提取出来;二维最大相关度准则与遗传算法把大部分的岩屑颗

粒边缘提取出来,但颗粒内部出现很多伪噪点。对于其他图像,如图 2(c),(d),阈值取得过小,有部分背景也被当成目标,影响分割效果;图 2(a3),(b3),(c3),(d3)是本文的分割结果图,目标的边缘信息大部分被提取出来,目标与背景相对其他 2 种方法更为分明,虽有少量的伪噪点,但整体效果较好。

从图像分割稳定性来观察,对于同一张图片进行了多次算法实验,如表1所示,其中表1的数据为随机抽取3次实验的结果,可以看到,文献[5]和文献[6]两种方法的稳定性不如本文算法,每次分割都呈现出差别较大的阈值,这不利于图像分割。

表 1 分割阈值比较 Table1 Comparison of thresholds

	method of paper 5 threshold	method of paper 6 threshold	method of this paper threshold
original image a	(55,57)	(49,57)	(35,36)
	(57,63)	(44,41)	(35,36)
	(55,60)	(37,52)	(35,36)
original image b	(59,70)	(61,68)	(41,43)
	(62,78)	(65,64)	(41,42)
	(62,63)	(67,62)	(42,42)
original image c	(131,137)	(114,178)	(179,128)
	(123,135)	(187,129)	(179,129)
	(135,140)	(176,121)	(179,129)
original image d	(137,128)	(158,170)	(164,159)
	(130,128)	(180,176)	(164,160)
	(129,136)	(145,166)	(164,160)

4 结论

对于同一图像,获得稳定的阈值对图像分割比较重要。然而目前大部分算法存在分割不稳定的问题,对于同一图像,每次得出不同的分割阈值。本文提出了一种基于 HEA 算法的二维最大相关准则阈值分割方法,该方法兼顾了二维直方图的降噪性和 HEA 的全局搜索能力等优势,优化了分割效果,提高了分割质量和稳定性。不仅对岩屑图像的分割效果较好,对其他图像的分割也有不错的表现。

参考文献:

- [1] 何小娜,逄焕利. 基于二维直方图和改进蚁群聚类的图像分割[J]. 计算机技术与发展, 2010,20(3):128-131. (HE Xiaona,PANG Huanli. Image Segmentation Based on Improved Ant Colony Clustering and Two-Dimensional Histogram[J]. Computer Technology and Development, 2010,20(3):128-131.)
- [2] 刘松涛,殷福亮. 基于图割的图像分割方法及其新进展[J]. 自动化学报, 2012,38(6):911-922. (LIU Songtao,YIN Fuliang. The Basic Principle and Its New Advances of Image Segmentation Methods Based on Graph Cuts[J]. Acta Automatica Sinica, 2012,38(6):911-922.)
- [3] 邱存勇,肖建. 区间二型模糊 C 均值聚类在图像分割中的应用[J]. 信息与电子工程, 2011,9(6):754-758. (QIU Cunyong,XIAO Jian. An Interval Type-2 Fuzzy C-Means algorithm for image segmentation[J]. Information and Electronic Engineering, 2011,9(6):754-758.)
- [4] 张秋淋,朱习军,刘大专,等. 大鱼际掌纹图像边缘提取算法[J]. 信息与电子工程, 2011,9(1):69-73. (ZHANG Qiulin, ZHU Xijun,LIU Dazhuan,et al. Edge extraction algorithm of thenar palmprint image[J]. Information and Electronic Engineering, 2011,9(1):69-73.)
- [5] 陈修桥,胡以华,黄友锐. 基于二维最大相关度准则的图像阈值分割[J]. 红外与毫米波学报, 2005,24(5):397-400. (Chen Xiuqiao,Hu Yihua,Huang Yourui. Image Thresholding Segmentation Based on Two-Dimensional MCC[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2005, 24(5):397-400.)
- [6] 杜晓晨,刘建平. 改进的模糊阈值图像分割方法[J]. 光电工程, 2005,32(10):51-54. (Du Xiaochen,Liu Jianping. Improved method for image thresholding based on fuzzy index[J]. Opto-Electronic Engineering, 2005,32(10):51-54.)
- [7] Cui Y H,Guo R,Rao R V,et al. Harmony Element Algorithm-A Naiva Initial Searching Range[C]// Proceedings of the International Conference on 'Advances in Mechanical Engineering'. Gujarat,India:Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology, 2008:15-17.
- [8] Abutaleb A S. Automatic thresholding of gray-level pictures using two-dimension entropy[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1989,47(1):22-32.

作者简介:



邓上宏(1986-),男,广东省吴川市人,在读硕士研究生,主要研究方向为图像处理与网络通信.email:dshanghong@126.com.

邓 文(1978-), 男, 南宁市人, 硕士, 工程师, 研究方向为通信与信息系统、信号处理.

何小海(1964-),男,四川省绵阳市人,博士,教授,主要研究方向为通信与信息处理、图像处理、机器视觉与智能.

王正勇(1969-), 女,四川省达县市人,副教授,研究生导师,主要研究方向为图像处理、模式识别、信号与信息处理.