

文章编号: 1001-0920(2013)02-0317-04

## 一种基于相容粒度空间的图像分割方法

谢刚, 盛彬, 王芳

(太原理工大学信息工程学院, 太原 030024)

**摘要:** 定义归一化邻域方差, 选取它和像素灰度值、邻域均值作为图像相容粒度空间的条件属性, 构造出基于条件属性的相容粒度空间. 根据相容关系进行图像粒化, 定义相容决策粒间距离测度函数, 利用思维进化算法(MEA)最优选取阈值, 合成决策粒, 实现对目标区域的提取, 完成图像分割. 实验结果表明所提出算法去噪效果明显, 具有较好的稳定性和收敛速度.

**关键词:** 归一化邻域方差; 相容粒度空间; 图像分割; 思维进化算法

**中图分类号:** TP391.4

**文献标志码:** A

## An image segmentation method based on tolerance granular space

XIE Gang, SHENG Bin, WANG Fang

(College of Information Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China. Correspondent: XIE Gang, E-mail: xiegang@tyut.edu.cn)

**Abstract:** Normalized neighborhood variance is defined, which is selected with pixels gray value, neighborhood mean as the condition attributes of image granular space. A tolerance granular space of images is constructed by condition attributes. The images are granulated by using tolerance relations. A tolerance granular distance measure function is defined. Mind evolutionary algorithm(MEA) is used to optimize the thresholds, then decision granules are synthesized. Finally, target regions are extracted and image segmentations are completed. The experimental results show that the proposed algorithm has better denoise effects, strong stability and rapid convergence velocity.

**Key words:** normalized neighborhood variance; tolerance granule space; image segmentation; mind evolutionary algorithm

### 0 引言

图像分割是图像处理的关键步骤, 分割结果的好坏将直接影响各种后续过程的分析与处理(如目标配准与融合等). 近年来, 许多学者为了提高分割精度, 将图像分割与软计算相结合<sup>[1-2]</sup>, 为解决图像分割问题提出了新的途径.

粒计算是软计算研究领域的热点之一, 而相容粒度空间模型是一种新的粒计算模型, 通过模拟不同层次、不同粗细的粒的关系进行问题求解, 在图像分割<sup>[3]</sup>、图像检索<sup>[4]</sup>等方面得到了广泛应用. 文献[3]将区域增长与粒计算相结合, 提出了基于相容粒度空间的医学图像分割算法, 实现了对肺组织的提取. 文献[4]提出粒空间的相似度计算, 与纹理图像的识别相结合, 提高了图像检索的准确率.

本文将粒计算与图像分割相结合, 提出一种基于

相容粒度空间的图像分割算法. 选取像素灰度值、邻域均值和新定义的归一化邻域方差作为图像粒度空间的条件属性, 构造出基于条件属性的相容粒度空间. 优化计算相容粒的合成, 分割图像, 能够获得较好的分割效果.

### 1 图像条件属性的选取

像素灰度值可以描述图像的颜色特征, 但是, 若只选灰度值则会丢失图像的空间信息. 为了增大信息量, 考虑图像的空间信息, 本文引入如下邻域均值和邻域方差的定义(设待分割图像为 $I$ , 其尺寸为 $M \times N$ , 灰度级为 $L$ ).

**定义1** 图像 $I$ 中像素 $x$ 的 $k \times k$ 邻域均值 $m(x)$ 定义为

$$m(x) = \left\lfloor \frac{1}{|A(x) + 1|} \left( \sum_{y \in A(x)} f(y) + f(x) \right) \right\rfloor. \quad (1)$$

收稿日期: 2011-07-11; 修回日期: 2011-12-28.

基金项目: 山西省留学回国人员基金项目(2009-31); 太原市科技项目人才专项基金项目(120247-28).

作者简介: 谢刚(1972-), 教授, 博士, 从事图像处理与视频监控、信息物理系统等研究; 盛彬(1986-), 女, 硕士生, 从事图像处理的研究.

其中:  $\lfloor \cdot \rfloor$  表示取整;  $A(x)$  表示  $x$  的  $k \times k$  邻域;  $|\cdot|$  表示基数;  $x, y \in I$ ;  $k$  一般取奇数;  $f(\cdot)$  表示像素的灰度值. 显然, 邻域均值的灰度级也为  $L$ .

**定义 2** 图像  $I$  中像素  $x$  的  $k \times k$  邻域方差  $NV(x)$  定义为像素灰度值与其邻域均值之差的平方, 即

$$NV(x) = (f(x) - m(x))^2. \quad (2)$$

其中:  $x \in I$ ,  $f(\cdot)$  和  $m(\cdot)$  分别表示像素的灰度值和邻域均值.

图像中存在的边界、噪声像素的数目较少, 邻域方差值较大, 会造成整幅图像的像素邻域方差值数据分布不规则、范围跨度大, 故本文提出利用参数  $\beta$  使这类像素的邻域方差值归一化为  $L - 1$ , 从而使整幅图像的像素邻域方差统计量较为均匀地分布在  $0 \sim L - 1$  范围内, 以便于分析.

**定义 3** 图像  $I$  中像素  $x$  的  $k \times k$  归一化邻域方差  $v(x)$  定义为

$$v(x) = \begin{cases} \left\lfloor \frac{L-1}{\beta NV_{\max}} \times NV(x) \right\rfloor, & NV(x) \leq \beta NV_{\max}; \\ L-1, & NV(x) > \beta NV_{\max}. \end{cases} \quad (3)$$

其中:  $NV_{\max} = \max_{x \in I} (NV(x))$ ,  $\lfloor \cdot \rfloor$  表示取整,  $\beta \in (0.5, 1]$ .

本文选取像素灰度值、邻域均值和归一化邻域方差值共同作为图像的条件属性, 将图像分析从点扩展到粒度空间, 从不同角度划分粒. 灰度均值反映了图像的平均特性, 灰度方差能够反映图像中的细节部分, 提高对噪声和边界像素的敏感程度, 从而能够更好地描述图像的空间信息.

## 2 基于相容粒度空间的图像分割算法

### 2.1 相容关系<sup>[5]</sup>

相容关系是一个满足自反性和对称性的二元关系. 根据文献[5], 定义  $X$  为对象空间, 对于任意两个对象  $\alpha \in X$  和  $\beta \in X$ ,  $(\alpha, \alpha)$  和  $(\beta, \beta)$  均满足相容关系  $\text{tr}$ , 且如果  $(\alpha, \beta)$  满足  $\text{tr}$ , 则  $(\beta, \alpha)$  也满足  $\text{tr}$ .

若  $\text{tr}$  是集合  $X$  中的相容关系, 且集合  $Y \subseteq X$ , 使得对于任意的  $x, y \in Y$  均满足  $x \text{tr} y$ , 则集合  $Y$  成为  $X$  上满足相容关系  $\text{tr}$  的相容类.

### 2.2 相容粒度空间模型的建立

将一幅尺寸为  $M \times N$  的待分割图像  $I$  描述为基于相容关系的信息系统  $(U, C, D, \text{tr})$ . 其中:  $U = \{x_1, x_2, \dots, x_{M \times N}\}$  为全域、非空的有限集, 其组成对象是待分割图像的全体像素;  $C = \{c_1, c_2, c_3\}$  为条件属性,  $c_1$  为像素灰度值属性,  $c_2$  为像素邻域均值属性,  $c_3$  为像素归一化邻域方差值属性;  $D$  为决策;  $\text{tr}$  表示相容关系.

根据条件属性  $C = \{c_1, c_2, c_3\}$  可以得到如下相

容关系规则集.

**规则 1** 存在

$$\{(x, y \in U) \wedge (f(x) = f(y) = i) \wedge (0 \leq i \leq L - 1) \wedge (i \in Z)\} \Rightarrow x \text{tr}_1 y;$$

**规则 2** 存在

$$\{(x, y \in U) \wedge (m(x) = m(y) = j) \wedge (0 \leq j \leq L - 1) \wedge (j \in Z)\} \Rightarrow x \text{tr}_2 y;$$

**规则 3** 存在

$$\{(x, y \in U) \wedge (v(x) = v(y) = k) \wedge (0 \leq k \leq L - 1) \wedge (k \in Z)\} \Rightarrow x \text{tr}_3 y.$$

规则 1~规则 3 中:  $f(\cdot)$ ,  $m(\cdot)$  和  $v(\cdot)$  分别表示像素的灰度值、邻域均值和归一化邻域方差值;  $\text{tr}_1$ ,  $\text{tr}_2$ ,  $\text{tr}_3$  分别表示满足不同规则的 3 种相容关系. 因此, 选择不同的规则会对对象产生不同的分类, 即条件属性  $C$  可以根据上述 3 种相容关系对  $U$  中所有对象进行划分, 实现了对空间的粒化, 构成了相容空间. 通过划分得到的每一类称作一个相容类, 则  $U$  上满足相容关系  $\text{tr}_1$ ,  $\text{tr}_2$ ,  $\text{tr}_3$  的 3 种相容类  $F$ ,  $M$ ,  $V$  分别为:  $F = \{F_0, F_1, \dots, F_{L-1}\}$ ,  $M = \{M_0, M_1, \dots, M_{L-1}\}$ ,  $V = \{V_0, V_1, \dots, V_{L-1}\}$ . 因此, 又构造出了基于条件属性的相容粒度空间  $C_G$ .

### 2.3 相容粒的合成

在建立了待分割图像相容粒度空间模型的基础上, 可以进行相容粒的合成, 实现图像分割. 在合成过程中, 参数的选取是至关重要的.

本文算法将论域  $U$  中的全体像素对象划分为 3 种相容粒, 分别是目标粒  $G_O$ 、背景粒  $G_B$ 、边界和噪声粒  $G_E$ , 即决策  $D = \{G_O, G_B, G_E\}$ . 划分边界和噪声粒是因为从概率角度看, 虽然边界和噪声像素的数目在一幅图像中所占的比例很小, 但是它们也会存在一定的概率分布, 会影响粒的合成和分割精度. 本文将目标粒  $G_O$ 、背景粒  $G_B$ 、边界和噪声粒  $G_E$  的相容决策粒间距离测度函数定义为

$$\sigma^2(P_f, P_m, P_v) = \omega_0 \|\mu_0 - \mu_T\|^2 + \omega_1 \|\mu_1 - \mu_T\|^2 + \omega_2 \|\mu_2 - \mu_T\|^2. \quad (4)$$

其中:  $\|\cdot\|$  表示距离;  $P_f$ ,  $P_m$ ,  $P_v$  分别表示灰度、邻域均值和归一化邻域方差条件属性的离散化阈值;  $\omega_0$ ,  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  分别表示目标粒、背景粒和边界噪声粒出现的概率, 且  $\omega_0 + \omega_1 + \omega_2 = 1$ ;  $\mu_0 = (\mu_{0i}, \mu_{0j}, \mu_{0k})$ ,  $\mu_1 = (\mu_{1i}, \mu_{1j}, \mu_{1k})$ ,  $\mu_2 = (\mu_{2i}, \mu_{2j}, \mu_{2k})$  分别表示相应粒的均值矢量;  $\mu_T = (\mu_{Ti}, \mu_{Tj}, \mu_{Tk})$  表示图像的总体均值矢量.

**策略 1** 若相容决策粒间距离测度函数取到最

大值, 则获得最佳相容粒的划分, 即由策略 1 得到的最优阈值表达式为

$$(P_f^*, P_m^*, P_v^*) = \max_{0 \leq P_f, P_m, P_v \leq L-1} \{\sigma_B^2(P_f, P_m, P_v)\}.$$

**策略 2** 在确定最优阈值得到最佳相容粒的划分时, 即可对目标粒进行合成,  $G_O$  表示如下:

$$G_O = CB(\{F_0 \cup F_1 \cup \dots \cup F_{P_f}\} \cap \{M_0 \cup M_1 \cup \dots \cup M_{P_m}\} \cap \{V_0 \cup V_1 \cup \dots \cup V_{P_v}\}), \quad (5)$$

其中  $CB(\cdot)$  表示粒的合成.

显然, 由策略 2, 通过对相容粒的合成能够实现目标提取, 进而完成图像分割.

### 2.4 基于思维进化算法的阈值优化

为了降低运算复杂度, 提高最优阈值的选取速度, 本文采用思维进化算法进行阈值优化. 思维进化算法<sup>[6]</sup>(MEA) 主要模拟人类的思维过程, 通过迭代进行不断进化的学习方法, 目前在智能控制、图像处理等领域得到了广泛的应用<sup>[7]</sup>. MEA 用于优化阈值选取的步骤如下.

**Step 1:** 设置 MEA 算法初始参数, 其中个体  $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, p_{i3})$  是相容粒合成的一个可行解;

**Step 2:** 对种群进行初始化操作;

**Step 3:** 令式 (4) 作为适应度函数, 计算每个个体和子群体的适应度函数值;

**Step 4:** 对所有优胜、临时子群体进行自适应趋同操作;

**Step 5:** 对所有临时子群体进行自适应异化操作;

**Step 6:** 若满足终止条件, 则输出最优个体, 转至 Step 7, 否则转至 Step 3;

**Step 7:** 根据最优个体进行相容粒的合成, 完成图像分割.

本文提出的基于相容粒度空间的图像分割算法流程如图 1 所示.

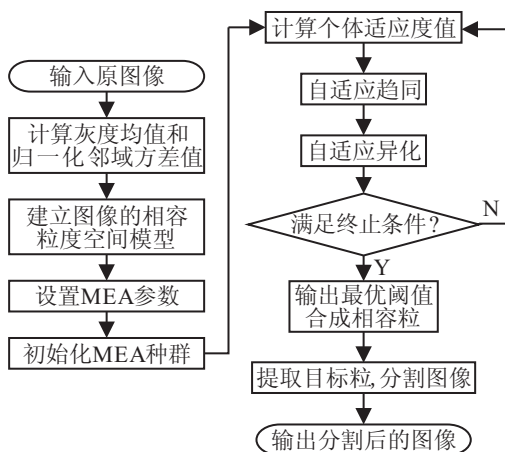


图 1 算法流程

## 3 实验及分析

### 3.1 评价准则

采用图像中相邻两个区域之间的灰度对比度 GC (gray-level contrast) 作为分割效果评价准则<sup>[8]</sup>, 即

$$GC = \frac{|\theta_1 - \theta_2|}{\theta_1 + \theta_2}, \quad (6)$$

其中  $\theta_1$  和  $\theta_2$  分别为两个相邻区域的平均灰度. GC 值越大表明分割效果越好.

### 3.2 实验结果及分析

本文的仿真实验均在 Matlab 7.0 上实现, 分别采用经典 KSW 法<sup>[9]</sup>、二维 Otsu 法、经典模糊 C 均值方法 (FCM) 和本文提出的算法对原始图像进行分割. 原始图像如图 2 所示, 包括一幅遥感图像 (华盛顿特区图像, 由 NASA 陆地卫星拍摄)、一幅胸部 CT 图像 (由山西医科大学第一附属医院影像科提供) 和一幅加入椒盐噪声的 peppers 图像, 尺寸均为  $256 \times 256$ , 计算邻域均值和归一化邻域方差值的模板尺寸均为  $5 \times 5$ . 各种算法的分割结果如图 3 所示, GC 值如表 1 所示.

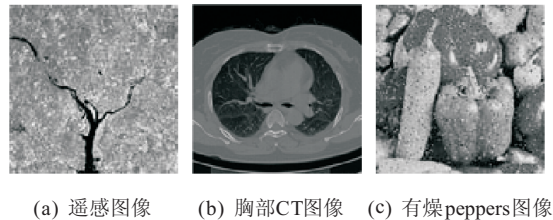
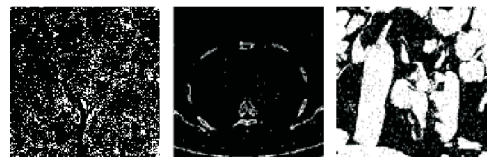


图 2 原始图像



(a) KSW 算法的分割结果



(b) 二维 Otsu 算法的分割结果



(c) FCM 算法的分割结果



(d) 本文算法的分割结果

图 3 各种分割算法的分割结果对比

表 1 图像分割的 GC 值

算法	遥感图像	胸部 CT 图像	有噪 peppers 图
KSW 法	0.2390	0.4107	0.3734
二维 OTSU 法	0.2589	0.6999	0.3741
FCM 法	0.3047	0.4660	0.3233
本文算法	0.7747	0.7129	0.3968

从分割结果可以看出: 对于无噪遥感图像和 CT 图像, KSW 法效果较差, 没有提取出目标物; 二维 OTSU 法基本能够使目标与背景分离, 但对于遥感图像只能看出部分河流走势, 效果不明显, 对于 CT 图像无法分割出较细的支气管, 而且分割后的轮廓呈锯齿状; FCM 法对于遥感图像的分割效果优于二维 OTSU 法, 但仍有少量背景干扰, 对于 CT 图像只分割出了较粗的支气管, 误差比较明显; 本文算法明显优于其他算法, 对于遥感图像, 清晰地将河流目标从背景中分离出来, 去除了背景的影响; 对于 CT 图像, 肺实质区域保留了较好的轮廓细节, 毛刺少, 且分割出的支气管断裂少; 对于有噪 peppers 图像, FCM 法产生了偏差, 出现了部分误分割, 其余算法的分割结果相差不多, 基本提取出了目标. 若仔细辨别每种算法的分割结果, 则会发现本文算法的最大特点是去除了目标区域的噪声, 效果直观、明显.

综合上述分割结果, 本文算法的最大优势在于将反映细节的归一化邻域方差作为图像粒度空间的属性之一, 同时在合成决策粒时, 考虑了噪声的影响, 使得分割出的目标边缘光滑、清晰, 且去噪效果明显. 运用思维进化算法加快了算法的运算速度, 因此, 本文算法在分割效果和运算速度上均有明显的优势.

由表 1 可知, 本文所提出算法的 GC 值最大, 表明定量的评价与人的主观判决基本一致, 再次表明本文算法的精确度较高, 是一种有效的分割算法.

#### 4 结 论

为了增大信息量, 反映图像的平均特性和细节信息, 本文定义了归一化邻域方差, 并将它与像素灰度、邻域均值一起作为图像粒度空间的属性, 构造出基于条件属性的相容粒度空间. 通过相容关系对论述全域中的对象粒化生成相容粒, 考虑边界和噪声的影响, 定义了目标、背景及边界和噪声 3 种决策粒, 定义了相容决策粒间距离测度函数, 提出了基于相容粒度空间的图像分割算法. 该算法利用思维进化算法优化决策粒的划分, 选取最优阈值, 根据最优阈值对相容粒进行合成, 完成对目标区域的提取, 实现图像分割. 实验结果表明, 本文算法是一种行之有效的图

像分割方法, 适用于像素灰度对比度低、反差不大且含有噪声及需要提取细节信息的图像. 在今后的研究中, 本文算法针对不同的适用环境, 还可考虑不同的条件属性, 构造出相应的图像相容粒度空间模型, 实现图像分割.

#### 参考文献(References)

- [1] Akhilesh Chander, Amitava Chatterjee, Patrick Siarry. A new social and momentum component adaptive PSO algorithm for image segmentation[J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(5): 4998-5004.
- [2] Zafer Iscan, Ayhan Yüksel, Zümray Dokur. Medical image segmentation with transform and moment based features and incremental supervised neural network[J]. *Digital Signal Processing*, 2009, 19(5): 890-901.
- [3] Xie Gang, Cao Tian-rui, Yan Cheng-dong. Texture features extraction of chest HRCT images based on granular computing[J]. *J of Multimedia*, 2010, 5(6): 639-647.
- [4] 徐久成, 李晓艳, 李双群. 基于相容粒的多层次纹理特征图像检索方法[J]. *广西师范大学学报: 自然科学版*, 2011, 29(1): 186-189.  
(Xu J C, Li X Y, Li S Q. Feature images retrieval method of tolerance granular-based multi-level texture[J]. *J of Guangxi Normal University: Natural Science Edition*, 2011, 29(1): 186-189.)
- [5] 郑征. 相容粒度空间模型及其应用研究[D]. 北京: 中国科学院计算技术研究所, 2006: 51-52.  
(Zheng Z. Tolerance granular space and its applications[D]. Beijing: Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, 2006: 51-52.)
- [6] Wang Chuanlong, Xie Keming. Convergence of a new evolutionary computation algorithm in continuous state space[J]. *Int J of Computer Mathematics*, 2002, 79(1): 27-37.
- [7] 王芳, 谢克明, 刘建霞. 基于群体智能的思维进化算法设计[J]. *控制与决策*, 2010, 25(1): 145-148.  
(Wang F, Xie K M, Liu J X. Swarm intelligence based MEA design[J]. *Control and Decision*, 2010, 25(1): 145-148.)
- [8] Levine M D, Nazif A M. Dynamic measurement of computer generated image segmentations[J]. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1985, 7(2): 155-164.
- [9] Kapur J N, Sahoo P K, Wong A K C. A new method of gray-level picture threshold using the entropy of the histogram[J]. *Computer Vision, Graphics and Image*, 1985, 29(2): 273-285.