

# 图象分割质量评价方法研究

侯格贤 毕笃彦

(空军工程学院四系, 西安 710038)

吴成柯

(西安电子科技大学 102 室, 西安 710071)

**摘要** 分析研究了图象分割质量的评价方法, 将模糊集合的概念应用到分割评价方法中, 引入模糊度测度, 提出了一个简单有效的映射函数, 可以快速有效地将图象从空间域变换到模糊性质域. 对几种具有实际意义的图象分割质量评价参数及模糊度做了分析, 提出了一个综合评价函数. 实验结果表明: 引入的模糊度比较准确地反映了分割图象的质量, 其反映的分割图象质量差别与人的视觉效果基本一致.

**关键词** 图象分割 模糊集合 质量评价

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)01-0039-05

## Researches on Evaluation Methods for Image Segmentation

HOU Ge-xian, BI Du-yan

(The Air Force College of Engineering, Xi'an 710038)

WU Cheng-ke

(Department of Information Engineering, Xidian University, Xi'an 710071)

**Abstract** Since different segmentation algorithms works well for different applications, quality evaluation of image segmentation is indispensable, and thus we introduce fuzzy measure into quality evaluation algorithm of image segmentation and propose a function that could change an image to the field of fuzzy property effectively. Moreover, a composite evaluation function that includes region uniformity, gray contrast, shape parameter and fuzzy measure is presented. The experiment results indicate that fuzzy measure can evaluate image segmentation quality correctly.

**Keywords** Image segmentation, Fuzzy sets, Quality evaluation

## 0 引言

我们对图象分割的结果通常以人的主观判决作为评价准则, 尽管对大多数图象处理问题而言, 最后的信宿是人的视觉, 但对不同分割方法的处理结果作一定量的比较、评价也是必需的, 这是一个有意义但比较困难的问题.

从目前的文献来看, 已有学者在这方面做了一些工作<sup>[1,2]</sup>. 一般认为对分割方法的评价可以通过分析和实验两种方式进行, 因此, 分割评价方法可以分为分析法和实验法两大类. 分析法是直接分析分

割算法本身的原理及性能, 而实验法是通过测试图象的分割结果来评价算法的. 尽管利用分析法对分割算法的评估可以免除一些实验因素的影响, 但是, 并非所有的算法性能都能够通过分析而得到. 迄今为止, 还缺乏有关图象分割的一般理论作为分析法的理论依据. 通过对实际分割结果的分析来评估分割算法是具有实际意义的, 有关分割方法评估的实验方法已经提出了不少, 大致又可以分为优度法和偏差法两类. 优度法一般是以建立在人的视觉基础上的某些图象特征为依据来评价分割效果. 偏差法往往需要首先提供一个理想分割图象作为比较标准, 依此来计算实际分割结果与理想分割图象的差

别,这种差别可以是基于错误分割的像素数,也可以是基于错误分割像素点的位置,或者是基于分割结果区域数的差别等等.实际情况是可供比较的图象样本很难统一认定,因此,这类方法在实用上有很大的局限性.

我们就具有实际意义的实验优度法做了分析研究,这类方法在没有正确分割的先验知识的情况下,仅仅根据分割图象计算某种优度量值来评价分割算法的好坏,因此,以什么作为优度量值是很关键的.目前常用的有区域一致性、区域形状、区域对比度等.由于基于模糊逻辑或可能性理论的推理方式,冲破了经典逻辑的束缚,更接近人类的真实思维和决策,因此,我们提出利用图象的模糊度来衡量图象分割的质量,并设计了一个将图象从空间域变换到模糊性质域的映射函数.

## 1 常用测度

### 1.1 区域一致性

图象分割后分割区域的一致性应当反映出分割结果的好坏,一个好的分割算法应当能产生分割区域内部元素具有相似性(一致性)的分割结果,这种特征一致性可以通过计算区域内的特征方差而得到<sup>[1]</sup>.也可以选择其它的特征来衡量区域的一致性,如利用基于信息论的高阶熵来衡量区域的一致性.

### 1.2 区域对比度<sup>[2]</sup>

区域对比度也可以作为衡量分割效果好坏的度量.一个好的分割方法分割出的区域之间应具有高的对比度.其实,区域对比度的概念在 Otsu 提出类间方差分割方法时就用到,使区域间的方差为最大就可以获得好的分割结果.

### 1.3 区域形状参数

另一个可以衡量分割优劣的量是区域形状参数  $S(t)$ <sup>[1]</sup>.选用不同的门限将直接影响目标边界的提取,而边界常是目标形状描述的基础之一,因此定义一个与边界密切有关的量,就可以从形状的角度来衡量分割的效果.

这几种常用测度可以不同程度地反映图象分割的质量,但有时其量值的大小与图象的视觉效果并不完全一致.

## 2 图象的模糊度

模糊集合理论是数学理论和应用发展的自然成

果<sup>[3]</sup>,模糊集合与经典集合不同,它没有明确的边界,只能说某个对象属于某集合的程度,称其为隶属度.利用隶属函数刻画模糊集合,正是经典集合的特征函数的自然推广,同时,基于模糊逻辑或可能性理论的推理方式,冲破了经典逻辑的束缚,更接近人类的真实思维和决策.灰度图象中由于多灰度级所造成的不确定性,使用模糊数学的概念和逻辑描述图象问题在某些方面比用普通集合更为合理.因此,我们提出用图象的模糊度来衡量图象分割的质量.

### 2.1 图象的模糊集合描述

图象可以被看成一个模糊点集阵列,一个  $M \times N$ 、具有  $L$  级灰度的二维图象可以表示为

$$X = \bigcup_{i=1}^M \bigcup_{j=1}^N p_{ij}/x_{ij} \quad (1)$$

写成矩阵形式为

$$X = \begin{bmatrix} p_{11}/x_{11} & p_{12}/x_{12} & \cdots & p_{1N}/x_{1N} \\ p_{21}/x_{21} & p_{22}/x_{22} & \cdots & p_{2N}/x_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{M1}/x_{M1} & p_{M2}/x_{M2} & \cdots & p_{MN}/x_{MN} \end{bmatrix}$$

其中  $p_{ij}/x_{ij}$  ( $0 \leq p_{ij} \leq 1$ ) 表示图象中第  $(i, j)$  个像素具有性质  $P$  的程度,性质  $P$  可依问题的不同有不同的定义.这实际上是图象从空间域到模糊性质域的转换问题,这也是模糊集合理论应用的关键.也就是说,要找到一个映射,使得

$$p_{ij} = \Phi(x_{ij}) \quad (2)$$

并且映射  $\Phi$  必须满足:对于  $X \rightarrow P$ ,  $p_{ij} \in [0, 1]$ ,当  $x_{ij}$  单调变化时,  $p_{ij}$  也单调变化.

首先将模糊集合理论应用到图象处理技术中的 Pal 等<sup>[4]</sup>提出的从空间域到模糊性质域的映射函数为:

$$p_{ij} = \Phi(x_{ij}) = \left| 1 + \frac{x_{\max} - x_{ij}}{F_d} \right|^{-F_e} \quad (3)$$

其中  $x_{\max}$  为最大灰度级,  $F_d$ 、 $F_e$  分别为分数和指数模糊因子,  $F_e$  可预先设定,  $F_d$  可由交叉点(即图象分割中的门限)来确定.由  $p_{x_T} = \Phi(x_T) = 0.5$  可得

$$F_d = (x_{\max} - x_T) / (0.5^{-\frac{1}{F_e}} - 1) \quad (4)$$

该映射函数的计算复杂度随  $F_e$  值的增大而增加,文献[4]中  $F_e$  的值取为 2.

还有一种正弦映射函数<sup>[4]</sup>为:

$$p_{ij} = \Phi(x_{ij}) = \sin \left| \frac{\pi}{2} \left| 1 - \frac{x_{\max} - x_{ij}}{D} \right| \right| \quad (5)$$

式中  $D$  为模糊因子,其确定方式与  $F_e$  相同.该函数存在的问题是易出现  $p_{ij} < 0$  的情况,须条件限制.

分析了上述两种映射函数的不足, 从计算效率及映射效果两方面考虑, 我们提出了一种简单的线性映射关系式:

$$p_{ij} = \Phi(x_{ij}) = \frac{x_{ij} + b}{x_{\max} + b} \quad (6)$$

其中的模糊因子  $b$  可根据分割门限确定. 假设在分割门限  $T$  时的模糊性质  $p_{ij}$  为 0.5, 则有

$$b = x_{\max} - 2T \quad (7)$$

这种映射的计算复杂度及其模糊因子的确定比前面两种映射要简单得多, 其映射效果与式(3)所定义的映射在  $F_c=2$  时的映射效果非常接近.

## 2.2 图象的模糊熵

在确定了映射函数后, 就可以用模糊度量来衡量图象的分割效果. 一个模糊集  $\tilde{A}$  的模糊度  $D(\tilde{A})$  应具有以下几个特点:

(1) 当且仅当隶属度  $\mu_{\tilde{A}}(x_i)$  只取 0 和 1 时, 则  $D(\tilde{A})=0$ ;

(2) 当隶属度  $\mu_{\tilde{A}}(x_i)=0.5$  时,  $D(\tilde{A})$  应取最大值, 即  $D(\tilde{A})=1$ ;

(3) 对于可比的两个模糊集  $\tilde{A}$  和  $\tilde{B}$ , 若  $\mu_{\tilde{A}}(x) \geq \mu_{\tilde{B}}(x) \geq 0.5$  或  $\mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x) \leq 0.5$  时, 则有  $D(\tilde{A}) \leq D(\tilde{B})$ .

这几点是符合实际情况的, 在人脑的决策过程中常有这种情况, 例如购物时, 满意与不满意各占一半时, 最不好做出决策, 也可以说是“最模糊”. 模糊度的定量描述有各种方式, 这里我们采用 Hamming 距离描述模糊集的不确定性.

设  $\tilde{A}$  和  $\tilde{B}$  是论域  $U$  中的模糊集, 令

$$d(\tilde{A}, \tilde{B}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\mu_{\tilde{A}}(x_i) - \mu_{\tilde{B}}(x_i)| \quad (8)$$

称之为相对 Hamming 距离.

如果用  $\tilde{A}'$  表示模糊集  $\tilde{A}$  的余集, 则  $\tilde{A}'$  与  $\tilde{A}$  之间有最小距离. 定义  $D(\tilde{A}) = 2d(\tilde{A}, \tilde{A}')$  为模糊集  $\tilde{A}$  的模糊度, 即

$$\begin{aligned} D(\tilde{A}) &= \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n |\mu_{\tilde{A}}(x_i) - \mu_{\tilde{A}'}(x_i)| \\ &= \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{A} \cap \tilde{A}'}(x_i) \end{aligned} \quad (9)$$

其中

$$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{A}'}(x_i) = \min[\mu_{\tilde{A}}(x_i), \mu_{\tilde{A}'}(x_i)] \quad (10)$$

另外, 还可以利用信息论中熵的概念来描述模糊度. 对事件  $A_i$  的发生概率为  $P(A_i)$  的实验  $\alpha$ , Shannon 用熵  $H(\alpha)$  来度量其不确定性

$$H(\alpha) = - \sum_i P(A_i) \log P(A_i) \quad (11)$$

熵所具有的几点性质与模糊度应具有的特点是一致的, 因此, 可以定义模糊熵如下:

$$H(\tilde{A}) = \frac{1}{n \ln 2} \sum_{i=1}^n S_n[\mu_{\tilde{A}}(x_i)] \quad (12)$$

其中

$$\begin{aligned} S_n[\mu_{\tilde{A}}(x_i)] &= - \mu_{\tilde{A}}(x_i) \ln \mu_{\tilde{A}}(x_i) - \\ & [1 - \mu_{\tilde{A}}(x_i)] \ln [1 - \mu_{\tilde{A}}(x_i)] \end{aligned} \quad (13)$$

将式(9)、(12)定义的模糊度量推广到二维图象的模糊性质域  $X$  中, 即有

$$\begin{aligned} D(X) &= \frac{2}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |\mu_X(x_{ij}) - \mu_{X'}(x_{ij})| \\ &= \frac{2}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \mu_{X \cap X'}(x_{ij}) \end{aligned} \quad (14)$$

其中

$$\begin{aligned} \mu_{X \cap X'}(x_{ij}) &= p_{ij} \cap p'_{ij} \\ &= \min(p_{ij}, 1 - p_{ij}) \end{aligned} \quad (15)$$

及

$$H(X) = \frac{1}{MN \ln 2} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N S_n[\mu_X(x_{ij})] \quad (16)$$

其中

$$\begin{aligned} S_n[\mu_X(x_{ij})] &= - \mu_X(x_{ij}) \ln \mu_X(x_{ij}) - \\ & [1 - \mu_X(x_{ij})] \ln [1 - \mu_X(x_{ij})] \end{aligned} \quad (17)$$

由模糊度及模糊熵的性质可知, 对于目标与背景的良好分割图象, 应具有较小的模糊度或模糊熵.

由于图象信息是复杂的, 有时用一种测量参数无法准确衡量分割图象的质量, 这时可以将几种测量参数综合考虑, 根据图象分割的目的对不同测量参数赋予不同的权值, 以得到准确的评价结果. 在此, 从一般意义考虑, 定义如下评价函数

$$F(t) = UN(t) \times GC(t) \times S(t) \times [1 - D(t)] \quad (18)$$

作为对图象分割质量的综合评价函数, 可以从分割区域一致性、区域对比度、形状参数及模糊度几个方面综合评价图象的分割质量.  $F(t)$  的值越大, 说明分割质量越好.

## 3 测试结果

利用分割区域一致性、对比度、形状参数、模糊度及综合评价函数, 我们对几种全局门限法的图象分割质量做了实验测试, 限于篇幅, 文中只给出公认较好的 Otsu 方法<sup>[5]</sup>和基于遗传算法的自适应最小

误差分割方法(GA-P)<sup>[6]</sup>对图1、2、3所示3幅图象的分割质量计算结果,表1给出了实验数据.

从人的视觉效果看,GA-P方法对几幅图象的分割结果优于Otsu方法,几种测量参数的计算结果与人的视觉基本一致.但是,有些评价参数对图象分割的质量差异反映的不明显,如区域一致性参数

对图3的两种分割结果评价相差很小,而从视觉效果看,两种分割效果相差很大,对比度和模糊度比较好地反映了这种大的差别.从表1可以看出,综合评价函数将几种测度综合考虑,比较准确地反映了图象的分割效果,其量值所反映的差异与人的视觉效果比较接近.



(a) 原图



(b) Otsu 法分割结果



(c) GA-P 法分割结果

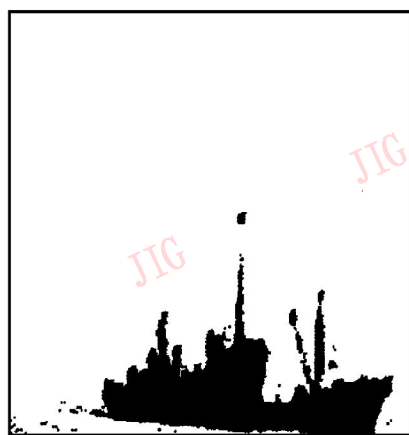
图1 人像图



(a) 原图 1



(b) Otsu 法分割结果

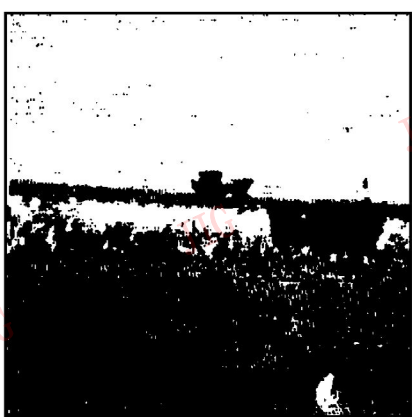


(c) GA-P 法分割结果

图2 大目标舰艇图



(a) 原图 2



(b) Otsu 法分割结果



(c) GA-P 法分割结果

图3 小目标舰艇图

表 1 分割质量评价的定量结果

图 象	参 量							综合评价 $F(t)$
	分割方法	$t$	一致性 $UN(t)$	对比度 $GC(t)$	形状参数 $S(t)$	模糊度		
						$D_1(t)$	$D_2(t)$	
图 1	Otsu	116	0.990 50	0.614 20	0.781 70	0.352 44	0.474 11	0.307 95
	GA-P	82	0.996 87	0.711 63	0.911 10	0.306 77	0.350 06	0.448 06
图 2	Otsu	50	0.999 55	0.933 62	0.973 84	0.088 90	0.099 44	0.828 00
	GA-P	48	0.999 64	0.943 55	0.976 07	0.086 52	0.096 41	0.840 98
图 3	Otsu	215	0.994 49	0.135 72	0.679 73	0.163 27	0.332 76	0.076 76
	GA-P	142	0.999 60	0.543 76	0.803 45	0.016 60	0.014 62	0.429 46

## 参 考 文 献

- 1 王润生. 图象理解. 长沙: 国防科技大学出版社, 1995, 113~ 117.
- 2 Zhang Y J. A survry on evaluation methods for image segmentation. Pattern Recognition, 1996, 29(8): 1335~ 1346.
- 3 郭桂蓉, 庄钊文. 信息处理中的模糊技术. 长沙: 国防科技大学出版社, 1993, 186~ 209.
- 4 Pal S K, King R A. Image enhancement using smoothing with fuzzy set. IEEE Trans SMC-11, 1981, 494~ 501.
- 5 Lee S U, Chung S Y. A comparative performance study of several global thresholding techniques for segmentation. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1990, 52: 171 ~ 190.



毕笃彦 西安空军工程学院航空电子工程系副教授, 1997 年获法国图尔大学博士学位. 现从事图象处理和模式识别等方面的教学和研究工作.

- 6 侯格贤, 吴成柯. 一种结合 GA 的自适应目标分割方法. 西安电子科技大学学报, 1998, 25(2): 227~ 230.
- 7 陈珂, 陈华生. 一种图象增强的有效方法——模糊图象增强技术. 小型微型计算机系统, 1989, 2: 78~ 82.



侯格贤 西安空军工程学院航空电子工程系副教授. 主要从事信号处理、图象处理及模式识别方面的教学和研究工作.

吴成柯 西安电子科技大学通信工程学院教授, 博士生导师. 长期从事计算机视觉、计算机图形学、图象处理和图象通信的教学和科研工作.