

基于空间曲面拟合的自适应阈值选取方法

张孟君¹ 舒红¹ 刘艳² 王涛¹

(1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉市珞喻路 129号, 430079)

(2 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐市建国路 46号, 830002)

摘要:提出了一种基于空间多项式曲面拟合的自适应阈值选取方法,该方法初步考虑了图像上空间目标、背景及像素的空间分布特征,拟合了图像及其空间分布结构。

关键词:阈值; 曲面拟合; 自适应; 空间分布

中图法分类号: P237.3

在进行图像分割、分类、变化检测时,都需要设定阈值以区分不同的空间目标及其背景。阈值的选取直接关系到图像处理的精度,阈值选取的方法主要有均值法、最大类间方差法、最小类内方差法、迭代收敛法等^[1,2]。目前普遍采取的阈值选取方法主要是基于对单个像素本身的特征进行构造的,很少考虑空间目标本身的空间分布特征,即使考虑,往往也只考虑到单个空间目标局部特征,容易忽略其全局性特征。本文提出了一种基于空间曲面拟合的自适应阈值选取方法,它初步考虑了图像空间中的目标、背景本身在图像空间中的分布特征,拟合了图像阈值的空间分布结构,该方法是一种将空间坐标与图像像素值结合起来进行阈值选取的方法。

1 方法构造

1.1 图像的预分区

首先,将一幅图像分成由大小相同的4个规则矩形组成的区域,记录各区域的中心点坐标 $c_r(x, y)$ ($r=1, 2, 3, 4$) 以及各区域的像素值的最大值和最小值的绝对值之差 A 。

1.2 初始阈值选取方法的选择

按照阈值所应具有的基本特性,阈值 T 应该将目标与背景区分开,且要求目标内部差异最小(即内部均匀化),而图像目标之间的差异最大。

图像均匀性的衡量通常有两种参数,即方差和图像熵。

目标内部的方差越小,表明目标内部越均匀。求取阈值时通常从整体考虑,使两部分之间的方差之和最小,即最小类内方差法^[3,4]:

$$T = \left\{ T \mid \min_{0 \leq i \leq L-1} \left| \sum_{i=0}^{L-1} |i - \mu_c|^2 p_i + \sum_{i=T}^{L-1} |i - \mu_b|^2 p_i \right| \right\} \quad (1)$$

其中, μ_b 和 μ_c 分别代表图像中目标和背景的数学期望值; i 和 p_i 分别指图像灰度值及其频率; L 表示经过灰度离散化处理后的图像的灰度级(通常取灰度的量化级数 2^n , 这里取 256)。

根据上述求取阈值的方法,分别求出4个矩形图像区域的阈值 T_1, T_2, T_3, T_4 及相应的区域中心的坐标。

1.3 曲面拟合的基本原理

设在三维直角坐标系 $z-ox-y$ 中,给定 $(m+1)(n+1)$ 个点,其三维坐标为 (x_i, y_j, z_{ij}) , 其中 $i=0, 1, \dots, m; j=0, 1, \dots, n; z_{ij}$ 为图像的像素值; x 和 y 分别对应于图像中的横轴和纵轴。选定 $M+1$ 个 x 的函数 $\{ \varphi_r(x), r=0, 1, \dots, M \}$ ($M < m$) 以及 $N+1$ 个 y 的函数 $\{ f_s(y), s=0, 1, \dots, N \}$ ($N < n$)。这两个函数组分别在各自的区间上连续,且分别在点集 $\{x_i, i=0, 1, \dots, m\}$ 和点集 $\{y_j, j=0, 1, \dots, n\}$ 上线性无关。这些函数组成基函数,并

构成以 $\{c_{rs}\}$ 为参数的曲面族:

$$p^*(x, y) = \sum_{s=0}^N \sum_{r=0}^M c_{rs} \Phi_r(x) \Psi_s(y) \quad (2)$$

按照最小二乘法的原则, 该二次曲面拟合应该满足:

$$\sum_i^n \sum_j^m \left[\sum_{s=0}^N \sum_{r=0}^M c_{rs} \Phi_r(x) \Psi_s(y) - u_{ij} \right]^2 = \min \quad (3)$$

根据拟合曲面应该满足的条件, 可以求出拟合曲面参数, 令

$$B = [\Phi_r(x_i)]_{(m+1)(M+1)} \quad (4)$$

$$U = [u_{ij}]_{(m+1)(n+1)} \quad (5)$$

$$G = [f_s(y_j)]_{(m+1)(N+1)} \quad (6)$$

其中, u_{ij} 为相对于各区域中心坐标所求取的样本阈值. 则多项式拟合曲面的系数 $C = [c_{rs}]_{(M+1)(N+1)}$ 可以表示为如下矩阵的形式^[5]:

$$C = (B^T B)^{-1} B^T U G (G^T G)^{-1} \quad (7)$$

将 C 代入公式(2)中即得到满足最小二乘原则的拟合曲面.

曲面拟合的精度可以用相对误差均方根^[5]来描述.

1.4 曲面特征分析

拟合生成的曲面不仅仅是一个单一的物理曲面, 而是基于空间坐标, 通过曲面方向和梯度起伏的变化反映图像阈值在空间上的结构和变化, 从而间接反映了图像空间目标、地物类别之间的过渡以及相互间的联系和区别.

根据得到的拟合曲面函数 $p^*(x, y)$ 计算其一阶和二阶微分算子 p_x^* 、 p_y^* 、 p_{xy}^* 、 p_{xx}^* 、 p_{yy}^* , 然后计算曲面的法向矢量 v 、高斯曲率 K 和平均曲率 H , 得:

$$v = \frac{1}{\sqrt{(p_x^*)^2 + (p_y^*)^2 + 1}} (-p_x^*, -p_y^*, 1) \quad (8)$$

$$K = \frac{p_{xx}^* p_{yy}^* - (p_{xy}^*)^2}{[(p_x^*)^2 + (p_y^*)^2 + 1]^2} \quad (9)$$

$$H = \frac{[1 + (p_y^*)^2] p_{xx}^* + [1 + (p_x^*)^2] p_{yy}^* - 2 p_x^* p_y^* p_{xy}^*}{[(p_x^*)^2 + (p_y^*)^2 + 1]^{3/2}} \quad (10)$$

在分析三维拟合曲面时, 高斯曲率及平均曲率是两个重要的几何特征. 通过二者的组合可以得到曲面表面的几何特征, 从而分析图像中像素、空间目标的空间分布规律和变化趋势. 表1给出了两个曲率特征与曲面之间的关系.

在拟合曲面的峰处, 阈值取值也相应较大, 表明图像中相应区域集中分布着较大的灰度值目

表1 高斯曲率与平均曲率之间的关系

Tab.1 Relationship Between Gaussian Curvature and Mean Curvature

	$K < 0$	$K = 0$	$K > 0$
$H < 0$	峰	脊	鞍脊
$H = 0$	无	平面	极小点
$H > 0$	凹底	谷	鞍谷

标; 在拟合曲面的谷处, 阈值取值较小, 表明图像中相应区域集中分布着较小灰度值的目标; 而在图像的鞍部和脊部则代表阈值变化的方向和速度, 同样也代表着图像区域中目标变化的方向和目标间的连结度.

2 方法改进

2.1 分区的改进

图像根据所分区域是否规则, 可以分为规则分区和不规则分区. 不规则分区又可以分为自动分区和手动分区. 对于规则分区而言, 又可以分为多格网分区方法和多级格网逐步细分的分区方法. 本文中所采用的是多级格网逐步细分的方法, 当单个区域的像素值的最大值和最小值绝对值之差 A 大于或等于 10 时, 继续将该格网细分; 当 A 小于 10 时, 停止细分, 并记录每个分区的中心坐标和相应的初始阈值.

2.2 关于单个区域阈值选取方法的改进

考虑到阈值的空间定位和曲面阈值拟合的精度问题, 本文采取了空间曲面拟合辅以区域最小类内方差的方法作为空间阈值曲面拟合实验的对象.

进行曲面拟合时, 取

$$\Phi_r(x) = x^r, r = 0, 1, 2$$

$$f_s(y) = y^s, s = 0, 1, 2$$

通常情况下, r 和 s 在整数 2 以内足以满足实际工作中的精度, 在精度要求不是相当高的情况下, x^2 和 y^2 一般不宜全部选取, 单独选取 x^2 或 y^2 时会增强分割的横向和纵向效果. 按照多级区域细分的方法, 首先对区域进行分区, 并分别求出相应的区域的阈值和中心坐标值, 代入式(7), 求出曲面系数 C , 根据式(2)即可得到拟合的阈值曲面 $p^*(x, y)$, 该阈值曲面将原图像的灰度值空间进行分割, 位于阈值曲面以上的像素归为空间目标 O , 阈值曲面以下的像素归为背景 G .

2.3 实验结果

图 1(a) 是原始图像, 图 1(b) 是使用最小类内方差法进行单阈值图像分割的结果, 图 1(c) 是使

用均值法进行单阈值图像分割的结果, 图 1(d) 是本文方法进行图像分割的结果。从结果看, 利用基于曲面拟合的阈值选取方法进行图像分割, 图像中的目标角度平滑, 特征分辨明显, 细节突出。曲面拟合的精度可以用均方差进行准确的评估, 见图 2。图中曲面是图像的阈值拟合曲面, z 轴表示阈值, x 、 y 轴分别对应于图像中的 x 、 y 轴的坐标值, xy 平面内的曲线是阈值的等值线曲线, 它的变化反映了拟合曲面曲率的变化, 其中图像的

阈值曲面拟合的精度为 0.8629。从拟合精度看, 该曲面能够精确地复合图像的最小类内方差阈值, 从而能够在总体上满足图像目标的类内方差最小化, 完全能够满足实际操作的要求。从图 3 中的拟合阈值曲面看, 曲面拟合不仅很好拟合了阈值曲面, 还隐含了图像中的目标像素值的空间分布和变化特征。拟合曲面中的像素值等值线显示该相应的原图像有一个低像素值集中的区域, 且像素值由高到低变化较快。



图 1 使用空间阈值曲面拟合进行的图像分割结果

Fig. 1 Segmentation Result Using Curved Surface Fitting for Spatial Thresholds

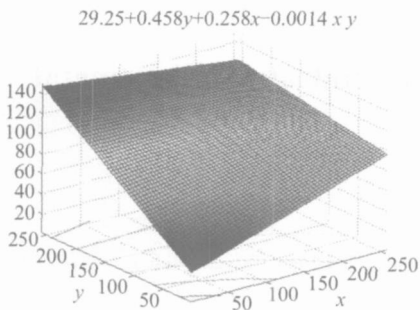


图 2 拟合的阈值曲面

Fig. 2 Fitted Curved Face of Thresholds

3 结 语

基于空间曲面拟合的阈值选取方法是一种自适应的阈值选取方法, 它通过对阈值进行有效的拟合, 生成一个全局性的阈值空间曲面, 不仅空间目标特征、细节都得以分辨, 而且还对空间目标进行了一定的平滑, 符合空间目标在空间的物理存在, 并不只是粗略的图像分割。

此外, 这种阈值选取的方法并不仅仅局限于图像的分割, 在图像分类、图像变化检测等图像处理过程中也具有类似效果。不足之处在于, 在分区的选择上, 按照不同图像本身的特征及图像中

目标分布的特征的不同, 其分区方法也有所不同, 本文中只是初步研究了规则分区中的方法。另外, 关于初始阈值的选择, 需要兼顾单个阈值在图像空间中的定位精度和单个阈值的选取精度。本文的空间曲面拟合方法, 只是初步研究了利用空间坐标结合图像像素值进行图像处理的方法, 如何充分利用图像的空间特征进行图像处理有待进一步研究和完善。

参 考 文 献

- [1] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京: 科学出版社, 2001
- [2] Sahoo P K, Soltani S, Wong A K C, et al. A Survey of Thresholding Techniques[C]. Comput Vision Graph Image Process, New York, 1988
- [3] Rafael C, Richard E. 数字图像处理(第二版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003
- [4] 傅仲良. 图像阈值选取方法构造[J]. 中国图像图形学报, 2000, 6(6): 466-469
- [5] 颜庆津. 数值分析(修订版)[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1999

第一作者简介: 张孟君, 硕士生。研究方向为空间统计和遥感图像处理。

E-mail: hcbi403@sina.com

An Adaptive Thresholding Approach Based on Spatial Curved Surface Fitting

ZHANG Mengjun¹ SHU Hong¹ LIU Yan² WANG Tao¹

(1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 Institute of Desert Meteorological, China Meteorological Administration, 46 Jianguo Road, Urumqi 830002, China)

Abstract: On considering the spatial relationship among image objects, image background and image pixels, this paper gives a new approach about threshold selecting based on spatial curved surface fitting.

Key words: thresholds; curved surface fitting; adaptive; spatial distributing

About the first author: ZHANG Mengjun, postgraduate, majors in geostatistics and remote sensing image processing.

E mail: hebi403@sina.com

(上接第 390 页)

Three-dimensional Visual Measurement of Industrial Sheetmetal

ZHANG Jianqing¹ HU Qi¹

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: According to the latest manufacturing industry demands, the algorithm of which two kinds of parameters are gotten together regularly is used to calculate the 3D coordinates of the industrial sheetmetal. Then its length is measured. The method needs only a few hardwares, the system can run quickly and the result is precise. It has been proved that the method can satisfy the acquirement of the manufacturing industry.

Key words: camera calibration; DLT; bundle adjustment; occultation delete; 3D measurement

About the first author: ZHANG Jianqing, professor, Ph. D supervisor, engaged in photogrammetry, remote sensing and compute vision

E mail: jqzhang@supresoft.com.cn