

基于改进 JSEG 算法的高分辨率遥感图像分割方法

冯晓毅¹ 王西博¹ 王 蕾² 彭进业¹

(西北工业大学电子信息学院 西安 710129)¹ (63620 部队 兰州 732750)²

摘 要 JSEG 算法是一种有效的彩色图像分割方法,但该方法直接用于遥感图像分割时,往往会出现因遥感图像区域边界较模糊而导致区域边界分割不准确,或因区域阴影而导致的过分割现象。为了解决上述问题,提出基于改进 JSEG 算法的遥感图像分割方法,该方法利用能更好描述区域内颜色的同质性的局部同质矩阵来校正传统 JSEG 算法中的局部 J 值,以实现区域边界的准确反映,提高区域边界分割的准确性;利用图像的 LBP/C 纹理特征,合并具有相似纹理信息的颜色类,以减弱传统 JSEG 算法的过分割现象。仿真实验验证了上述方法的有效性。

关键词 高分辨率遥感图像, JSEG 算法, 局部同质, LBP/C 算子

中图分类号 TP391.41 文献标识码 A

High Resolution Color Remote Sensing Image Segmentation Based on Improved JSEG Algorithm

FENG Xiao-yi¹ WANG Xi-bo¹ WANG Lei² PENG Jin-ye¹

(School of Electronic and Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)¹

(The 63620 Troop, Lanzhou 732750, China)²

Abstract JSEG algorithm is a method of segmentation of color images which can make the image filtering, color space quantization and spatial segmentation in due order. However, using the method directly in segmentation could result in inaccurate of edge due to fuzzy edge in the remote sensing image, or lead to excessive segmentation because of different shades in the region. To obtain the better effect of segmentation, the local homogeneous matrix which gives reasonably description for color homogeneity in region and the boundary of different region was used to correct the local J value of traditional JSEG algorithm in this paper. In addition, to weaken or to eliminate the over segmentation, LBP/C operator which gives stable description for the texture information of image was used to combine class maps with similar texture information. Experimental results show that the above methods work well.

Keywords High resolution color remote sensing image, JSEG algorithm, Local homogeneity, LBP/C operator

1 引言

遥感图像分割是对遥感图像进行处理,把图像分割成各具特性的区域并提取出感兴趣目标的技术和过程,在计算机视觉、目标识别和遥感图像处理等方面具有重要的应用价值^[1]。相对于一般图像来说,高分辨率遥感图像模糊性强,具有丰富的纹理信息,自动分割比较困难。

JSEG 算法是由 Deng 和 Manjunath^[2,3]提出的一种基于颜色和纹理的区域分割方法,是目前主流的图像分割方法之一,分割效果好,鲁棒性较强。但该方法直接用于遥感图像分割时,往往因遥感图像中区域边界较模糊而导致区域边界分割不准确,或因区域内的不同阴影而导致过分割现象。目前,针对 JSEG 算法中存在的问题已提出较多的改进算法^[4-6],并在图像分割应用中取得了较好的效果。文献[4]通过计算图像中每个像素点的分形维数来校正传统 JSEG 算法中的局部 J 值,以使区域边界分割更准确。文献[5]采用基于颜色和结构特征的区域融合方法来解决图像的过分割现象。文献[6]提出了一种基于混合高斯模型的 JSEG 算法,该方法采用自适应 MeanShift 进行颜色聚类,利用混合高斯模型计算图像

的 J 值,来解决 JSEG 算法的准确性和鲁棒性问题。上述方法均取得了不同程度的改进效果,但算法仅用于普通彩色图像分割。文献[7]将 JSEG 算法引入遥感图像分割,但由于高分辨率彩色遥感图像具有复杂的结构和丰富的纹理信息,因此存在区域边界分割不准确或过分割现象。

本文提出一种新的改进的 JSEG 遥感图像分割算法。首先,考虑到 H 值和局部 J 值同样利用极值刻画了区域的边界信息,因此通过计算每个像素点的 H 值来获得局部同质性梯度矩阵,并利用局部同质矩阵^[8,9]对 J 值进行校正,以使得区域边缘得到强化。同时,利用 LBP/C 纹理特征,将具有相似纹理信息的颜色类进行合并,较有效地解决了过分割现象。

2 基于局部同质矩阵的图像边缘强化

传统 JSEG 算法中局部 J 值的大小反映像素点是否靠近区域的边界,因此分割过程的关键是寻找区域内的极值点。如果极值点位置不够精确,就会导致分割边界不精确。本文采用局部同质性梯度矩阵去校正 J 值,使其极值点位置更加准确,达到强化边缘的效果。

2.1 局部同质性评价

假设 P 为计算同质性的一种模式,并且每个像素点的特征值(例如强度或 RGB 值)为 $I(x, y)$ 。通常情况下,可以认为 P 是大小为 $(2N+1) \times (2N+1)$ 的窗口。令 $c=(x_c, y_c)$ 为窗口 P 的中心像素,特征值为 $I(x_c, y_c)$,其在窗口中的邻域像素分别为 $p_i=(x_i, y_i), 1 \leq i \leq (2N+1)^2$ 。

设向量 $c p_i$ 由式(1)表示:

$$\vec{c p_i} = (x_i - x_c, y_i - y_c) \quad (1)$$

基于向量式(1),可以构造新的向量:

$$\vec{f_i} = (I(x_i, y_i) - I(x_c, y_c)) \frac{\vec{c p_i}}{\|c p_i\|} \quad (2)$$

然后在窗口 P 中对所有像素的 $\vec{f_i}$ 进行求和得到 \vec{f} , 即

$$\vec{f} = \sum_{i=1}^{(2N+1)^2} \vec{f_i} \quad (3)$$

利用式(3),定义窗口 P 中的中心像素 c 的 H 值为:

$$H = \|\vec{f}\| \quad (4)$$

可以看出, H 值反映了图像的如下性质:同质区域 H 值较小;若局部窗口 P 中含有不同的同质区域,那么越靠近同质区域边界的像素点 H 值就越大;两个对比越强的区域,即 $d=I(x_i, y_i) - I(x_c, y_c)$ 越大的两个区域, H 值越大。显然这种方法以更加精细的方式考虑了两个像素之间的不同,由于 H 图的极值点同样反映了不同区域的边界,因此可以考虑用每个像素的 H 值校正 J 值,使其极值的位置可以更加精确地表现边界。

值得注意的是,对于彩色图像,每个像素的特征值可以是多个。对于这种情况,需要对不同特征值反映出来的 H 值进行融合。本文选择平滑后将图像中每个像素的 RGB 值作为特征值,然后利用式(5)得到每个像素的 H 值:

$$H = \sqrt{H_R^2 + H_G^2 + H_B^2} \quad (5)$$

2.2 基于局部同质矩阵的局部 J 值校正

考虑到 H 值和局部 J 值同样利用极值去刻画区域的边界信息,本文提出如下方法校正局部 J 值:首先,利用式(1)一式(5)得到高分辨率遥感图像的局部同质矩阵 H ;然后,找出矩阵 H 的最大值 H_{\max} ,将所有像素的 H 值归一化,即:

$$\bar{H}_i = \frac{H_i}{H_{\max}} \quad (6)$$

再利用 \bar{H}_i 与该像素的局部 J 值 J_{oldi} 相乘,得到该像素新的局部 J 值 J_{newi} ,即对于每个像素 $p_i=(x_i, y_i)$,其新局部 J 值为:

$$J_{newi} = \bar{H}_i \times J_{oldi} \quad (7)$$

利用基于局部同质矩阵的 JSEG 算法与传统 JSEG 算法对华盛顿某地遥感图进行分割的对比,如图 1 所示。

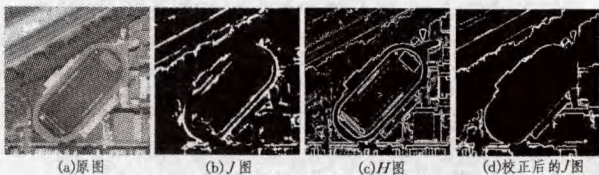
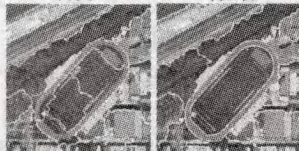


图 1 华盛顿某地遥感图像分割结果对比图



(a)传统 JSEG 算法 (b)基于 H 矩阵改进后 JSEG 算法

图 1 华盛顿某地遥感图像分割结果对比图

通过图 1 可以明显看出,利用 H 值对局部 J 值进行校正

后,各区域边界定位更加准确,分割效果变好,但仍存在少量过分割现象。

3 基于 LBP 的相似纹理类图合并

3.1 LBP 算法

Ojala 等人提出了局部二进制模式(Local Binary Patterns, LBP)算法^[10,11],该算法具有纹理识别能力强且计算复杂度小的特点。

对于一幅图像中的某个局部区域内的任意像素 $f(x_c, y_c)$,以其为中心点 g_c ,对于 3×3 窗口内的 8 个点 g_0, g_1, \dots, g_7 ,纹理 T 定义如下:

$$T \sim (g_0 - g_c, \dots, g_7 - g_c) \quad (8)$$

以窗口中心点的灰度值为阈值对窗口内其它像素做二值化处理:

$$T \approx t(s(g_0 - g_c), \dots, s(g_7 - g_c))$$

$$s(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (9)$$

得到一个 8 位的二进制数,按公式对像素不同位置进行加权求和,即可得到该窗口的 LBP 值:

$$LBP(x_c, y_c) = \sum_{i=0}^7 s(g_i - g_c) 2^i \quad (10)$$

基本的 LBP 算法如图 2 所示。

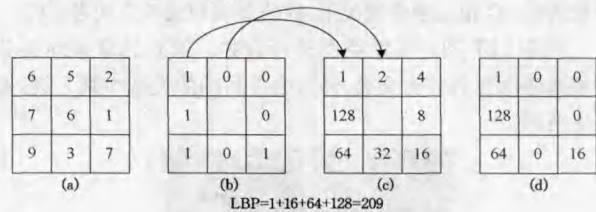


图 2 基本 LBP 算法

显然,通过定义不同于其他灰度转换的 LBP 算法描述了局部纹理的空间结构,但是其没有定义纹理模式强度的变化。为了详细表征纹理信息,还应附加对比度的概念。

对比度 C 可以定义为,邻域中大于或等于中心像素灰度值的所有像素的平均灰度与小于中心像素灰度值的所有像素的平均灰度之差。通过附加定义对比度 C ,LBP/ C 算子就可以近似地看成一个二维的大小为 $256 \times b$ 的直方图,其中 b 为直方图的列数。通过合理地选择 b ,可以实现区别能力和纹理转换的稳定性。如果 b 太小,就会令直方图缺少分辨率,且特征 C 将提供较少的区分信息。反之,如果 b 太大,由于图像中的像素个数有限,因此会导致直方图变得稀疏且不稳定。本文选择 $b=8$,取局部窗口大小为 3×3 。

为了区分两个区域来自同一样本的可能性大小,定义了不同区域间的统计值 G ,一般称为对数可能性率,计算公式如下:

$$G = 2 \left[\sum_{s,m} \sum_{i=1}^n f_i \log f_i \right] - \left[\sum_{s,m} \left(\sum_{i=1}^n f_i \right) \log \left(\sum_{i=1}^n f_i \right) \right] - \left[\sum_{i=1}^n \left(\sum_{s,m} f_i \right) \log \left(\sum_{s,m} f_i \right) \right] + \left[\sum_{s,m} \sum_{i=1}^n f_i \log \left(\sum_{s,m} \sum_{i=1}^n f_i \right) \right] \quad (11)$$

式中, s, m 分别代表两个不同的采样直方图; n 为直方图的列数; f_i 为第 i 列出现的频率。

G 值越大说明两采样区域属于同一区域的可能性越小;反之两个采样直方图越相似,则 G 值越小。

3.2 类图合并

对于彩色图像,由于每个像素有 R, G, B 3 个分量,因此可以考虑利用式(10)分别计算 R, G, B 的 LBP 值 LBP_R ,

LBP_G, LBP_B , 然后利用式(12)得到像素的 LBP 值:

$$LBP = \sqrt{LBP_R^2 + LBP_G^2 + LBP_B^2} \quad (12)$$

图 3 为北京某地高分辨率遥感图像的 LBP 图。

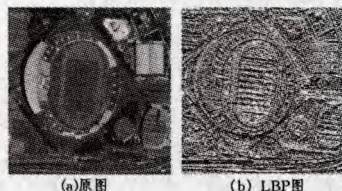


图 3 北京某地遥感图像及其 LBP 图

然后利用如下方法进行合并:

1) 按式(13)计算相邻类的 MI 值:

$$MI = p \times G \quad (13)$$

式中, p 为两类中像素个数少的类中的像素个数。

2) 将 MI 值最小的相邻两类进行合并。然后将这两类的直方图相加作为新类的直方图, 并计算所有新类与其相邻类的 G 值。

3) 设定阈值 Y, 当满足式(14)时停止合并。

$$MIR = \frac{MI_{cur}}{MI_{max}} > Y \quad (14)$$

式中, MI_{cur} 为当前最佳分割时的 MI 值; MI_{max} 为以前融合过程中最大的 MI 值。通常情况下, 阈值 Y 可以选 1.5 或者 1.6。

利用 LBP 图对图像类图进行合并。原来北京某地高分辨率遥感图像共分为 9 类, 经过合并后图像类减小到 7 类, 如图 4 所示。

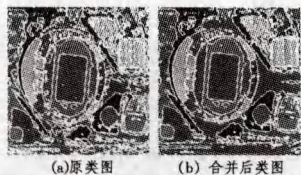


图 4 类图结果比较

4 基于改进 JSEG 算法的彩色遥感图像分割

综上所述, 将上述两个方法与 JSEG 算法相结合即得到改进的 JSEG 算法: 首先, 计算图像的局部同质矩阵得到遥感图像的 H 图; 同时利用图像的 LBP/C 纹理特征, 对具有相似纹理信息的颜色类进行合并, 得到改进的类图; 再将每个像素的同质梯度值与其局部 J 值相乘, 以达到矫正 J 图极值的效果, 使得边界位置更加精确, 从而提高高分辨率遥感图像的分割质量。改进分割算法流程图如图 5 所示。

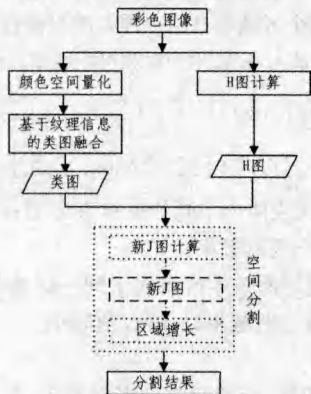


图 5 改进 JSEG 算法流程图

5 实验结果及分析

利用 MATLAB 对本文所提出的改进 JSEG 算法进行了仿真实验。采用的两幅图分别是美国 Geoeye-1 卫星拍摄的华盛顿某地和 Europa Technologies 公司拍摄的北京某地卫星遥感图像数据, 大小均为 256×256 (见图 6、图 7)。

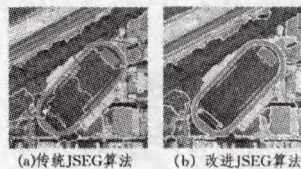


图 6 华盛顿某地遥感图像分割结果

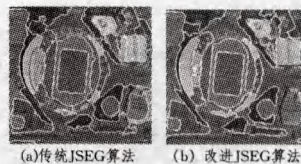


图 7 北京某地遥感图像分割结果

从实验结果图可以明显看出, 通过对传统 JSEG 算法的改进, 有效地改善甚至消除了过分割现象, 并获得了更加准确的区域边界, 提高了高分辨率彩色遥感图像的分割质量。

结束语 本文针对 JSEG 算法进行遥感图像分割时存在的边界定位不准确以及过分割问题, 通过利用同质矩阵和原图像的 LBP 图对传统 JSEG 算法进行改进。首先, 利用 LBP/C 算子描述的图像纹理信息合并类图, 较好地消除了过分割现象; 然后, 利用局部同质矩阵校正 J 值, 有效地提高了图像分割效果。高分辨率遥感图像具有丰富的信息, 遥感图像还可以融合其它遥感信息以及非遥感信息, 如 GIS 信息、地图信息、专家知识等, 多特征融合是实现遥感图像分割的发展方向, 如何结合多特征对图像进行分割是下一步需要研究的问题。

参考文献

- [1] 付辉敬, 田铮. 遥感图像分割中的信息割算法[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(1): 135-140
- [2] Deng Yi-ning, Manjunath B S, Shin H. Color Image Segmentation [C]// Image Processing and Its Applications. Venue, 1992: 303-306
- [3] Deng Yi-ning, Kenney C, Moore M S, et al. Peer Group Filtering and Perceptual Color Image Quantization [C]// IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 1999: 21-24
- [4] Komati K S, Salles E O T, Fiho M S. Fractal-JSEG: JSEG using a Homogeneity Measurement based on Local Fractal Descriptor [C]// Computer Graphics and Image Processing. Riode Janeiro, 2009: 253-260
- [5] Liu Yue, Zhang Jing-lan, Tjondronegoro D, et al. An Improved Image Segmentation Algorithm for Salient Object Detection [C]// Image and Vision Computing, New Zealand, 2008: 1-6
- [6] Wang Yu-zhong, Yang Jie, Zhou Yue. Color Texture Segmentation using JSEG base on Gaussian Mixture Modeling [J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2006, 17(1): 24-29
- [7] Liu Ting-ting, Zhang Liang-pei, Li Ping-xiang, et al. Region Segmentation of multi-spectral remote sensing images using im-

proved JSEG algorithm[J]. Journal of Remote Sensing, 2009, 13(1): 30-33

- [8] Jing Feng, Li Ming-jing, Zhang Hong-jiang, et al. Unsupervised Image Segmentation Using Local Homogeneity Analysis [J]. Circuits and Systems, 2003, 2: 456-459
- [9] 陈忠. 高分辨率遥感图像分类技术研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院学报, 2006: 60-65

[10] Ojala T, Pietikainen M. Unsupervised Texture Segmentation Using Feature Distributions [J]. The journal of the pattern recognition society, 1999, 32: 477-486

[11] Harwood D, Ojala T, Pietikainen M. Texture Classification by Center-symmetric auto-correlation, using Kullback Discrimination of Distributions [J]. The journal of the pattern recognition society, 1999, 16: 1-10

(上接第 262 页)

②算法运行时间对比实验。在此实验中,将本文提出的快速算法的运行时间与文献[6,7]的快速算法耗时进行比较。表 1 列出了在 3 幅图片上运行 3 种算法(文献[6,7]的快速算法和本文提出的快速算法) 1000 次(每幅图片)所花费的平均时间,这些时间都未包含建立直方图的时间。从这些运行时间看,采用文献[6]的递推算法在 3 幅图片上的平均耗时为 0.0737s,文献[7]的平均耗时为 0.0363s,而本文提出的快速算法对最简式运行的时间是 0.0179s,其是文献[6]递推算法耗时的 1/4 左右,是文献[7]递推算法的 1/2 以上。这是因为:第一,本文的快速算法建立在文献[6]递推算法的基础上,每次计算不必都从(0,0)开始。但文献[6]递推算法的递推次数和目标函数的计算次数都为 $(L+1)^2$ 次,而在本文提出的快速算法中搜索次数和目标函数的计算次数约为二维直方图的非重复值的个数,少于 $(L+1)^2$ 次。3 幅图像的平均非重复值的个数为 31592(见表 1 第 6 列),是 65536(256×256) 的 48.2%,这不仅减少了搜索次数,而且大量减少了含有最

耗时对数运算的目标函数计算次数,而文献[7]虽然将计算 5 个量的复杂度减小,但目标函数计算次数仍为 65536。第二, $p_1(s, t)$ 、 $u_{1i}(s, t)$ 、 $u_{1j}(s, t)$ 、 $\sigma_{1i}(s, t)$ 和 $\sigma_{1j}(s, t)$ 中的求和、乘法和平方运算在文献[6,7]的二维算法中都需要 $(L+1)^2$ 次,而在本文的新型快速算法中,不管是加法、乘法还是平方运算,都仅仅是二维直方图的非零次数(见表 1 的第 4 列),大大小于 65536,平均(12481)是它的 1/5 以下。第三,由于对目标函数进行了简化处理,消去了两项耗时的对数运算,也使计算复杂度降低,见表 1 倒数第 2 列和第 3 列(本文提出的快速算法对最简式和原表达式运行的平均时间分别是 0.0179s 和 0.0222s)。从以上分析可以看出:在本文提出的快速算法中,目标函数运算次数、加法、乘法和平方运算次数都大量减少,所以运行时间少。结合分割效果和运行时间二者看,与文献[6]方法相比,其不仅分割效果好、抗噪性强,而且运行速度是文献[6]中递推算法的 4 倍左右,占用的存储空间也少(见上文分析),这对于实时应用有重要的意义。总之,本文提出的 ITME 方法是有效的。

表 1 图片参数、不同分割方法获取的阈值向量以及 3 种算法所运行的时间(s)

测试图像	图像参数				阈值或阈值向量			运行时间(s)			
	大小	加噪情况	非零数	非重复数	OME	TME	ITME	文献[6]算法	本文算法(最简式)	本文算法	文献[7]算法
Plate.jpg	93×340	混合噪声	13940	35148	253	(254, 254)	(214, 254)	0.0760	0.0202	0.0249	0.0398
Circuit.jpg	167×228	椒盐(4%)	5081	15932	17	(111, 169)	(113, 126)	0.0687	0.0114	0.0133	0.0291
Gearwheel.jpg	256×256	高斯(4%)	18423	43695	1	(1, 62)	(83, 90)	0.0764	0.0220	0.0283	0.0400
平均	--	--	12481	31592	--	--	--	0.0737	0.0179	0.0222	0.0363

结束语 针对 TME 阈值法计算复杂度高和鲁棒性差的问题,提出了一种 ITME 阈值法。通过大量的图像分割实验证明,相比于目前 TME 阈值法及其快速算法,ITME 方法不仅有更好的分割效果和更强的鲁棒性,而且其运行速度更快捷,存储空间减少,因此具有更高的应用价值,尤其适用于实时应用的场合;另外,ITME 方法的原理也可以推广到其他二维阈值分割方法中。

参考文献

- [1] Sathya P D, Kayalvizhi R. Modified bacterial foraging algorithm based multilevel thresholding for image segmentation [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2011, 24: 595-615
- [2] 张新明, 郑延斌, 张慧云. 应用混沌多目标规划理论融合的图像分割[J]. 小型微型计算机系统, 2010, 31(7): 1416-1420
- [3] Kittler J, Illingworth J. Minimum error thresholding [J]. Pattern Recognition, 1986, 19(1): 41-47
- [4] Mozii F. A note on minimum error thresholding [J]. Pattern Recognition Letter, 1991, 12(6): 349-351

- [5] Ye Q Z, Danielsson P E. On minimum error thresholding and its implementations [J]. Pattern Recognition Letter, 1988, 7(4): 201-206
- [6] 范九伦, 雷博. 灰度图像最小误差阈值分割法的二维推广[J]. 自动化学报, 2009, 35(4): 386-393
- [7] 朱齐丹, 荆丽秋, 毕荣生, 等. 最小误差阈值分割法的改进算法[J]. 光电工程, 2010, 37(7): 107-113
- [8] 董小念, 刘娜. 一种基于遗传算法的最优阈值图像分割算法[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2008, 32(2): 301-304
- [9] 张云飞, 张晔. 利用二维熵自动确定图像分割的阈值[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2006, 27(3): 353-356
- [10] 张新明, 陶雪丽, 郑延斌, 等. 中值邻域二维最小交叉 Tsallis 熵的快速图像分割[J]. 电光与控制, 2011, 18(5): 28-33
- [11] 张新明, 孙印杰, 郑延斌. 二维直方图准分的 Otsu 图像分割及其快速实现[J]. 电子学报, 2011, 39(8): 1778-1784
- [12] 张新明, 张爱丽, 郑延斌, 等. 改进的最大熵阈值分割及其快速实现[J]. 计算机科学, 2011, 38(8): 278-283
- [13] 张新明, 党留群, 徐久成. 基于十字滑动窗口的快速自适应图像中值滤波[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(27): 37-39