doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.12.042

基于改进爬峰法高分辨率遥感影像分割的树冠提取*

张　凝　张晓丽　叶　栗
(北京林业大学林学院, 北京 100083)

摘要: 对现有爬峰法利用高分辨率遥感影像分割进行树冠提取时存在的问题进行直方图压缩和基于类的二次合并两方面的改进,并将改进后的爬峰法在 Matlab 平台上模拟实现。以 QuickBird 影像为基础数据源提取单木树冠,分析树冠面积提取精度,验证改进爬峰法对高分遥感影像树冠分割的可靠性。研究结果表明:实验样本精度均达到 85% 以上,与传统目视解译精度比较相差较少,满足应用需求。

关键词: 遥感影像　爬峰法　高分辨率遥感影像　图像分割　树冠提取
中图分类号: TP751.1　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-1298(2014)12-0294-07

引言

近年来,随着高空间分辨率遥感影像的不断发展,其目标地物清晰,地物景观结构、形状、纹理和细节等信息明显的特点日渐突出,并逐步成为小尺度光学遥感应用的重要数据源。因此,利用高空间分辨率遥感影像对地物进行分割逐步成为遥感图像理解、地物识别的关键问题[1]。

基于高分辨率遥感影像分割的相关研究及应用已有不少,但通常都是将用于灰度图像的基于像素的分割方法直接或经过改进用于高分辨率图像的分割[2-3],致使分类精度降低并造成空间数据的大量冗余。近年来,在基于分割的特征提取及面向对象分类等方面的研究取得了一定进展[1]。模糊理论、数学形态学、小波特征、支持向量机、人工神经网络、分水岭变换及边缘生长等多种方法先后得到应用[4-16]。事实上,对高分辨率影像进行图像分割时,更多的是要利用几何信息和结构信息[3]。

在众多的图像分割方法中,基于特征空间的聚类法主要是基于图像上特征向量在特征空间中会形成局部高密度区域这一事实[17]。爬峰法是此种聚类方法中非参数、非迭代的典型方法。爬峰法作为一种聚类方法用于图像分割中,存在着直方图压缩效果不显著和未考虑图像空间两大问题[17],本文针对原有爬峰法这两大问题,对爬峰法进行改进,并将改进的爬峰法在 Matlab 中模拟实现。利用改进的方法,对鹫峰国家森林公园及门头沟葡山林区 QuickBird 影像进行树冠面积提取实验。

1　研究区及数据

1.1　研究区概况

鹫峰国家森林公园位于北京市海淀区西北部的苏家坨镇境内,东经 116°28′,北纬 39°54′,总面积约为 832.04 hm^2,平均海拔为 500 m,主峰海拔高达 889 m,森林覆盖率高达 96% 以上,景区内有 90 万 m^2 的原始森林,有陆地植物 110 科 313 属 684 种。

门头沟葡山林区位于大峪草帽山西侧,东经 165°04′,北纬 39°55′。森林覆盖率达到 60% 左右,以暖温带落叶及阔叶林为主要植被,其中灌木林面积达到 45%,对北京市生态屏障起着极其重要的作用。

1.2　数据获取及预处理

1.2.1　影像数据及预处理

QuickBird 影像包括全色波段和多光谱波段,获取的影像覆盖整个实验区域,无云覆盖,轨道校正,质量较好。

针对两研究区影像分别进行处理,利用各地区地形图,分别选取 40 个控制点对全色和多光谱影像进行几何精纠正,其均方根在一个像素范围内,符合图像处理精度要求。利用主成分分析法对 0.6 m 空间分辨率的全色波段和 2.4 m 分辨率的多光谱波段进行融合,以充分利用影像的光谱和空间信息进行综合分析,融合后影像空间分辨率为 0.6 m。

1.2.2　外业数据获取及处理

在研究区内划定树木生长状况较好的区域作为

收稿日期: 2014-05-21　修回日期: 2014-09-02
* 国家高技术发展研究计划(863 计划)资助项目(2012AA102001-5)
作者简介: 张凝,博士生,主要从事遥感在资源环境中的应用研究,E-mail: ZNYZ1987@126.com
通讯作者: 张晓丽,教授,博士生导师,主要从事遥感、GIS 在资源与环境中的应用研究,E-mail: zhang-xl@263.net

实验区，利用卷尺分别测定实验区内 20 株不同大小单木的东西及南北两方向冠幅，单位为米。

对外业调查中所观测的每株树木进行编号。计算 2 个方向冠幅平均值作为树冠直径 R，按圆形计算面积作为树冠面积，即 $S = \pi R^2/4$。

2　原理与方法

爬峰法是一种非参数、非迭代的聚类方法，可以聚类任意形状和大小的数据。该方法是基于一种假设：直方图中，每个类都是单峰的，每个明显的局部密度最大值代表了特征空间的一个类，也代表了图像中相同性质的区域，通过搜索直方图中的峰，将特征空间进行聚类，映射回图像空间即可实现对图像的分割[18-20]。

爬峰法作为一种聚类方法应用于图像分割，存在两方面局限性：针对特征空间进行分类，但未考虑图像空间关系；直方图压缩效果不显著。针对这两方面的问题，对爬峰法进行改进，以应用于图像分割，并通过 Matlab 软件模拟改进算法的实现。主要技术路线如图 1 所示。

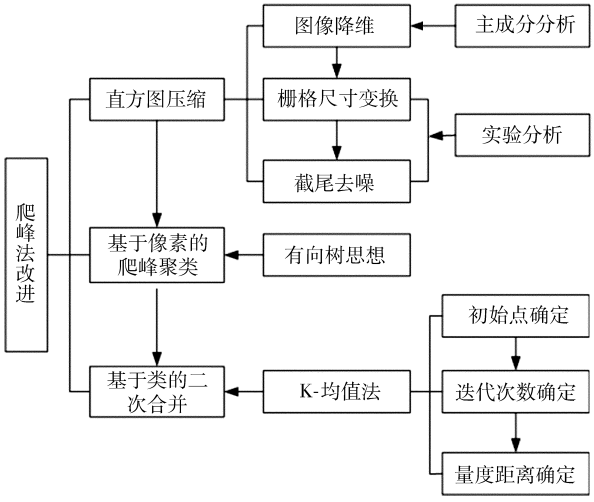

图 1　技术路线

Fig. 1　Technical route

2.1　直方图压缩

按照爬峰法的一般步骤，首先要建立一个总体大小和栅格尺寸都合适的直方图。对于高分辨率影像，用原图像的像素去填充所建立的直方图时，会由于像素个数相差大而非常稀疏。因此，直方图压缩是不容忽视的步骤。整个直方图压缩过程主要分为：图像降维、栅格尺寸变换和截尾去噪。

(1)图像降维：主成分分析是一种考虑了变量之间相关关系，且能够尽量减少信息丢失的线性变换方法，可以有效地压缩数据，同时增强信息量，故选用主成分分析来实现降维。

(2)栅格尺寸变换：现有爬峰法之所以会存在直方图压缩效果不显著的现象，主要原因在于它对所有类采用了相同的栅格边长[17]。事实上，不同类型在特征空间中其分布形状及大小等都是有差异的，对它们进行栅格量化时，要保证原有信息不发生变化，各类所适宜的栅格边长会各不相同的。

经过主成分变化后，若用统一数值代替栅格大小会造成第一主分量分割过粗而最后一个主分量分割过细的结果。由此需进行改变，即对不同主分量的信息量采用不同数值代替，依据主成分特征值的大小确定各主分量的栅格尺寸。以最小栅格尺寸为基础，变换(增大)各主分量栅格尺寸。通过对直方图压缩的改进，达到更好的分割效果。

(3)截尾去噪：为缩小数据的分布范围、提高分析速度，同时又不损失图像信息，在直方图压缩中增加截尾去噪处理[21]。

2.2　直方图压缩参数确定

为确定改进爬峰法中的各项参数，在所获取的鹭峰地区影像中，截取 1 000 m × 1 000 m 大小、地物相对丰富且特征明显、同时包含外业调查实验区的影像作为研究的主要区域。主成分变换结果如表 1 所示。

表 1　主成分变化结果

Tab. 1　Result of principle component

主分量	1	2	3	4
特征值	1.626 9	1.187 3	0.725 2	0.460 6
累计贡献率/%	40.67	70.35	88.48	100
主分量间距	199	240	169	210

根据以上实验结果，在整个实验区域内，前 3 个主分量的累计贡献率达到 88.48%，满足要求。此后，分别用第 1、2、3 主分量的栅格尺度为(2,2,2)、(4,4,4)、(2,4,6)、(2,4,8)进行实验，以确定合适的栅格尺寸，其结果如图 2 所示。

综合比较图 2，图 2a 中，栅格尺寸全部设为 2，效果最不理想，几乎不能分辨乔木、灌木和裸地，这是因为过度强调了 2、3 波段上的植被信息，导致乔木、灌木以及有少量植被的裸地无法区分；图 2b 中，当尺寸都设为 4，虽然依旧无法突出第一波段信息，但由于压缩了 2、3 波段的细节，能大致区分裸地、灌木和乔木。图 2c 与图 2d 相比，由于图 2c 第三波段栅格尺寸设置较小，对此波段的信息压缩不明显，第三波段的微小差异使得图 2c 的地物分割比图 2d 更加细碎。综合几个因素考虑，在本实验图内，栅格尺寸按主成分特征值分别设为(2,4,8)最为合理。

分析比较截尾去噪 2% 及 4% 的截尾尺寸，由于剩余点数越多，误差越大，当用 2% 进行实验时，剩

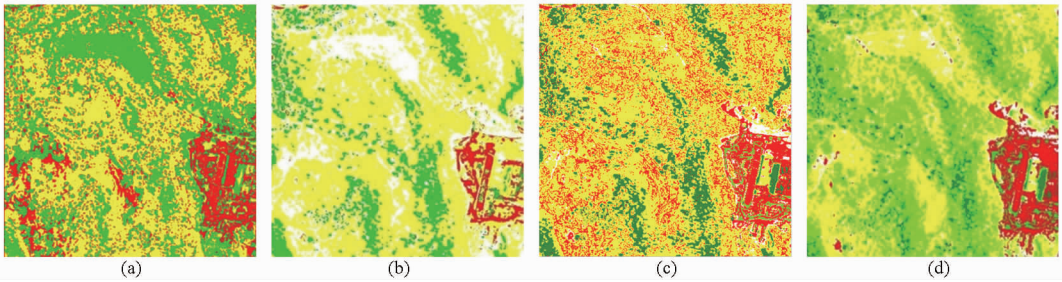

图 2 栅格尺寸实验结果图

Fig. 2 Result of different grids scale test

(a)(2,2,2) (b)(4,4,4) (c)(2,4,6) (d)(2,4,8)

余点有 949 630 个,约占总像素的 95%,因此确定选择 2% 进行截尾。在完成整个直方图压缩后,原本 4.295×10^9 个单元的五维直方图压缩为含有 $2.098\,8 \times 10^5$ 个单元的四维直方图。

2.3 基于类的二次合并

在进行类的二次合并时,目前已有的研究多采用亲和度、聚合度等进行二次分割。这些方法计算过程复杂,不能很好地考虑两峰中间的聚类。考虑到这些局限性,同时为加快程序运行速度,提高分割精度,在二次聚类时,采用 K-均值法进行快速聚类。在整个聚类过程中,要确定初始点、迭代次数及量度距离:

(1)初始点确定:为提高初始点的离散度,确保最终分类的准确性,采用最大最小距离法确定初始点,以保证各初始类别之间尽可能地保持最大距离。

(2)迭代次数确定:为提高运算速度,在采用最大最小距离法获取离散度较高的初始点后,将迭代次数设为常数。图像的精度是随着迭代次数 N 的增加而提高的,但由于在实际应用中,寻找满足传统 K-均值法的 N 的最小值在编程实现上有很大难度,所以,必需找到一个能够有效提高分割精度,同时又缩短程序运行时间的 N 值。

(3)量度距离确定:在常用的马氏距离和欧氏距离中,马氏距离易造成分割细节不明显,故采取欧氏距离参与类的二次合并。

2.4 基于类的二次合并参数确定

完成直方图压缩后,采用基于像素的爬峰聚类,爬峰后进行类的二次合并。通过最大最小距离法确定初始点的结果如表 2 所示。确定初始点后,保持所有参数不变,利用实验确定迭代次数,实验结果如图 3 所示。

由图 3a ~ 3c 对比可知,由于初始类别中心相互之间差距很大,进行前两次迭代获得的分类图像差别效果很明显。但是 3 次迭代之后,从图 3c ~ 3f,虽然有些类的范围在扩大,有些类在缩小,但是调整幅度已不那么明显甚至可以认为微乎其微。通过对比图像效果,最终确定迭代次数 $N = 6$。该值既可以保证图像分割结果足够精确,又可以缩短程序的运行时间。

表 2 最大最小距离法初始点确定结果

Tab. 2 Result of maximum-and-minimum algorithm of starting point

初始点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
第一波段	84	2	16	43	122	63	23	141	103	13
第二波段	8	30	51	39	51	36	20	55	46	49
第三波段	2	37	5	3	4	4	7	8	18	15

2.5 爬峰模拟实现

由于 Matlab 中没有指针,没有办法建立有向树,经综合各项考虑,采用有向树的基本思想,在程序中建立一个长度为直方图所有栅格数的数组 index-table 来记载每个点归属峰的索引值。设置一个数组 class 为暂存器,每个点都对应着一个 class 用来记录从此点出发爬到某个“峰”时经过所有点的索引值。显然,数组 class 里最后一个数即为“峰”的索引值,然后将“峰”的索引值赋予该 class 里包含的所有经过的点对应在 index-table 里的位置。若该点直方图上值为 0,没有计算必要,class 为空集。对图像中的每一个点都进行求 class,若在爬峰过程中遇到某点在 index-table 的对应值非零,说明此点已分类,立刻将该 class 里所有点在 index-table 里所有点都赋予所在数组中最后一点的索引值。接着对下一点进行爬峰聚类,直至所有点都完成一遍爬坡,得到爬峰结果数组 index-table。图 4 为爬峰法模拟实现流程。

3 结果及精度分析

在林业研究中,树冠是研究森林结构的重要依据。通过提取其单木树冠面积,可以获得蓄积量、生长量等信息[22-23]。

为定量化验证改进爬峰法图像分割在树冠提取中的精度,利用爬峰实验中经过外业调查部分的影

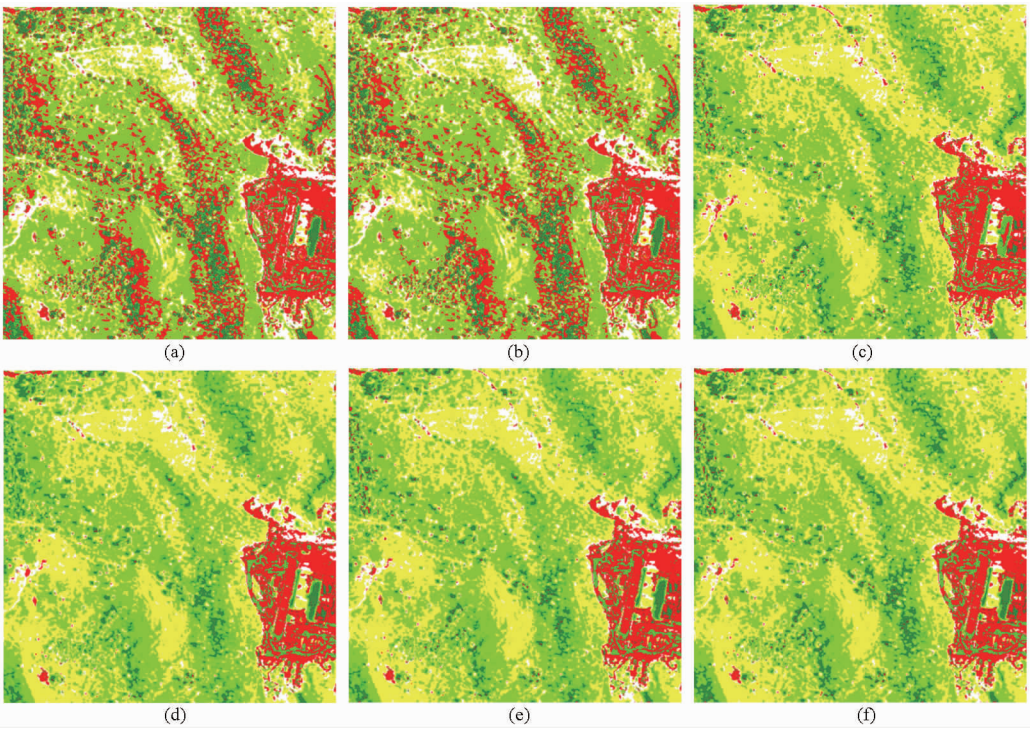

图 3　不同 N 值的分割结果

Fig. 3　Segmented results of different values of N

(a) $N=1$　(b) $N=2$　(c) $N=3$　(d) $N=6$　(e) $N=9$　(f) $N=12$

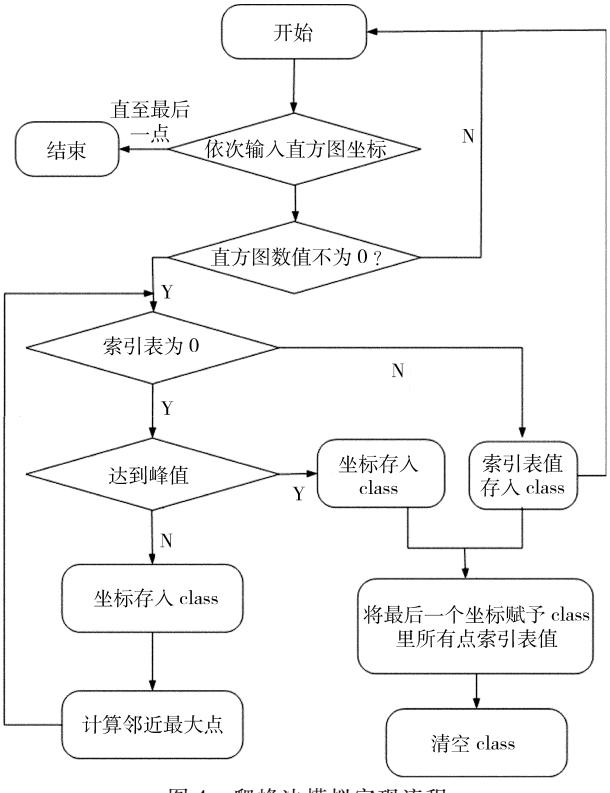

图 4　爬峰法模拟实现流程

Fig. 4　Flowing chart of peak-climbing algorithm

像导入至 Matlab 爬峰程序，作为实验组；同时用 Mapinfo 软件通过目视解译完成树木树冠的勾画与面积统计，作为参照。再用外业调查数据计算树干面积作为真实值，3 组数据组合，对爬峰法结果进行精度分析。

3.1　鹫峰国家森林公园实验结果

按照上述方法，对鹫峰研究区影像进行分析，结果如图 5 ~ 7 所示，其树冠面积计算结果对比如表 3 所示。



图 5　真彩色合成图像

Fig. 5　True color image

3.2　门头沟葡山林场实验结果

为提高改进爬峰法的实验可信性及方法的可推广性，对门头沟地区 QuickBird 影像进行改进爬峰实验，并参照上述鹫峰地区数据分析方法进行分析，所得结果如图 8 ~ 10 所示，树冠提取数据见表 4。

3.3　实验结果精度分析

样本精度为

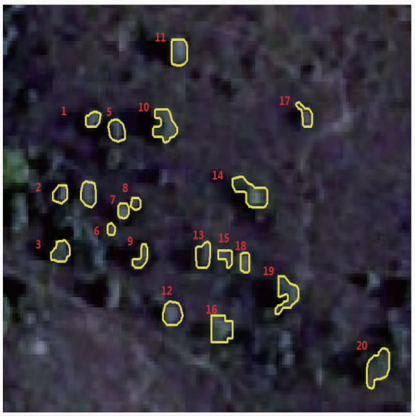

图 6 目视解译结果(鹭峰)

Fig. 6 Result of using manual

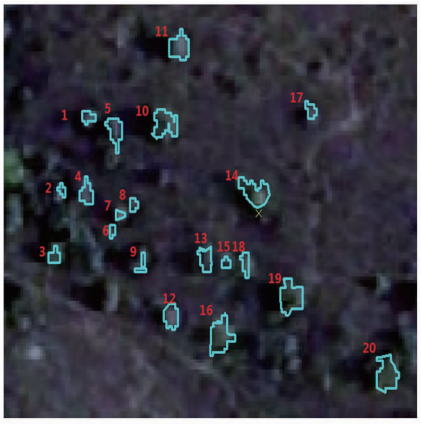

图 7 爬峰法结果(鹭峰)

Fig. 7 Result of peaking-climb interpreter algorithm

表 3 树冠面积计算结果对比(鹭峰)

Tab. 3 Comparison of every tree crown

树木编号	爬峰法对比			目视解译对比		
	实测值/m^2	爬峰法/m^2	相对误差/%	实测值/m^2	目视解译/m^2	相对误差/%
1	10.23	8.34	0.18	10.23	10.78	0.05
2	14.52	14.88	0.02	14.52	13.27	0.09
3	17.46	17.74	0.02	17.46	18.69	0.07
4	14.23	14.88	0.05	14.23	14.87	0.04
5	18.87	19.05	0.01	18.87	17.62	0.07
6	3.98	4.17	0.05	3.98	4.47	0.12
7	8.52	10.48	0.23	8.52	8.51	0.00
8	4.88	5.95	0.22	4.88	6.01	0.23
9	10.56	4.76	0.55	10.56	11.37	0.08
10	30.37	30.21	0.01	30.37	31.31	0.03
11	25.41	25.01	0.02	25.41	23.04	0.09
12	17.89	17.26	0.04	17.89	21.46	0.20
13	16.32	14.20	0.13	16.32	19.05	0.17
14	32.46	31.26	0.04	32.46	37.45	0.15
15	6.17	4.16	0.33	6.17	6.23	0.01
16	35.65	35.55	0.00	35.65	31.45	0.12
17	8.21	7.14	0.13	8.21	9.50	0.16
18	8.56	8.13	0.05	8.56	10.06	0.18
19	33.83	35.48	0.05	33.83	28.99	0.14
20	34.74	34.48	0.01	34.74	36.37	0.05

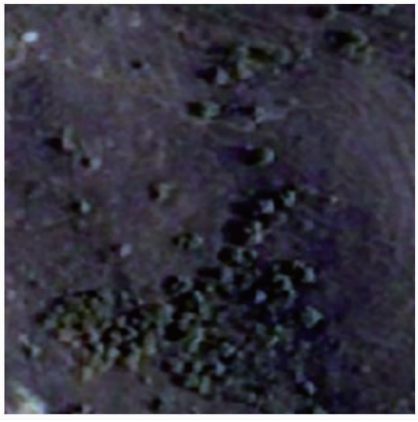

图 8 真彩色合成图像(葡山林区)

Fig. 8 True color image

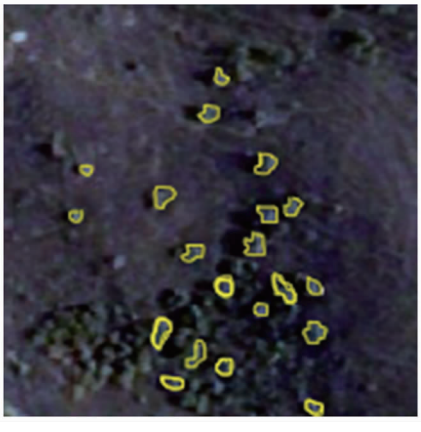

图 9 目视解译结果(葡山林区)

Fig. 9 Result of using manual

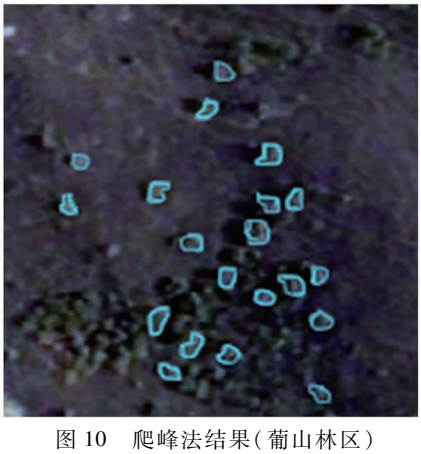

图 10 爬峰法结果(葡山林区)

Fig. 10 Result of peaking-climb interpreter algorithm

$$C = \sum_{i=1}^{n} (1 - \delta_i)/n \tag{1}$$

式中 δ_i——样本相对误差 n——样本数[24]

由式(1)及表 3 数据分析,利用改进爬峰法提取树冠的精度 C 达到 89.42%,满足计算森林生物量的要求。同时可以得到利用目视解译提取树冠的精度 C 为 89.76%;结合表 4 数据,改进爬峰法实验精度为 89.83%,目视解译精度达到较高的分割 C

表 4　树冠面积计算结果对比(葡山林区)

Tab. 4　Comparison of every tree crown

树木编号	爬峰法对比			目视解译对比		
	实测值/m^2	爬峰法/m^2	相对误差/%	实测值/m^2	目视解译/m^2	相对误差/%
1	9.63	8.63	0.10	9.63	9.12	0.05
2	10.64	10.53	0.01	10.64	9.63	0.09
3	12.38	9.78	0.21	12.38	10.56	0.15
4	6.23	7.34	0.18	6.23	7.32	0.17
5	3.79	3.96	0.04	3.79	4.12	0.09
6	32.16	28.54	0.11	32.16	29.96	0.07
7	22.57	21.78	0.04	22.57	22.79	0.01
8	34.39	32.45	0.06	34.39	30.89	0.10
9	21.46	22.75	0.06	21.46	23.47	0.09
10	6.23	4.35	0.30	6.23	5.29	0.15
11	10.09	9.36	0.07	10.09	10.59	0.05
12	8.13	6.54	0.20	8.13	7.64	0.06
13	35.57	34.78	0.02	35.57	34.91	0.02
14	5.18	4.95	0.04	5.18	4.93	0.05
15	4.72	3.90	0.17	4.72	4.72	0.00
16	18.92	17.13	0.09	18.92	17.58	0.07
17	13.27	13.97	0.05	13.27	14.79	0.11
18	19.69	18.36	0.07	19.69	20.43	0.04
19	21.32	24.76	0.16	21.32	22.72	0.07
20	16.57	15.98	0.04	16.57	14.35	0.13

值 92.09%。比较 2 个研究区的样本精度,目视解译的实验精度相对改进爬峰法而言较高,同时改进爬峰法精度已经达到林业需求,且与目视解译分析结果相差不大。

由图 5 ~ 10 的对比分析比较,爬峰法提取树冠时,树冠与其阴影分割清晰,能很好地辨别植被与其周围的土壤。对比目视解译和爬峰法分割的结果,2 个实验区共 40 棵树中有 30 棵树爬峰法分割的树冠面积小于目视解译的结果,爬峰法分割树冠的平均值(17.15 m^2/14.92 m^2)也是小于目视分割的(18.65 m^2/15.29 m^2)。其原因主要有两方面:一方面是因为树冠大多呈球形或近球形,在树冠顶端的光谱值较亮,在爬峰法中容易聚类在一起,而球形边缘因植被厚度较低,其光谱近似于林木下方地物,在 K-均值法进行聚类时容易归为灌木或裸地。另一方面,在树冠重叠区域,爬峰法提取树冠的重叠面积往往小于目视解译的面积。

4　结论

(1)在直方图压缩实现过程,利用主成分变换对图像进行降维,并根据 PCA 不同主分量的信息量变换栅格尺寸,即采用多尺度压缩直方图,更为有效地提高了直方图压缩效果,达到降维的目的。

(2)采用 K-均值快速聚类法作为基于类的二次合并方法,通过最大最小距离法确定 K-均值法的最初点,确保原始点足够离散,并使用统一的迭代次数进行迭代,在保证聚类精度的同时有效地提高了算法实现速度。

(3)改进后的爬峰法可以自动化提取图像信息,避免了人机交互方法中人为因素造成的误差,同时也解决了现有爬峰法应用于高分辨率影像分割时面临的问题。

参　考　文　献

1　肖鹏峰,冯学智,王培法,等. 高分辨率遥感图像分割与信息提取[M]. 北京:科学出版社,2012.

2　杜凤兰,田庆久,夏学齐. 遥感图像分类方法评析与展望[J]. 遥感技术与应用,2004,19(6):521 - 525.
Du Fenglan, Tian Qingjiu, Xia Xueqi. Expectation and evaluation of the methods on remote sensing image classifications[J]. Remote Sensing Technology and Application,2004,19(6):521 - 525. (in Chinese)

3　章孝灿,黄智才,赵元洪. 遥感数字图像处理[M]. 杭州:浙江大学出版社,1997.

4　郭孝玉,孙玉军,王轶夫,等. 基于改进人工神经网络的植物叶面积测定[J]. 农业机械学报, 2013,44(2):200 - 204.
Guo Xiaoyu, Sun Yujun, Wang Yifu, et al. Improved artificial neural network for determination of plant leaf area[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(2):200 - 204. (in Chinese)

5　Pal S K, Ghosh A, Shankar B U. Segmentation of remotely sensed images with fuzzy thresholding, and quantitative evaluation [J]. International Journal of Remote Sensing, 2000,21(11):2269 - 2300.

6　林剑. 基于模糊理论的遥感图像分割方法研究[D]. 长沙:中南大学,2003.

7　Pesaresi M, Benediktsson J A. A new approach for the morphological segmentation of high-resolution satellite imagery [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001,39(2):309 - 320.

8　朱长青,王耀革,马秋禾,等. 基于形态分割的高分辨率遥感影像道路提取[J]. 测绘学报,2004,33(4):347 - 351.
Zhu Changqing, Wang Yaoge, Ma Qiuhe, et al. Road extraction from high-resolution remotely sensed image based on morphological segmentation[J]. Acta Geodetica et Cartographica Sinica,2004,33(4):347 - 351. (in Chinese)

9　纪松,张一鸣,龚辉. 一种基于数学形态学的遥感影像分割方法[J]. 测绘工程,2007,16(4):33 - 36,40.
Ji Song, Zhang Yiming, Gong Hui. An segmentation method of remotely sensed imagery based on mathematical morphology [J]. Engineering of Surveying and Mapping,2007,16(4):33 - 36,40. (in Chinese)

10　金丽亚,曹卫国. 一种 TM 遥感影像的分割算法[J]. 装甲兵工程学院学报,2006,20(5):69 - 71.

Jin Liya, Cao Weiguo. Study on segmentation algorithm TM remote sensing image [J]. Journal of Academy of Armored Force Engineering, 2006, 20(5): 69 – 71. (in Chinese)

11 徐芳. 航空影像分割的支持向量机方法[D]. 武汉:武汉大学, 2004.

12 王子煜. 基于数学形态学的高分辨率遥感影像分割方法研究[D]. 北京:北京大学, 2005.

13 陈秋晓, 陈述彭, 周成虎. 基于局域同质性梯度的遥感图像分割方法及其评价[J]. 遥感学报, 2006, 10(3): 357 – 365.
Chen Qiuxiao, Chen Shupeng, Zhou Chenghu. Segmentation approach for remote sensing images based on local homogeneity gradient and its evaluation [J]. Journal of Remote Sensing, 2006, 10(3): 357 – 365. (in Chinese)

14 陈忠, 赵忠明. 基于分水岭变换的多尺度遥感图像分割算法[J]. 计算机工程, 2006, 32(23): 186 – 207.
Chen Zhong, Zhao Zhongming. Multi-scale image segmentation of remote sensing image based on watershed transformation[J]. Computer Engineering, 2006, 32(23): 186 – 207. (in Chinese)

15 陈波, 张友静, 陈亮. 标记分水岭算法及区域合并的遥感图像分割[J]. 国土资源遥感, 2007(2): 35 – 38.
Chen Bo, Zhang Youjing, Chen Liang. Segmentation of the remote sensing image based on method of labeling watershedal gorethm and regional merging[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2007(2): 35 – 38. (in Chinese)

16 刘永学, 李满春, 毛亮. 基于边缘的多光谱遥感图像分割方法[J]. 遥感学报, 2006, 10(3): 350 – 356.
Liu Yongxue, Li Manchun, Mao Liang. An algorithm of multi-spectral remote sensing image segmentation based on edge information[J]. Journal of Remote Sensing, 2006, 10(3): 350 – 356. (in Chinese)

17 葛宏立, 方陆明, 孟宪宇, 等. 基于爬峰法聚类的 TM 图像专题信息人机交互提取[J]. 计算机工程, 2005, 31(11): 154 – 156, 170.
Ge Hongli, Fang Luming, Meng Xianyu, et al. Interactive thematic information extracting form TM image based on peak-climbing clustering [J]. Computer Engineering, 2005, 31(11): 154 – 156, 170. (in Chinese)

18 Koontz W, Narendra P M, Fukunage K. A graph theoretic approach to nonparametric cluster analysis [J]. IEEE Transactions on Computers, 1972, C – 25(9): 936 – 944.

19 Koontz W, Fukunage K. A nonparametric valley-seeking technique for cluster analysis[J]. IEEE Transactions on Computers, 1972, C – 21(2): 171 – 178.

20 祝锦霞, 王珂. 面像对象的高分辨率影像变化检测方法研究[J]. 农业机械学报, 2013, 44(4): 184 – 189.
Zhu Jinxia, Wang Ke. Object-oriented change detection method using very high spatial resolution imagery[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(4): 184 – 189. (in Chinese)

21 葛宏立. 面向对象的图像分割方法研究[D]. 北京:北京林业大学, 2004.

22 周坚华. 城市绿量测算模式及信息系统[J]. 地理学报, 2001, 56(1): 14 – 23.
Zhou Jianhua. Theory and practice on database of three-dimensional vegetation quantity [J]. Acta Geographoca Sinica, 2001, 56(1): 14 – 23. (in Chinese)

23 张浩, 王祥荣. 城市绿地的三维生态特征及其生态功能[J]. 中国环境科学, 2001, 21(2): 1 – 5.
Zhang Hao, Wang Xiangrong. Three-dimensional ecological characters of urban green space and its ecological function [J]. China Environmental Science, 2001, 21(2): 1 – 5. (in Chinese)

24 常胜, 宋鄂平. 射线法的完善及其在地理信息系统中的应用[J]. 湖北民族学院学报:自然科学版, 2004: 22(1): 91 – 93.
Chang Sheng, Song Eping. The improvement and application in GIS of radial algorithm [J]. Journal of Hubei Institute for Nationalities: Natural Science Edition, 2004, 22(1): 91 – 93. (in Chinese)

Tree Crown Extraction Based on Segmentation of High-resolution Remote Sensing Image Improved Peak-climbing Algorithm

Zhang Ning Zhang Xiaoli Ye Li

(*College of Forestry*, *Beijing Forestry University*, *Beijing* 100083, *China*)

Abstract: The peak-climbing algorithm in two aspects histogram compression and the two merging based on class when it is applied to high-resolution image segmentation to achieve the tree crown extraction improved peak-climbing algorithm was simulation with programing on Matlab. In order to verify the reliability of the peak-climbing algorithm on high-resolution image tree crown segmentation, QuickBird image to extract individual tree crown and analyze the precision of its area. The study result that the test sample accuracy could more than 85% using the improved and no much differences comparing with the visual interpretation. Thus this improved peak-climbing algorithm meets the application requirements.

Key words: Remote sensing image Peak-climbing algorithm High-resolution remote sensing image Image segmentation Tree crown extraction