

基于 LBP 算子与多尺度分析的高分辨率遥感影像道路自动提取方法改进研究

陈杰^{①,②}, 臧卓^②, 杨敏华^①

(① 中南大学信息物理与测绘工程学院, 长沙 410083; ② 中南林业科技大学林业遥感信息工程研究中心, 长沙 410004)

摘要: 将 LBP 算子与多尺度分析手段引入到影像道路提取的新方法中。首先针对一般 LBP 算子的不足, 使用邻域均值作为阈值来进行二值化; 再根据局部方差与多尺度影像之间的关系, 找到适合道路 LBP 纹理值的最佳尺度; 最后用区域生长和形状指数的方法, 提取此尺度影像的道路, 并通过尺度收缩关联到原始影像, 完成道路提取。试验结果表明, 此方法提取道路效果明显。

关键词: 遥感; 局部二值模式; 多尺度; 局部方差; 区域生长; 形状指数

doi: 10.3969/j.issn.1000-3177.2010.02

中图分类号: TP751 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2010)107-

1 引言

利用计算机从遥感影像中自动提取道路之类的线性地物信息, 是人们多年的愿望; 但是, 至今还没有一套功能完善的系统能实现此愿望[1]。根据道路特征提取的自动化程度, 一般地, 道路特征提取分为自动特征提取和半自动特征提取[2]。由于计算机还难以达到自行“识别”的水平, 半自动特征提取和识别则较为容易实现。

国内外众多学者在此领域进行了广泛而深入的研究, 汇聚了多学科知识的精华, 出现了许多理论与技术的创新。文献[3]通过对二值化后的图像建立道路的跟踪规则来识别高速公路, 文献[4]利用初始点和方向获得道路的统计模型特征来进行道路跟踪, 文献[5]通过建立几何模型和动态规划进行最大后验估计, 文献[6]将道路的辐射度信息、几何线索及道路局部的上下文关系集成于道路的模式中, 并能有效地从影像当中提取乡村交通网络, 文献[7]在给定特征点初始值的条件下, 以最小二乘法估计模板与影像之间的几何变形参数来得到道路特征。这些研究大多采用半自动的方法, 其基本思路大致是先进行预处理以增强道路影像的特征, 然后选定初始种子点和起始道路方向, 再将种子点扩展成线段得到道路中心线, 最后将线段确认并连接成道路网。

随着对遥感影像提取道路信息研究的加深, 国内外逐渐出现了全自动提取算法。文献[8]提出了从高分辨卫星影像上自动提取郊区道路网络的方法, 文献[9]提出了一种基于信息和提取方法融合, 从光谱特征、空间特征等角度出发, 建立了高空间分辨率多波段卫星遥感影像上道路网络自动提取模型, 文献[10]采用改进的数学形态学以及道路的几何特征, 实现对城市区域道路网的提取, 文献[11]从 Marr 视觉计算理论出发, 利用低分辨率遥感影像的特点, 提出了一种基于边缘线段感知编组和动态规划跟踪线段的道路信息全自动提取方法, 文献[12]提出了一种在半城区高分辨率卫星图像中自动提取道路信息的方法。而从所采用的遥感影像的角度来看, 文献[13~18]则分别用 ETM+、IKONOS 和 QuickBird 影像对城市道路进行提取。

基于局部二进制模式(local binary pattern, LBP)是 Ojala 在文献[19]中引入的一种纹理描述算子。其基本算法是: 由一个固定窗口大小(一般为 3×3)的矩形块, 用中心像素作为阈值对其邻域进行处理, 再乘以相应的权值, 最后求和得到这个纹理单元的 LBP 值。文献[20]中也介绍了 LBP 的计算方法, 并应用 LBP/C 纹理分析方法的基础上对遥感影像的居民地进行变化检测。正是因为该算法的纹理识别能力强、计算复杂度小的优点, 以 LBP 算子为

收稿日期: 2009-04-24 修订日期: 2009-05-23

基金项目: 湖南省自然科学基金(07JJ3060)。

作者简介: 陈杰(1980~), 男, 博士生, 研究兴趣为遥感影像理解及信息提取。

E-mail: cjsu@163.com.

代表的方法得到了深入研究及应用推广^[20~25]。本文旨在前人工作的基础上,提出 LBP 算子的改进算法,并在多尺度分析的基础上,尝试一种从遥感影像中提取道路的新方法。

2 LBP 算法及改进

纹理谱方法的主要思想是利用局部纹理模式作为纹理单元来进行纹理分析,通过刻画图像像素点邻域内灰度的变化来描述图像的纹理结构特征^[23]。LBP 正是一种纹理谱分析的方法;设 $f(x, y)$ 为中心像元,它的一般计算步骤如下(3×3 邻域):

$$\text{二值化: } I = \begin{cases} 0 & f(x+i, y+j) \leq f(x, y) \\ 1 & f(x+i, y+j) > f(x, y) \end{cases} \quad (i, j = -1, 1) \quad (1)$$

$$\text{权值: } W = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 8 & 0 & 16 \\ 32 & 64 & 128 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\text{计算: } LBP = \sum \sum I \cdot W \quad (3)$$

将 LBP 算子在影像中以 3×3 窗口滑动即可得到 LBP 影像,它刻画了邻域内像素点的灰度相对中心点的变化情况,描述了局部纹理的空间特征,由于人类视觉系统对纹理的感知与平均灰度(亮度)无关^[26],因此也符合人类视觉对图像纹理的感知。易知,其像素值的分布范围为 $0 \sim 255$ 之间。

但是,由于 LBP 算子是将 3×3 邻域跟中心像元进行比较,很容易出现图 1 所示的情况:A 与 B 的 LBP 值都是 0, C 与 D 的 LBP 值都为 255,且其中心元素并非噪声。这样以来,LBP 仅仅是反映邻域内局部像元的彼此关系,而在全局纹理描述上可能存在混淆,因此很难在影像图上展现整体纹理效果。

52	52	54	6	7	6	53	53	54	6	7	6
54	55	52	6	8	8	54	52	53	6	5	7
52	55	54	7	6	7	55	54	54	7	6	7
A	B	C	D								

图 1 易混淆的邻域

为了使 LBP 算子既能反映局部纹理,也能不失“真实”地表示局部纹理的整体效果,本文将式(1)改为:

$$I = \begin{cases} 0 & f(x+i, y+j) \leq \text{threshold}(x, y) \\ 1 & f(x+i, y+j) > \text{threshold}(x, y) \end{cases} \quad (i, j = -1, 1) \quad (4)$$

其中 $\text{threshold}(x, y)$ 不再为中心像元 $f(x, y)$

的亮度值,而是整个邻域的均值,即:

$$\text{threshold}(x, y) = \frac{1}{9} \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 f(x+i, y+j) \quad (5)$$

同样以图 1 为例,A、B、C、D 的邻域窗口内的平均亮度值分别为:53.33、6.78、53.56、6.33。新的二值化方法计算得到的 LBP 值分别为:204、178、236、178,有效地将 A 与 B、C 与 D 分开,并且使得具有相似纹理的局部得以“聚拢”(如 A 与 C、B 与 D)。

改进后的 LBP 不仅有上述的效果,而且还能在一定程度上对影像进行滤波。通过比较两个方法可知:前者使得 A 与 B 的 LBP 值为 0, C 与 D 的 LBP 值为 255,后者有效的避免了这种现象;同时,用新方法得到的 LBP 值为 0 或者 255 的邻域尤为突出(所图 2 所示)。

52	52	54	6	7	6	53	53	54	6	7	6
54	8	52	6	55	8	54	7	53	6	52	7
52	55	54	7	6	7	55	54	54	7	6	7
A	B	C	D								

图 2 存在噪声的邻域

通过图 2 所示的例子进一步可知,A、B、C、D 的邻域窗口内的平均亮度值分别为:48.11、12、48.56、11.56, LBP 分别为:255、0、255、0。很显然,图 2 所示各窗口的中心像元都是噪声,且其对应的 LBP 值是 0 或者 255,也就是说 LBP 值“标识”出了影像中的噪声点。因此,在计算得到 LBP 纹理影像图之后,通过如下式子去噪(int 为取整函数)得到新的中心像元值:

$$f'(x, y) = \text{int} \left[\frac{1}{8} \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 f(x+i, y+j) \right] \quad (i, j \neq 0 \& (LBP = 255 \mid 0(f < \text{threshold}))) \quad (6)$$

那么,经过去噪后的图 2 中 A、B、C、D 的中心像元新的亮度值分别为:53、7、54、7,新的邻域均值为:53.11、6.67、53.78、6.56,新的 LBP 值为:204、178、236、178,有效地去除了噪声干扰。

3 多尺度与局部方差分析

文献[27]中描述了遥感影像中的道路主要呈现以下特征:(1)道路是拉长的条带状区域;(2)道路表面灰度及纹理变化不大;(3)道路的弯曲是有限的,且不会剧烈变化;(4)道路宽度基本保持不变;(5)道路与周围邻近区域光谱上经常有比较大的反差。考虑到遥感影像中的道路特征,利用 LBP 算子来提取道路是可行的。这是因为:(1)道路是长带状的,反

映道路局部纹理的 LBP 值必定也同时反映了道路的延伸性；(2)道路表面纹理变化不大且宽度一致，表示道路能够由一串或者并列的几串 LBP 值所反映；(3)道路弯曲变化有限，则 LBP 值仅在道路交叉处才会有方向性的变化；(4)道路与周围邻近光谱有较大反差，这为用 LBP 值区别道路与其他地物提供了前提条件。

但是，正因为 LBP 算子能够反映地物的局部纹理关系，其“细微性”使得中心像元的 LBP 值对其邻域非常“敏感”，从而使得该地物对象的 LBP 值的规律性不容易得到准确的反应。众所周知，遥感影像是具有尺度依赖性的。也就是说，某种地物在某个空间分辨率尺度之下的具备有较强的可分辨能力。文献[28]描述了局部方差会随着影像空间分辨率的降低呈现出先增高后降低的规律。基于局部方差与分辨率之间的关系，本文针对遥感影像的尺度性，在分析局部方差的基础上，用 LBP 值所反映的特性来提取道路。

3.1 影像多尺度分析

文献[30]中用金字塔描述了图像的多分辨率关系。如图 3 所示，图像序列 I_0 到 I_m ，分辨率逐渐降低，低分辨率图像由高一级的分辨率图像通过尺度扩展得到； I_m 中的每一个像素点对应于 I_{m-1} 中的四个像素点，空间分辨率为 I_0 的 2^m 倍，图像大小为 I_0 的 2^{-m} 倍，用 $I_m(x, y)$ 表示尺度为 m 的图像位置在 (x, y) 的像素亮度值。

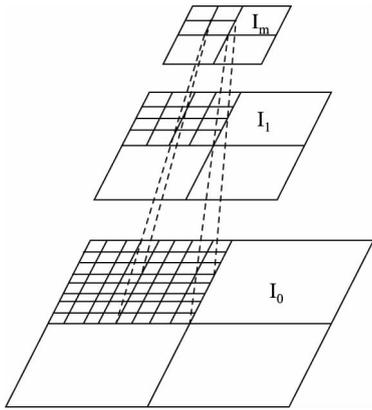


图 3 多尺度示意图

本文采用简单平均法进行遥感影像的尺度扩展，即通过对上一级高分辨率像元的简单平均，将遥感影像 $n \times n$ 窗口内的像元合并成单一的次级分辨率的像元。设 γ 为尺度扩展因子，则：

$$I_m(x, y) = \gamma \cdot I_{m-1} = \frac{1}{4} \sum_{n=1, 2; k=0, 1, \Delta} [I_{m-1}(k \cdot x + n, k \cdot y + n)] \quad (7)$$

已知较低一级分辨率的图像，如何得到高一级的分辨率的图像并不是一个简单的问题，而这一问题的解决关系到在低分辨率下进行分割、分类、目标识别等之后如何得到高分辨率图像中的相应结果^[29]。以尺度为 m 的图像 I_m 中某像素点 $I_m(x_0, y_0)$ 为例，将其映射到尺度为 $m-1$ 的图像 $I_{m-1}(x, y)$ 中。本文以两个像素距离为半径作为其父结点的搜索区，并进一步设定阈值 T 来定位待提取信息的像素点：设 γ^{-1} 为尺度收缩因子，则：

$$I_{m-1}(x, y) = \gamma^{-1} \cdot I_m(x_0, y_0): \begin{cases} (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \leq 2 \\ I_{m-1}(x, y) - I_m(x_0, y_0) \leq T \end{cases} \quad (8)$$

3.2 影像局部方差分析

获得多尺度遥感影像之后，本节将分析不同尺度下道路局部方差的变化情况。文中采用 IKONOS 影像(见图 4)进行道路提取实验，大小为 1024×1024 。由于 LBP 算子的滑动窗口大小为 3×3 ，因此用同样大小的窗口分别从各尺度影像中的相同位置的道路目标进行采样，然后取平均得到该尺度下的道路局部方差值。采用上节中的多分辨率模型依次构建不同分辨率图像，图 5 仅表示分辨率级数分别为 0、1、2、3 等前四个尺度的局部影像图，从图 6 表示的局部方差均值—分辨率曲线图中可以看出，高分辨率影像中的道路局部方差初值较高，然后随着分辨率的降低开始降低，当道路的宽度大小与图像空间分辨率相对较小时，每个像素点的值都不相同，相关性也减弱，故局部方差增加，但随着空间分辨率变得更低，道路目标逐渐被掩盖在周围像素中，局部方差开始急剧变小。



图 4 原始影像

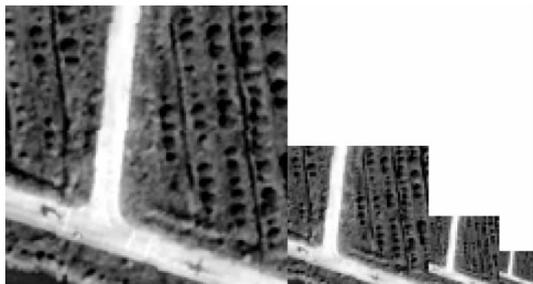


图 5 前 4 个尺度局部影像

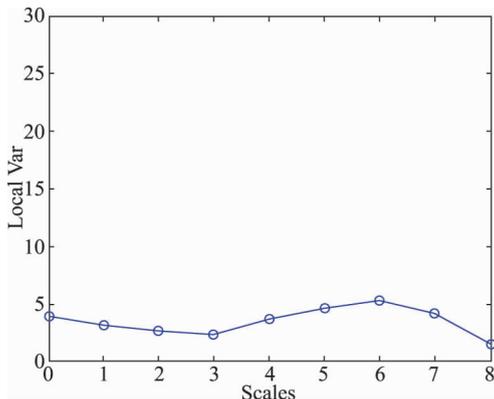


图 6 局部方差—尺度曲线图

4 实验

4.1 LBP 纹理影像

LBP 算子的另外一个值得注意的问题是,会出现如图 7 所示情况。邻域 A 与 B 虽然代表了两种纹理,但是却有着一致的 LBP 值。因此,有必要在算法中设定了一个阈值 β ,当图像邻域的均值不在阈值范围内时,就将此邻域的 LBP 设为 0,反之,就按上述的方法计算它的 LBP 值。从影像中所采样的道路邻域的直方图可以得到其均值范围为 [160, 255],因此将其设为阈值。根据 3.2 对影像局部方差的分析可知,尺度 3 的影像所反映的道路具有最小的方差,即道路 LBP 纹理能够反映道路方向的延伸规律,于是从该尺度的影像中生成 LBP 纹理影像。

51	52	54
54	53	51
53	54	52

6	5	8
8	7	6
7	8	6

A B

图 7 同 LBP 值的邻域

4.2 区域生长

区域生长是根据预先定义的生长准则把像素或子区域集合成较大区域的处理方法^[31]。以选取的种子点作为区域生长的起始点,将那些与预定义属性符合一致性准则的邻域像素附加到每个种子上并连接到一块,直到再没有满足条件的像素可被包括进来,表示一个区域生长完毕。根据所得到的尺度 3 的 LBP 影像图,采用区域生长的方法进行 8-连接合并,得到不同的对象(呈点、线或面状),如图 8。

4.3 形状指数

基于面向对象的思想,道路信息是指灰度上具有一定的相似性,而且具有一定的长度、宽度特征的对象块。经过区域生长得到不同对象之后,可以充分利用道路的形状特征(长、宽)来提取道路。因此为了区分各个对象,本文引入形状因子:

其中: S 表示对象的面积, L 表示为对象的周长。由于线状物体具有很小的形状指数,对于道路等线状类型地物提取效果较好,因此容易得到本文的道路对象,如图 9。

最后,采用式(9)、(10)(设 $T=5$)得到尺度 0 的影像中的道路图(图 10)。

$$F = \frac{\sqrt{S}}{L} \quad (10)$$

其中: S 表示对象的面积, L 表示为对象的周长。由于线状物体具有很小的形状指数,对于道路等线状类型地物提取效果较好,因此容易得到本文的道路对象,如图 9。

最后,采用式(9)、(10)(设 $T=5$)得到尺度 0 的影像中的道路图(图 10)。

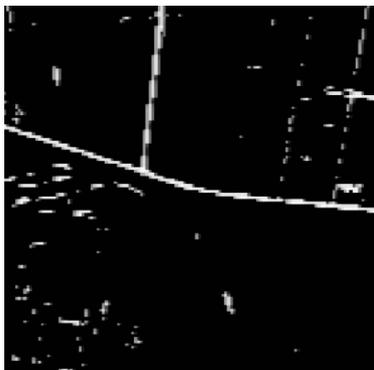


图 8 LBP 影像图

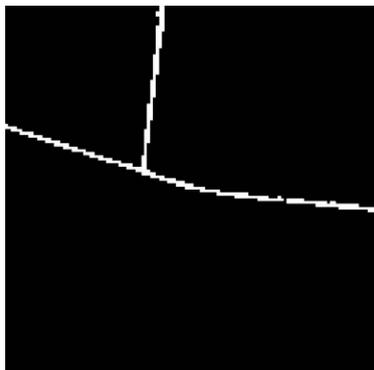


图 9 道路对象图



图 10 最终道路提取结果

5 结束语

本文综合考虑了 LBP 纹理算子和影像中道路的特点,结合多分辨率和面向对象的思想,对高分辨率影像中的道路进行了提取。文中在一般 LBP 算子的基础上进行了改进,以局部平均值作为阈值,使得 LBP 值既能反映局部纹理又能兼顾全局信息,并有一定的去噪功能。针对道路在影像中

表现出的局部方差随着分辨率降低而相应变化的规律,选择最能用 LBP 纹理值反映出道路线性特征的尺度进行提取,再结合区域生长及形状指数来进一步定位出道路。最后通过尺度反推,得到原始影像的最终道路。试验表明,该方法能够比较精确地从高分辨率影像中提取道路信息。然而,该方法在道路网络比较复杂及低分辨率影像中的应用效果不佳。

参考文献

- 1 林宗坚,刘政荣. 从遥感影像提取道路信息的方法评述[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2003,28(1):90~93.
- 2 史文中,朱长青,王昱. 从遥感影像提取道路特征的方法综述与展望[J]. 测绘学报,2001,30(3):257~262.
- 3 WANG F G, NEWKIRK R. A knowledge-based system for highway network extraction [J]. IEEE Transform on Geoscience and Remote Sensing, 1988, 26(5): 525~531.
- 4 DONALD G, JEDYNAK B. An active testing model for tracking roads in satellite images [J]. IEEE Transform on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(1): 1~14.
- 5 Barzoha M R, Cooper D B. Automatic finding of main road in aerial images by using geometricstochastic models and estimation[J]. IEEE CVPR, 1993.
- 6 Baumgartner A. Extraction of roads from aerial imagery sased on grouping and local context[A]. ISPRS Comm. III Workshop[C]. 1998.
- 7 Gruen A, Pgouris P. Linear feature extraction by least square template matching constrained by internal Shape Forces[A]. ISPRS Comm. III Workshop[C]. 1994.
- 8 J. B. Mena J. A. Malpica. An automatic method for road extraction in rural and semi-urban areas starting from high resolution satellite imagery[J]. Pattern Recognition Letters, 2005(26): 1201~1220.
- 9 Xiaoying Jin, Curt H. Davis. An integrated system for automatic road mapping from high-resolution multi-spectral satellite imagery by information fusion[J]. Information Fusion, 2005(6): 257~273.
- 10 申邵洪,宋杨,万幼川,刘淑范. 高分辨率多光谱遥感影像中城区道路信息的自动提取[J]. 遥感信息, 2007(5): 73~77.
- 11 洪日昌,吴秀清,刘媛,尹东. 低分辨率遥感影像中道路的全自动提取方法研究[J]. 遥感学报, 2008, 12(1): 36~45.
- 12 Mena JB, Malpica J A. An automatic method for road extraction in rural and semi-urban areas starting from high resolution satellite imagery[J]. Pattern Recognition Letters, 2005(26): 1201~1220.
- 13 胡海旭,王文,何厚军. 基于纹理特征与数学形态学的高分辨率影像城市道路提取[J]. 地理与地理信息科学, 2008, 24(6): 46~49.
- 14 贾玲,赵云升,张建辉,董贵华. 基于 Lansat7 ETM+影像的城市道路信息提取研究[J]. 2005, 20(5): 478~482.
- 15 刘军生,刘吉平. IKONOS 1 m 城市图像中道路信息提取方法研究[J]. 广西交通科技, 2003, 2(28): 3031, 62.
- 16 徐勇,周绍光,施海亮,赵建泉. 基于长度和方向一致性的 IKONOS 图像城市道路提取方法研究[J]. 遥感信息, 2007(3): 58~61.
- 17 WANG R, ZHANG Y. Extraction of urban rural network using QuickBird pan-sharpened multispectral and panchromatic imagery by performing edge-aided post-classification[A]. ISPRS Joint Workshop on Spatial Temporal and Multi-dimensional Data Modeling and Analysis[C]. 2003. 2~3.
- 18 Renaud P, Thierry R. Multi-resolution snakes for urban road extraction from Ikonos and Quickbird images[A]. Proceedings of the 23rd EARSeL Symposium[C]. 2003: 69~76.
- 19 Ojala T, Pietiköinen M, Maenpaa T. Multiresolution grayscale and rotation invariant texture classification with local binary patterns[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002(24): 971~987.
- 20 张剑清,余琼,潘励. 基于 LBP /C 纹理的遥感影像居民地变化检测[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2008, 33(1): 7~11.
- 21 Topi M, Timo O, Matti P, et al. Robust texture classification by subsets of local binary patterns[J]. Pattern Recognition, 2000(3): 935~938.
- 22 Topi M, Matti P, Timo O. Texture classification by multi-predicatelocal binary pattern operators[J]. Pattern Recognition,

2000(3):939~942.

- 23 施智平,胡宏,李清勇. 基于纹理谱描述子的图像检索[J]. 软件学报,2005,16(6):1039~1045.
- 24 汪凯斌,俞卞章,李会方. 基于 LBP 驱动的区域围道纹理分割模型[J]. 西北工业大学学报,2007,25(5):712~715.
- 25 毛秉毅. 基于自适应 LBP 算法的纹理分析[J]. 计算机工程与应用,2007,43(2):89~90.
- 26 Castleman KR. Digital Image Processing[M]. New Jersey:Prentice Hall,1996.
- 27 Barzohar M,Vooper D B. Automatic finding of main roads in aerial images by using geometric stochastic models and estimation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1996,18(7):707~720.
- 28 Cao C,Lam N S N. Understanding The Scale And Resolution Effects In Remote Sensing And GIS [M]. Scale in Remote Sensing and GIS,New York:Lewis Publishers,1997.
- 29 田岩,谢玉波,史文中. 基于局部方差的多分辨率图像分割方法[J]. 系统工程与电子技术,2006,28(12):1921~1926.
- 30 Gonzalez R C,Woods R E. Digital Image Processing(2nd ed)[M]. MA:Addison-Wesley,2002.
- 31 阮秋琦. 数字图像处理(MATLAB 版)[M]. 电子工业出版社,2005.

Improvement of Automatic Load Extraction from High Resolution Imagery Based on LBP Operator and Multi-scale Analysis

CHEN Jie^{①,②}, ZANG Zhuo^②, YANG Min-hua^①

(^①School of info-physics and Geomatics Engineering, Central South University, Chang Sha, Hunan, 410083;

^②Research Center of Forestry Remote Sensing Information & Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan, 410004)

Abstract: This paper presents a new way of load extraction from remote sensing image, which introduces the LBP operator and multi-scale analysis method. First, aiming at the basic local binary pattern's shortage, utilize local mean as threshold to binarization; Next, based on local variance in multi-scale images, choose the apt scale to obtain loads using LBP; Finally, abstract the load from image at this scale by using region growing and shape index, then get the load form original image by scale shrinking. The experiment results indicate that the new method of load extracting with high accuracy.

Key words: remote sensing image, local binary pattern, multi-scale, local variance, region growing, shape index