

引用格式: 齐文娟, 杨晓梅. 江西省都昌县山地与平原植被界线提取[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(4): 559-569. [Qi W J, Yang X M. 2017. Mountain and plain vegetation boundaries extraction in Duchang County Province Jiangxi. Journal of Geo-information Science, 19(4): 559-569.] DOI:10.3724/SPJ.1047.2017.00559

江西省都昌县山地与平原植被界线提取

齐文娟^{1,2}, 杨晓梅^{1*}

1. 中国科学院地理资源与科学研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049

Mountain and Plain Vegetation Boundaries Extraction in Duchang County Province Jiangxi

QI Wenjuan^{1,2} and YANG Xiaomei^{1*}

1. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information system, Institute of Geographic Science and Natural Resource Researches, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Due to differences in zonal and vertical distribution of growth environment, there could be "foreign body with same spectrum" phenomenon of different vegetation types in mountain and plain areas, resulting in false land cover classification. To avoid such misclassification, we defined vegetation boundaries between mountain zone and plain zone before interpretation of land cover types. This research is carried on based on clustering analysis of remote sensing images, spatial analysis of GIS and technology support of mathematical statistics analysis. The study area is located in the northern region of Duchang County, Jiangxi province. Based on the remote sensing images of high resolution GF_1, 3 kinds of terrain factors, which are area absolute elevation, relief and terrain landform position, division of mountain vegetation and plain vegetation are completed. Experimental results show that terrain factors combining with GF_1 image will achieve division accuracy of 99.47% and 96.28%, respectively. Compared to the calculated results of pure terrain factors, the accuracy of boundary extraction increased by more than 40% and 5%, respectively. Compared to experiments based on pure remote sensing image classification, the accuracy increased by nearly 25% and 23%, respectively. Besides, if compared with the 1:250,000 geomorphologic map, the accuracy is increased by nearly 15% and 23%, respectively. This research proves that using GF_1 images and terrain factor together to calculate vegetation boundary of plain and mountain will obtain results with an accuracy which can meet the requirements of interpretation of high resolution of remote sensing images of land cover.

Key words: Gf_1 high resolution of remote sensing images; absolute elevation; relief; topographic position index; types of landform position

***Corresponding author:** YANG Xiaomei, E-mail: yangxm@reis.ac.cn

摘要: 由于生长环境、地带性分布规律和垂直差异, 山地与平原地区的不同植被类型在遥感影像上存在“同物异谱”及“异物同谱”现象, 易导致土地类型的误分。为避免此类错分, 在进行土地覆被类型解译之前, 应首先确定平原、山地植被的边界。本

收稿日期 2016-08-12; 修回日期: 2016-12-08.

基金项目: 国家重点研发计划项目“基于国产遥感卫星的典型要素提取技术”(2016YFB0501404); 江西省科技计划项目(2015ACF60025)。

作者简介: 齐文娟(1983-), 女, 河北承德人, 博士生, 研究方向为高分辨率遥感影像解译与分析。E-mail: qiwj@reis.ac.cn

*通讯作者: 杨晓梅(1970-), 女, 湖北武汉人, 研究员, 研究方向为遥感影像地学计算、海岸带遥感与地理信息系统综合集成与应用。E-mail: yangxm@reis.ac.cn

文在遥感影像聚类分析、GIS空间分析及数理统计分析技术的支持下,以江西省都昌县北部地区为研究区域,基于高分一号(GF-1)遥感卫星影像及地形要素,完成了山地植被与平原植被的界线提取。实验结果显示,本研究得到的植被界线精度高达99.47%和96.28%。与单纯基于遥感影像分类得到的植被边界成果相比,精度提高了近25%和23%。研究证明,高分辨率遥感影像与地形因子结合后,计算得到的山地平原划分界线精度有明显提高,可以满足高分辨率遥感影像土地覆被类型解译研究的需要。

关键词 GF_1 高分遥感影像;绝对高程;地形起伏度;地形部位指数;地貌位置类型

1 引言

土地覆被是指地表覆盖的自然地物和人工地物的综合体,是为体现遥感技术的先进性和可用性而诞生。与土地利用不同,土地覆盖的关注点集中在土地的自然属性上。例如,在进行林地分类时,土地覆被类型依照林地生态环境规则制定,可分为针叶林、阔叶林、混交林等,以反映林地所处的生境、分布特征及其地带性分布规律和垂直差异。

《中国植被》一书中,将土地覆被类型进行了综合,概括为栽培植被、自然植被和无植被地段3类。其中,栽培植被包括粮食作物、经济作物、蔬菜作物、绿肥作物、饲料作物等农耕地。而未受到人为的影响,在自然状态下发育的植被,称自然植被,主要包括林地、草原、灌木等林草地。无植被地段则主要包括水体、冰川、裸岩、裸土、常年积雪地、沙漠等地区。根据《中国土地资源图集》中对耕地类型分布的描述,中国平原耕地面积占全国耕地总面积的91.5%,山地耕地仅为7.5%;山地丘陵林、灌地面积全国林地总面积的89.8%,平原地区面积仅为总面积的10.2%。此外,山地草地面积占全国草地类型总面积的69.4%,也比平原草地多出了近40%。由统计数据可以推断,在高分辨率遥感影像中,自然植被主要体现为山地植被;栽培植被主要体现为平原植被。然而,由于山地地区也有一定的栽培植被,平原地区也有一定的自然植被,这些植被由于生长环境的差异,与位于平原的栽培植被和位于山地的自然植被相比,其光谱特征不同,易导致土地覆被类型误分。为避免此类错分,在进行土地覆被类型解译之前,应首先确定平原、山地植被的边界,以便正确区分不同地区的栽培植被与自然植被。

前人关于山地的定义或范围界定可以主要概况为海拔、相对高度或倾斜程度高于给定区域极限阈值的区域。《地貌学辞典》将山地定义为山集合体的统称,认为山地是一种具有一定坡度、较大高差(相对高差大于200 m),又互相连绵,突出于平原

或台地之上的正地貌形态,常由山岭和山谷组成^[1]。程鸿^[2]认为山地是由一定绝对高度和相对高度组合的地域。王明业等^[3]定义山地为具有一定海拔和坡度的地面;肖克非^[4]认为山地实质上是一种区域概念而非地貌类型概念。在国际上,UNEP-WCMC(联合国环境规划署-世界保护监测中心)对山地的划分给出了较为具体的界定^[5]:①海拔在300~1000 m之间,相对高度在300 m以上的区域;②海拔在1000~1500 m之间,坡度在5°以上或相对高度在300 m以上的区域;③海拔在1500~2500 m之间,坡度在2°以上的区域;④海拔大于2500 m的所有地区。Kapos等的定义和UNEP-WCMC的定义相似^[6-8]:①海拔300~1000 m和在7 km²辐射范围内且海拔大于300 m的区域;②海拔1000~1500 m坡度大于5°或在7 km²辐射范围内且海拔大于300 m的区域;③海拔1500~2500 m,坡度大于2°的区域;④海拔2500 m以上的全部区域;⑤被山包围的、小于25 km²的盆地和高原。

实际应用中,因中国山地的类型复杂多变,各地区山地分布不均,起伏度的差异性较大,应根据具体的应用目的定义山地,以区别山地和平原。实验区位于江西省都昌县北部郭铭山、油榨山、西塘山、汤爬山一带。该区域主要的地貌类型为低山、丘陵及平原,海拔均在450 m以下。如果采用常用的山地绝对高程来定义,则并不适宜。应根据局地的相对高差及地形起伏等判断具体的山地、平原边界。

近年来,国内外大量研究人员尝试使用地形因子进行地形分区,然后根据不同的地形分区进行遥感影像土地利用类型解译,取得了一定效果。杨艳青^[9]将1989年洪洞县的1:50 000土地利用现状图进行矢量化,提取等高线模型,生成DEM,计算得到高程、坡度数据。根据高程和坡度,将洪洞县分为东部、西部山区及中部平原地区。实验后,发现不同地貌类型地区采用不同土地利用分类自动算法时,效果各异,分别在不同的地貌区域使用不同的自动分类算法,可以取得较单一算法分类时更好的

效果。此文突出了地形划分在土地解译中的重要性^[9]。竞霞等^[10]进行山地植被解译之前,采用1:1万北京地区地形图提取DEM及坡度数据,将实验区划分为山地和平原,去除了平原区的植被干扰,提高了解译效率和精确性。吴晓莆等^[11]在对北京地区土地覆盖变化分析时,根据DEM将研究区域划分为不同海拔段,从而发现了不同海拔段土地覆盖变化各不相同,加强了北京地区土地覆被变化动态分析的准确度和可信度。李丹等^[12]在对重庆市忠县土地利用类型的研究中,发现高程、坡度、坡向等地形因子对土地利用变化起决定性作用。根据地形因子等级对Landsat-5遥感影像进行分区,可以更为准确地获取不同土地利用类型的变化程度和变化规律。

上述研究阐明并论证了地形因子在遥感影像土地利用解译、分类与变化分析中的重要性,表达了地形因子在一定程度上提高了土地解译的精度。但由于地形因子尺度与遥感影像的尺度不统一,土地利用类型的划分仍不够精细,无法满足高分影像土地利用解译的需求。肖飞等^[13]提出先依据用数字高程模型(DEM)表达的地理实体的自然形态进行边界提取,然后判断其属性,为地貌实体的自动划分提供了新思路。本文以都昌县北部作为研究区,在DEM数据的基础之上,选择高分一号遥感影像共同进行山地与平原植被的划分研究。首先,根据DEM模型计算与山地特征明显相关的绝对高程、地形部位指数地貌位置及地形起伏度这3类地形因子,并在遥感制图与分析软件平台ENVI中,对高分辨率影像进行了无监督分类。然后,运用ArcGIS软件平台,对2种不同来源的数据综合分析,实现山地、平原植被的划分。经验证,实验成果取得了较好的精度,可以满足高分辨率遥感影像土地类型解译的需要。

2 平原植被与山地植被边界划分原理

传统的山地、平原划分通常是基于数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)模型完成的。DEM是指通过有限的地形高程数据实现对地形曲面的数字化模拟(即地形表面形态的数字化表达),它是用一组有序数值阵列形式表示地面高程的一种实体地面模型。然而,基于DEM完成的山地、平原界线划分只考虑地形因素,未考虑因水热条件等

引起的植被界线在地形界线位置向上移或向下移的情况,对土地覆被研究而言,仅仅基于DEM计算山地、平原植被界线,虽大致位置正确,但具体位置是不够精确的。高分辨率遥感影像可以细致地体现不同植被类型的光谱、纹理及几何特征差异,与DEM共同计算,弥补了DEM在植被界线具体位置判定时位置不够精确的不足。因此,精细的山地、平原植被边界判定需要DEM模型与高分辨率遥感影像共同完成。

2.1 研究路线

本研究结合了高分辨率遥感影像与DEM的各自优势,实现了当前实验数据分辨率条件下的较为精确的平原与山地植被边界提取。植被边界提取的原理可以概括如下:首先,基于高分辨率遥感影像将地物按照光谱特征进行聚类,完成栽培植被、自然植被与无植被覆盖区的初始划分;然后,通过地形因子分级的阈值判定,将已聚类的植被按地形分级划分到山地与平原中,完成山地植被与平原植被的划分。研究是由基于地形因子提取、高分辨率影像自动分类、平原山地植被边界划分阈值设定这3个基本步骤组成的。具体的研究路线如图1所示。

根据图1,研究路线按照数据预处理、高分辨率遥感影像与地形因子结合的山地平原植被边界提取、精度检验的顺序完成。①完成DEM的计算、图像校正与融合等预处理。②基于DEM计算绝对高

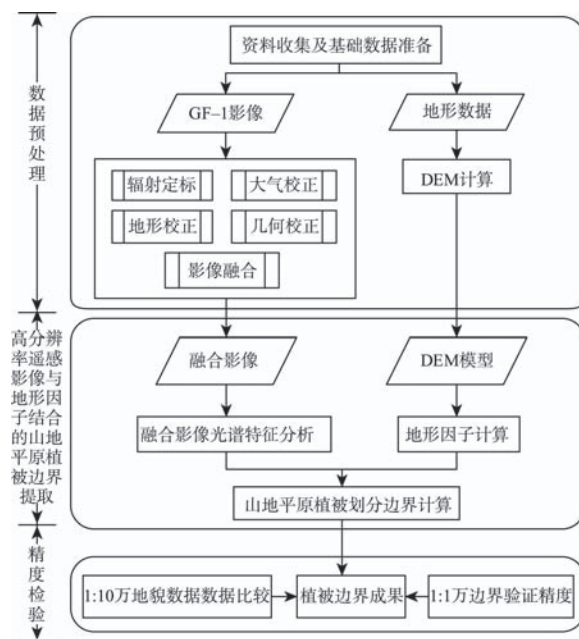


图1 研究路线图

Fig.1 Research route

程、地形位置指数地貌位置类型和地形起伏度3类地形因子,同时分析融合影像的光谱特征,完成高分辨率遥感影像的自动分类,从而确定山地平原植被及无植被覆被的水体类型的初始边界。③通过分析和判定地形因子中绝对高程的初始阈值,进行山地、平原划分。④依据山地、平原的划分结果,从遥感影像自动分类结果中裁剪掉绝对高程大于平原阈值的区域,计算得到平原植被初始范围(Initial Plain, IP)。⑤通过DEM模型计算得到地形部位指数(Topographic Position Index, TPI)和坡度,并通过地形部位指数和坡度计算得到地形部位指数地貌位置类型(Topographic Position Index Landform Position, TPI_LF)。⑥分析、提取TPI_LF中的平原边界部分,并以TPI_LF_Plain命名。求TPI_LF_Plain与LP的差异区域。此区域内的平原边界有可能包含部分山地,将其作为二次待分区域。⑦将二次待分区域的高分遥感影像输入ENVI 5.1平台,再次进行无监督自动分类,得到的类型再次合并为山地、平原及水体,提取其中的平原类DIF_TPI_LF_Pal-in。⑧将DIF_TPI_LF_Pal-in与TPI_LF_Plain合并,称为二次平原(Second Plain, SP)。通过分析,确定第3个地形因子,即地形起伏度对平原和山地植被划分的阈值,用该阈值从SP中剔除误分的山地,并将其合并到山地范围内,完成平原、山地植被边界的最终划分。

2.2 地形因子的提取与分析

山地与平原的地貌特征主要区别在于其高程和倾斜度2个关键性指标,高程特征指标可以用绝对高程和地势起伏度来定量化的描述,倾斜度特征则可通过坡度和所处的地形部位来定量表达,而坡度和地形部位可以通过地形部位指数地貌位置(Topographic Position Index Landform Position, TPI_LF)这个新的地形因子来表达。该地形因子由坡度及地形部位指数(Topographic Position Index, TPI)共同计算得来。因此,其既可表达坡度特征,又可表达不同尺度下的地形部位特征。经验证,这3种地形指标间的相关性较小,可共同用于实验研究与分析(表1)。

2.2.1 绝对高程

提取研究区的绝对高程信息可以将其转换为对该地区数字高程的提取,因此计算数字高程模型能定量地描述出研究区的绝对高程信息。数字高程模型(DEM)是一种对地球表面进行数字化描述和模拟的方法模型,它可以通过3种模型,等高线模

表1 3种地形因子相关系数

Tab.1 Related index of terrain factors

地形因子	绝对高程	地形起伏度	地形部位指数地貌位置
绝对高程	-	-	-
地形起伏度	0.72	-	-
地形部位指数地貌位置	0.36	0.24	-

型(Contour)、不规则三角网模型(TIN)和规则格网模型(Grid)来表达。这3种模型分别具有各自的优缺点。结合需求,本文选取TIN模型作为生成绝对高程的数据模型。在提取DEM的过程中,首先通过1:5万的等高线模型计算不规则三角网模型(Triangulated Irregular Network, TIN),然后通过TIN转栅格功能,将TIN转化为Raster格式,完成DEM提取。

2.2.2 地形起伏

地形起伏是指在某一确定计算单元内,最高海拔点和最低海拔点之间的高差。求地形起伏度的值,需要首先求出一定范围内海拔高度的最大值和最小值,然后,对其求差值即可。根据参考资料,地形起伏度计算单元的大小与比例尺呈正相关。例如,程维明等^[14]根据多个尺度DEM模型拟合出对数方程 $y=5.68\ln(x)-13.18$,其中 x 代表地图比例尺, y 代表计算单元。

2.2.3 地形部位指数地貌类型

地形部位指数地貌类型是由坡度因子与地形部位指数组合计算得到的。坡度在山地研究中表示了该地区局部地表坡面的倾斜程度。从数学角度上讲,地表任一点的坡度是指过该点的切平面与水平面的夹角,在数值上等于过该点的地表微分单元的法向量 n 与垂直轴 z 之间的夹角,坡度 S 的计算公式为:

$$S = \arccos\left(\frac{z \times n}{|z| \times |n|}\right) \quad (1)$$

本文使用ArcGIS 10.0计算得到坡度值。在ArcGIS10.0平台中,输入DEM模型,通过坡度命令计算栅格模型表面每个像元的梯度值,得到坡度因子的计算成果。

地形部位指数(Topographic Position Index, TPI)是Andrew Weiss在2001年ESRI国际用户大会上提出的,它是地形分类体系的基础参数^[15]。TPI提供了一种简洁而有力的方式将景观按形态学类别进行归类^[16]。其基本原理是研究目标点与其邻域高程平均值的差值,然后根据差值的正负和大小来确定目标点所处的地形位置,正值代表目标点高于邻

域,而负值则代表目标点低于邻域^[17]。在ESRI ArcInfo的命令行语句中,应以如下形式表达:

$$TPI(radius) = \text{integer}(<elevation> - \text{focal mean} \\ (<elevation>, \text{circle}, (radius))) \text{With} \\ radius: \text{standing for the neighborhood} \\ \text{in m}; \text{elevation: height of the grid cell} \\ (\text{m asl})$$

(2)

当邻域范围较大时,地形位置指数表达较大区域内的高程差值,即地表的较大起伏;当邻域范围较小时,地形位置指数表达较小区域内的高程差值,类似于地表纹理。如果将大、小邻域范围的地形位置指数分级进行组合,并将坡度按一定规则分级,可得到既有坡度特征,又可表达地形部位特征的因子,即地形部位指数坡度位置(TPI-Slope Position)。

TPI-Slope Position的类型可分为山脊(ridge)、上边坡(upper slope)、中坡(middle slope)、平地破(flat slope)、坡脚(lower slope)、山谷(valley)6种。

图2中,用黑色短线近似表示参与计算的邻域直径。当邻域直径较小时,小范围内的地表起伏被很详细地描述出来;当邻域直径较大时,小起伏被省略。如图2中方框的区域,原来具有的山脊(ridge)地貌特征被省略,整个小区域被描述为山谷(valley)。

综上可知,地形部位指数坡度位置(TPI-slope position)具有很强的尺度相关性。显然,TPI指数尺度的选择将在很大程度上影响后期的分类精度。

为了消除地形部位指数坡度位置的尺度影响,可将TPI指数按照较大邻域和较小邻域分别进行计算,得到2组成果,再辅以坡度分级,得到每个像元的地形部位指数地貌类型(TPI-landform position)

(表2)。地形位置地貌分为10个等级^[18]。TPI-Landform Position不受尺度大小影响,可更准确地表达地形特征。

2.3 遥感影像自动分类

高分辨率遥感影像具有高空间分辨率和高光谱分辨率的优势,采用无监督分类法进行自动分类,可取得较好的分类效果。无监督分类是指在多光谱图像中搜寻、定义其自然相似光谱集群的过程。它不必对影像地物获取先验知识,仅依靠影像上不同类地物光谱(或纹理)信息进行特征提取,再统计特征的差别来达到分类的目的,最后对已分出的各个类别的实际属性进行确认。目前,比较常见也较为成熟的是ISODATA、K-Mean和链状方法等。无监督分类主要分为4个步骤:

(1)影像分析。大体判断图像上主要的地物类型。一般设置的分类数目约为最终分类数目的2-3倍,以保证分类精度。

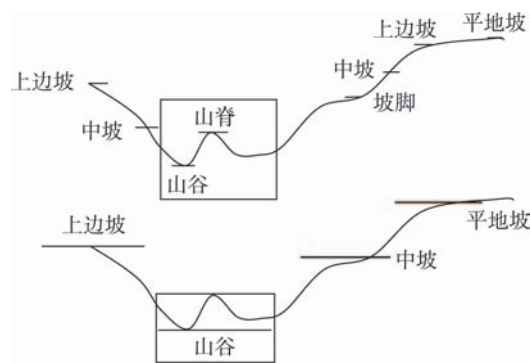


图2 TPI-坡度位置图

Fig.2 TPI_Slope Position

表2 地形位置指数地貌位置类型、相关地形位置指数的阈值等级及坡度范围

Tab. 2 Types of TPI_Landform, levels of TPI threshold and ranges of slopes

编号	等级	邻域TPI		坡度
		小	大	
1	低地:小范围凹陷区/谷地	≤ -1	≤ -1	
2	较为靠上的平缓小谷,平缓洼地	≤ -1	$-1 < TPI_{大} < 1$	
3	山顶部位平缓的洼地/凹陷	≤ -1	≥ 1	
4	低地:大范围凹陷区/谷地;部分泥炭沼泽地	$-1 < TPI_{小} < 1$	≤ -1	
5	平面,平地 $\leq 2^\circ$	$-1 < TPI_{小} < 1$	$-1 < TPI_{大} < 1$	$\leq 2^\circ$
6	斜坡,坡地 $> 2^\circ$	$-1 < TPI_{小} < 1$	$-1 < TPI_{大} < 1$	$> 2^\circ$
7	平缓高地	$-1 < TPI_{小} < 1$	≥ 1	
8	低地上的局部高地	≥ 1	≤ -1	
9	中坡地区的小山脊	≥ 1	$-1 < TPI_{大} < 1$	
10	山顶,山脊	≥ 1	≥ 1	

(2)分类器选择。本文选择了ISODATA算法进行了分类。

(3)影像分类。选择适合的分类型数、迭代次数进行分类。预分类后选择平滑系数进行分类处理。

(4)类别定义及合并。判断分类后各类别的具体名称。将相似的类别进行合并。本文实验中,ISODATA算法自动计算得到了7个数据类型,将光谱特征相似的类型进行合并,得到栽培植被、自然植被及无植被地段3类边界范围。由于绝大部分栽培植被位于平原、低地,而绝大部分自然植被位于山地与丘陵区,为方便描述,本研究将栽培植被区称为平原区,自然植被区称为山地区,无植被地段按研究区的具体类型描述。在本研究区中,称为水体。

2.4 地形因子阈值初始设定

山地、平原在高程上存在明显的垂直差异性。在前人的研究中,山地的定义多以高程阈值为主要依据,相对高差及坡度为辅助依据。在全球范围的研究中,学者们一般将分隔山地、平原的最低海拔设定为300 m。就局地而言,因比例尺、实际高差最大值等,300 m可能并不适宜。因此,考虑通过式:(3)计算山地平原区划分的初始阈值。依据此阈值,绘制平原、山地的初始边界。然后使用此平原初始边界将2.3节中计算得到的平原区进行裁剪,得到平原初始值(Initial Plain, IP)。将裁剪去掉的部分合并到2.3节的山地中,得到山地初始范围(Initial Mountain, IM)中。因遥感影像无监督分类的结果是根据相似光谱聚类得到的,平原上光谱值与周围一般地物差异较大的地物无法与一般地物分为同一类型,因此,此时的IP无法覆盖全部的平原区域。但IP范围内的区域可以确定为平原类型。

$$H_{\text{边界}} = (H_{\text{max}} - H_{\text{min}}) + 100 \quad (3)$$

2.5 从TPI_LF分类中提取平原部分

本研究中,取大邻域、小邻域下TPI等级都为高(≥ 1)的第10级的TPI_LF,大邻域下TPI等级为高(≥ 1)、小邻域下TPI等级为中($-1 < TPI_{\text{小}} < 1$)和低(≤ -1)的第3级和第7级覆盖范围作为TPI_LF山地(TPI_LF Mountain, TPI_LF_M)。这样确保了TPI_LF山地部分均位于真实的山地类型范围内。剩余的几类归入TPI_LF平原(TPI_LF Plain, TPI_LF_P)的范围内。取IP与TPI_LF_P的差值范围作为平原的待分区域,将此范围内的遥感影像再

次输入ENVI软件平台进行聚类分析。得到的分类成果再此合并为山地、平原和水体几种类型。此时,可将所有的水体类型进行合并,作为最终的水体类型结果。山地、平原类型则需进行下一步的判定。

2.6 地形因子分析、阈值设定与最终划分

山地与平原的区别主要体现在垂直差异性上,这一差异可以通过高程和倾斜度2个方面来体现。2.4节讨论了基于绝对高程的山地、平原初始划分。山地与平原的较大高程差异性可以通过绝对高程来体现。2.5节讨论了基于TPI_LF的山地平原二次划分,体现出倾斜度可通过地形部位指数地貌类型因子来表达。对于相对平缓地区,如小丘陵、低山和平原,其高程差异性和倾斜度都比较小,可通过地形起伏度进行定量化的分析和表达。地势起伏是指某一确定面积内最高和最低点之高差,可以根据局地特点定义地形起伏度计算的单位面积。本研究参考了郎玲玲、程维明等在低丘陵地区对地形起伏度的单位面积确定方法及山地、平原划分阈值设定,将研究区的地形起伏度计算单位面积定义为 0.4 km^2 ,山地、平原的划分阈值设定为 $20 \text{ m}^{[19-20]}$ 。

3 实验分析

3.1 实验区选择及数据预处理

3.1.1 实验区介绍

本研究选择了江西省九江市都昌县地形起伏相对较大、自然植被覆盖面积比重较高的北部地区作为试验区(图3)。该区域包括低山、丘陵及平原,因此土地覆被类型多样,林地植被类型丰富,是植被分类研究的良好试验场。研究区内的林地植被类型包括阔叶林、针叶林、灌木林、乔木园地和疏林地等。区域覆盖范围为东经 $116^{\circ}26'40'' \sim 116^{\circ}30'00''$,北纬 $29^{\circ}30'00'' \sim 29^{\circ}33'00''$,区域面积为 32.05 km^2 。

3.1.2 数据采集与预处理

(1) GF_1 高分辨率遥感影像

本研究采用的国产高分辨率遥感影像为GF-1号遥感影像,获取时间为2014年12月8日,使用类型包括8 m及16 m多光谱数据,以及2 m全色数据(图4)。影预处理主要包括辐射定标、大气校正、几何校正及影像融合。辐射定标是指将传感器记录

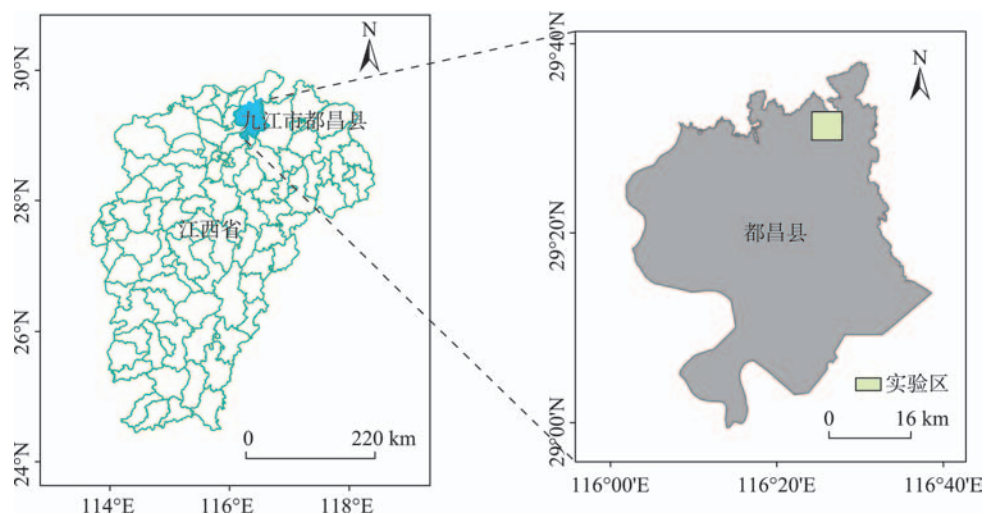


图3 实验区地理位置

Fig. 3 The geographic location of the experimental area

的原始DN值转换为大气外层表面反射率的过程。定标完成后,采用ENVI中的FLAASH模块对辐射定标后的GF-1多光谱数据进行了大气校正。几何校正包括正射校正和地形校正。正射校正能够实现空间数据坐标体系的一致以及消除一般因素导致的几何畸变。ENVI中的Orthorectification模块采用三次卷积内插法进行图像重采样可以实现影像的几何校正。地形校正为消除地形起伏所导致的几何畸变。在Topo_correction模块中,输入太阳高度角及影像获取时间,可以完成影像的地形校正工作。

影像融合是将多源传感器或信道所采集的同一地物目标的高光谱分辨率和高空间分辨率的影像综合成光谱分辨率和空间分辨率均有显著提高的影像数据,是提高影像分割精度的必要步骤,有利于在遥感监测中提高地物信息提取的精确度。

完成图像校正后,研究采用Pansharp算法完成了2 m全色影像、8 m多光谱影像及16 m多光谱影像的融合(图5)

(2) 1:5万DEM模型

本研究采用的地形数据为1:5万等高线模型,它是由中国科学院地理所资源与环境信息系统国家重点实验室在2016年针对都昌县北部地区绘制的(图6)。研究将此等高线模型作为原始数据,在ArcGIS平台上,构建TIN模型,并将模型进行TIN转栅格处理,获得研究区的1:5万DEM栅格数据作为地形因子的计算基础数据(图7)。

(3) 1:1万植被边界矢量图

本研究采用平原、山地植被界线图是专家在1:1万的比例尺下基于研究区的高分一号卫星影像的融合产品、DEM模型通过目视解译的方法制作

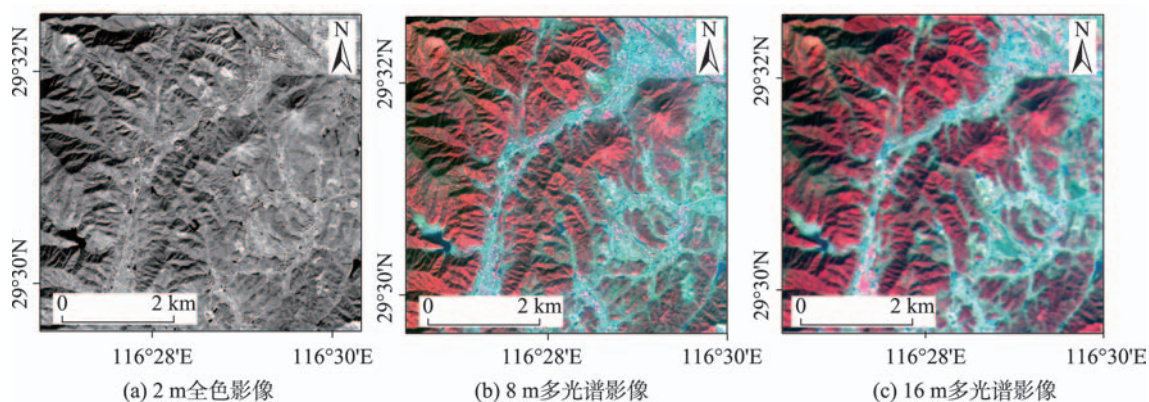


图4 都昌县研究区GF-1影像

Fig. 4 GF-1 image of Duchang Experimental Area

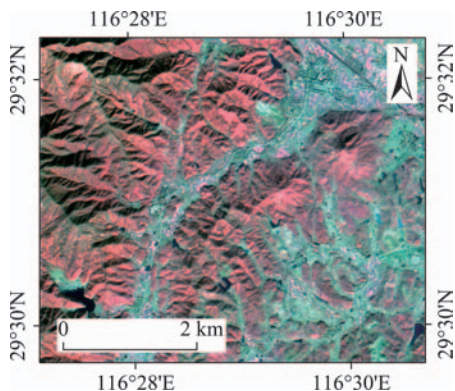


图5 都昌县研究区融合影像

Fig. 5 The fusion image of Duchang research area

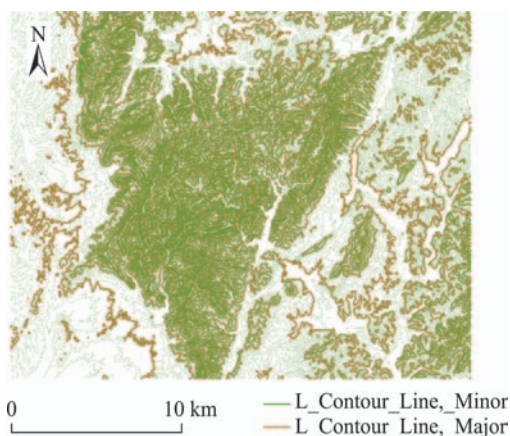


图6 都昌县北部地区1:5万等高线模型

Fig. 6 1:50000 contour-line model of Duchang northern area

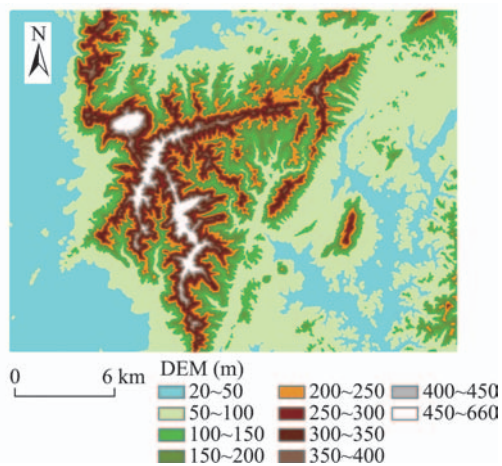


图7 都昌县北部地区DEM

Fig. 7 DEM of Duchang northern area

完成(图8)。专家主要通过植被在高分辨率遥感影像上的光谱特征、纹理特征及几何特征差异,来推断山地与平原的植被边界,并将无植被地段(即研究区中的水体所在范围)进行了划定。

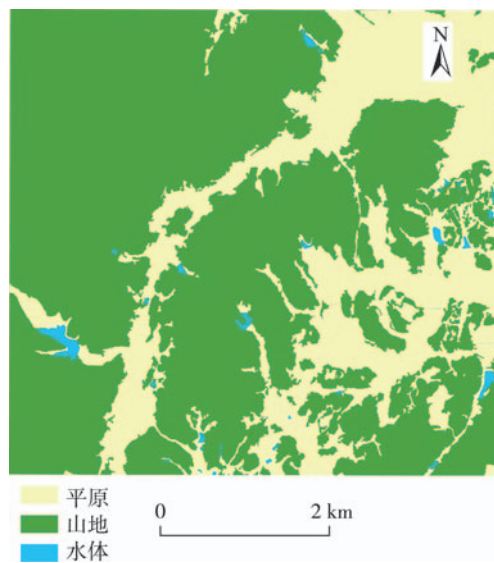


图8 山地平原植被界线1:1万矢量图

Fig.8 1:10000 boundary of mountain vegetation and plain vegetation of research area

(4) 1:25万地貌矢量图

本研究采用的地貌矢量图是中国科学院地理所资源与环境信息系统国家重点实验室在2016年针对都昌县地区完成的,地图比例尺为1:25万,主要用于对比研究实验区的山地、平原植被边界成果(图9)。

3.2 实验过程

根据第2.3-2.6节方法,分别对实验区进行了高分辨率遥感影像自动分类及主要类型判定、地形因子计算与阈值判定、高分辨率遥感影像平原部分二次聚类、地形因子再分析及最终阈值确定和植被界线提取工作。完成效果如图10、11、12所示。

3.3 精度检验

将本文所述的实验方法得到的山地植被、平原植被与水体划分成果和单纯使用地形因子得到的山地、平原分类及使用聚类分析方法直接计算得到的分类成果,都采用1:1万专家目视解译山地平原边界矢量图进行精度验证(表3)。可以看到,本文所述方法得到的山地植被、平原植被和水体分类精度达到了99.47%、96.28%及95.84%。单纯使用地形因子DEM进行山地、平原分类时,虽然平原类型的划分精度可以达到91.24%,但山地的划分精度仅为45.87%,远远低于实验方法所得结果。而聚类分

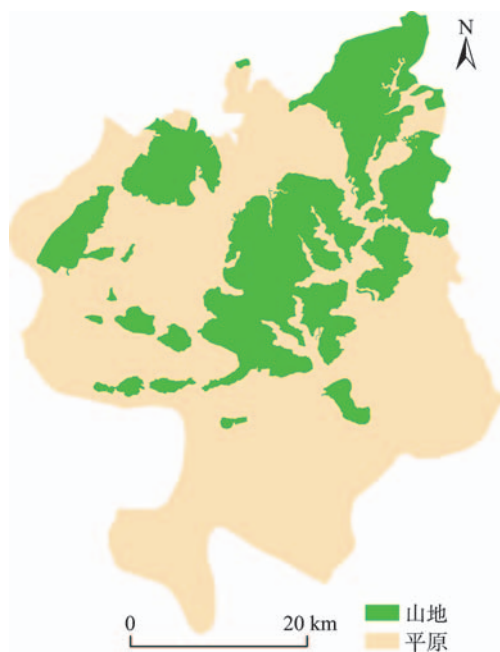


图9 都昌县1:25万地貌类型图

Fig.9 1:250 000 landform of Duchang County

析方法仅为73.15%、73.43%及62.40%。

为突出实验方法的优越性,本文采用专家解译成果对都昌县地区的1:25万地貌类型图中的山地、平原分类进行了精度评价。1:25万地貌类型图是基于Landsat 8 OLI中分辨率遥感影像、1:100万中国植被类型图、1:100万中国土壤类型图、1:10万中国土地利用图等参考资料,由中国科学院地理所在

2016年绘制而成的。提取地貌类型图Name0字段,即与本实验对应的山地、平原分类等级进行精度评定得到如表3中1:25万地貌类型山地、平原的统计结果。其表明,1:25万地貌类型图对山地的分类精度为85.84%,对平原的分类精度为73.83%。实验证明,高分辨率遥感影像结合地形因子在进行地貌类型划分时,较中分辨率遥感影像具有更大优势。

4 结论与展望

本文采用遥感影像聚类分析、地理信息系统(GIS)空间分析方法,以江西省九江市都昌县北部地区作为研究区域,在ENVI平台下对高分辨率遥感影像进行自动分类,在ArcGIS平台下分别对绝对高程、地形起伏度、地形部位指数地貌类型3类因子进行了提取和分析,并运用数理统计分析方法确定出了一套适用于山地与平原植被划分的定量提取技术,最后计算出了实验区山地、平原植被区域的研究范围和面积。实验表明,该方法较直接应用DEM得到的山地平原划分结果、遥感影像自动分类得到的植被分类结果都有明显提高。本研究为进一步开展山地土地解译研究提供了一个新的方法。

尽管本研究完成了相对准确的山地、平原植被划分,但研究尚有以下不足之处,应在未来的研究中继续完善和改进。①平原初始绝对高程阈值的

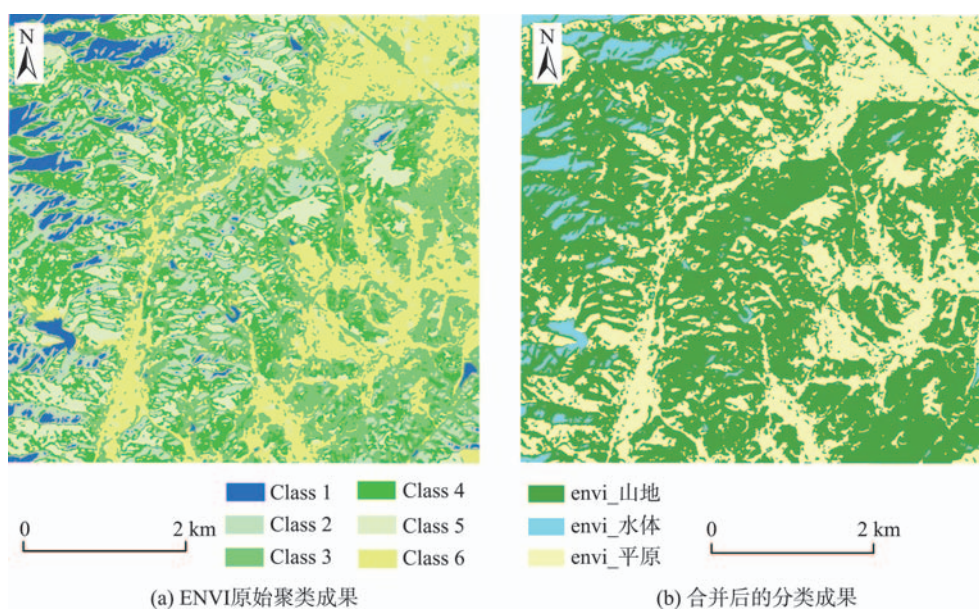


图10 高分辨率遥感影像自动分类

Fig.10 Automatic classification of high remote sensing images

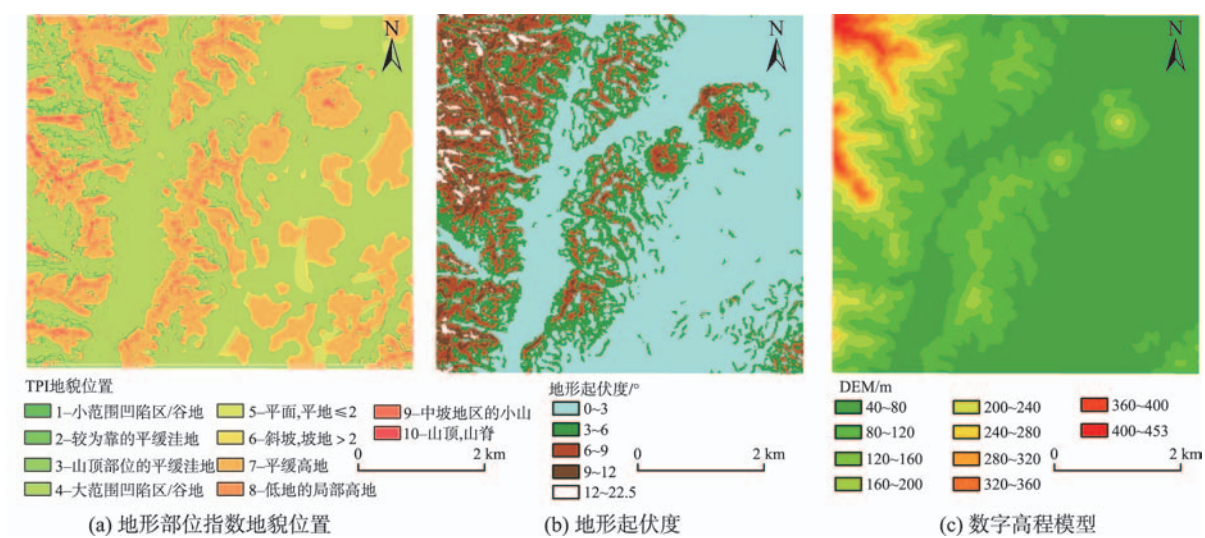


图 11 地形因子计算
Fig.11 Computations of terrain factors



图 12 植被界线提取:山地植被、平原植被与水体划分结果
Fig.12 Vegetation boundary extraction: division of mountain vegetation, plain vegetation and waterbody

设定方法。本研究采用的是通过目视影像和分析影像属性的方法,来判断初始高程阈值。这种方法不够自动化,且不具备通用性,需要对不同的区域进行不同的分析。今后可以考虑采用类似等高线密度变化率等因子,重点关注密度变化率较大的地区,通过自动化的手段完成初始阈值设定。② 自动分类算法的改进。由于目前采用的 ISODATA 算法在分类计算之前需要设定分类的类型数,迭代次数,容忍度百分比等参数,而在区域未知的情况下,需要通过多次实验来确定最佳参数组合,因此今后应考虑采用其他的自动分类算法,提高分类的效

表 3 精度评定
Tab. 3 Accuracy assessments

计算类型	实验/参考S(m ²)	目视U	相交L/m ²	精度/%
实验区山地	22.57	22.38	22.26	99.47
实验区平原	9.17	9.44	9.09	96.28
实验区水体	0.26	0.24	0.23	95.84
聚类山地	19	22.38	16.37	73.15
聚类平原	11.64	9.44	6.93	73.43
聚类水体	1.37	0.24	0.15	62.40
地形山地	21.78	22.38	10.27	45.87
地形平原	10.27	9.44	9.44	91.24
1:25万地貌山地	22.08	22.38	19.21	85.84
1:25万地貌平原	9.99	9.44	6.97	73.83

注:精度计算公式为 L/U 或 $1-(S-L)/U\%$ 。如地貌分类的面积大于专家目视成果的同类型面积时,应使用公式 $1-(S-L)/U\%$ 来计算精度百分比,避免出现大于100%的情况

率。③ 地形因子的组合改进。目前,根据山地、平原的最主要差异性,仅选择了绝对高程等3个地形因子进行山地平原划分,今后可以考虑再继续加入其它地形因子,如曲率、坡向等因子,进一步提高分类的精度。

致谢:本文写作过程中得到中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室的各位导师、专家和同志们的大力支持,在此特别致谢!

参考文献(References):
[1] 周成虎.地貌学辞典[M].北京:中国水利水电出版社, 2006. [Zhou C H. A dictionary of geomorphology[M].

- Beijing: China Water & Power Press, 2006.]
- [2] 程鸿.我国山地资源的开发[J].山地研究,1983,1(2):1-7. [Cheng H, The exploration of the mountain resources in China[J]. Mountain Research, 1983,1(2):1-7.]
- [3] 王明业,朱国金,贺振东,等.中国的山地[M].成都:四川科学技术出版社,1998. [Wang M Y, Zhu G G, He Z D, et al. Mountains in China[M]. Chendu: Sichuan Science and technology Press, 1998.]
- [4] 肖克非.中国山区经济学[M].北京:大地出版社,1988. [Xiao K F. China mountain area economics[M]. Land Press,1988.]
- [5] UNEP/WCMC. Mountain and mountain forest[M].Beijing:Cambridge UK,2002.
- [6] Partap T. Sustainable land management in marginal mountain areas of the Himalayan Region[J] Mountain Research and Development, 1999,19(3):251-260.
- [7] Kraeuchi N, Brang P, Schoenenberg W. Forest of mountainous regions: Gaps in knowledge and research needs [J]. Forest Ecology and Management, 2000,132(1):73-82.
- [8] Messerli B, Ives J D. Mountains of the World: A global priority[M]. New York and London: The Parthenon Publishing Group, 1997.
- [9] 杨艳青.不同地貌单元下遥感影像分类方法的比较研究[D].临汾:山西师范大学,2016. [Yang Y Q. A comparative study of remote sensing image classification method under different geomorphic unit[D]. Linfen: Shanxi Normal University, 2016.]
- [10] 竞霞,王锦地,王纪华,等.基于分区和多时相遥感数据的山区植被分类研究[J].遥感技术与应用,2008(4):394-397+360. [Jiang X, Wang J D, Wang J H, et al. Classifying forest vegetation using sub- region classification based on multi- temporal remote sensing images[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2008,4:394-397,360.]
- [11] 吴晓蕾,唐志尧,崔海亭,等.北京地区不同地形条件下的土地覆盖动态[J].植物生态学报,2006(2):239-251. [Wu X P, Tang Z R, Cui H T, et al. Land cover dynamics of different topographic conditions in Beijing[J]. Journal of Plant Ecology, 2006,2:239-251.]
- [12] 李丹,刘丹丹,赵金祥.基于DEM的山区土地利用变化分析[J].水土保持研究,2014(1):66-70,2. [Li D, Liu D, Zhao J X. Analysis of mountain land use change based on DEM[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014, 1:66-70,2.]
- [13] 肖飞,张百平,凌峰,等.基于DEM的地貌实体单元自动提取方法[J].地理研究,2008,27(2):459-466. [Xiao F, Zhang B P, Ling F, et al. DEM based auto-extraction of geomorphic units[J]. Geographical Research, 2008,27(2):459-466.]
- [14] 程维明,周成虎,柴慧霞,等.中国陆地地貌基本形态类型定量提取与分析[J].地球信息科学学报,2009,11(6):725-736. [Cheng W M, Zhou C H, Chai H X, et al. Quantitative extraction and analysis of basic morphological types of land geomorphology in China[J]. Geo-Information Science, 2009,11(6):725-736.]
- [15] Andrew D. topographic position and landforms analysis, the nature conservancy www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf, 2001.
- [16] Bradley M. Topography position index TPI landform slope classification standardization neighborhood statistics. <http://www.jennessent.com>, 2006.
- [17] Bradley M, Schaetzl R J. Digital classification of hill-slope position[J]. Soil Science Society of America Journal, 2014,79(1):132-145.
- [18] Detlef D, Rolf S. A multiscale soil - landform relationship in the glacial-drift area based on digital terrain analysis and soil attributes. <http://www.zalf.de/de/forschung/institute/blf/mitarbeiter/deuml/Seiten/publ.aspx>,2010.
- [19] 郎玲玲,程维明,朱启疆,等.多尺度DEM提取地势起伏度的对比分析——以福建低山丘陵区为例[J].地球信息科学,2007,9(6):1-6,135-136. [Lang L L, Cheng W M, Zhu Q J, et al. A comparative analysis of the multi- criteria DEM extracted relief: Taking Fujian low mountainous region as an example[J]. Geo-Information Science, 2007,9 (6):1-6,135-136.]
- [20] 涂汉明,刘振东.中国地势起伏度最佳统计单元的求证[J].湖北大学学报(自然科学版),1990(3):266-271. [Tu H M, Liu Z D. Demonstrating of relief on optimum statistic unit amplitude in China[J]. Journal of Hubei University (Natural Science), 1990,3:266-271.]