

基于DEM的长城遥感信息提取方法研究

张 鸥 官辉力 李小娟 李家存 张伟光

(首都师范大学资源环境与旅游学院,北京 100037) (资源环境与地理信息系统北京市重点实验室,北京 100037)

摘 要 长城已被列为濒危的世界文化遗产之一。由于长城分布的干线很长,调查困难,致使长城家底不清,保护管理工作很难进行。本文提出一种从遥感影像上快速提取长城的方法。本文选取了典型砖石结构的八达岭段长城,利用SPOT5遥感数据,对其进行NDVI处理,初步提取“类长城地物”;再利用1:10 000 DEM数据提取山脊线建立缓冲区,将两者进行叠合提取长城,再通过形状指数法去除多余图斑,得到最终结果。应用上述技术路线提取出的八达岭长城与已有资料进行比对提取精度较高。

关键词 八达岭长城 遥感 DEM 地形分析 信息提取

中图分类号: TP722.6 TP79 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)08-1495-06

Extraction of the Ming Great Wall Information from Remote Sensing Imagery and DEM

ZHANG Ou, GONG Hui-li, LI Xiao-juan, LI Jia-cun, ZHANG Wei-guang

(College of Resource Environment & Tourism, Capital Normal University, Beijing 100037)

(Key Laboratory of Beijing City Resource Environment & Gis, Beijing 100037)

Abstract The Great Wall has been in the severe danger of the World Culture Heritages list. it is difficult to investigate the situation, because the Great Wall stretches too long and we do not know the exact layout of the Great Wall. The protection and management of the Great Wall is a hard work. In this paper, there is a new method to extract the information of the Great Wall from the satellite images. The research area——BaDaLing is one of the typical stone Great Wall. Firstly we obtain the NDVI value from a SPOT5 image after fusion and orthorectification. Then use the DEM hydrology function to extract the ridge of the watershed, and buffer it. At last we put the NDVI and the buffered data together to make an overlay, then the Great Wall information is extracted. We apply the shape index to the overlay to get rid of other spots. The result is confirmed through the field survey. The method can provide reference to the Great Wall survey.

Keywords Great Wall of BaDaLing, remote sensing, DEM, hydrology analysis, information extraction

1 引言

长城在中国分布较广,目前基础保存最好的是明长城。明长城东起鸭绿江,西到嘉峪关,其长度、分布和现状等情况至今没有确切答案^[1]。中国长城学会将联合国测绘局等部门,组织专家利用航空遥感技术准确地测量出明长城的长度,确定长城

的空间分布格局以及追踪已淹没的长城位置。因此,快速、准确、客观地提取长城信息就成为长城研究中的一个关键问题。

利用遥感手段对长城进行研究,始于20世纪80年代。在1984年4月至1985年3月间北京地区长城航空遥感调查中,基本上查清了北京市境内平谷、密云、怀柔、延庆、昌平以及门头沟各区县内长城的分布。1990~1992年对宁夏境内长城状况做了

基金项目:北京市教委基金项目(KM200510028013)

收稿日期:2007-03-28;改回日期:2007-04-29

第一作者简介:张鸥(1982~),女。首都师范大学资源环境与旅游学院硕士研究生。主要研究北京明长城遥感监测、长城损毁及其保护划分。E-mail: wujil202@vip.sina.com

较详细的航空遥感工作^[2]。1994 年中国科学院遥感应用研究所利用航天飞机成像雷达 SIR2C/X2SAR 探测到位于宁夏盐池到陕西定边的长城^[3,4]。应用遥感技术进行长城研究优势明显。它可以从宏观到微观,从自然综合体到单体科学地进行研究,不仅能取代大量地面调查工作,节约大量调查经费,其最大优点还在于,能较易发现那些分布在广大地域内只剩痕迹的墙体,和追踪已泯灭,淹没的长城位置。它对长城损坏状况,损坏的自然因素及其内外生态环境变迁,为长城保护,长城的科学利用,长城里程碑的建立长城数据库的建立,提供第一手资料^[5]。

以往人们提取长城遥感信息大都是依靠目视解译。这种方法人为影响因素大、效率低、工作量大、不利于推广。而计算机解译可以客观、快速地对长城遥感信息进行自动提取。在此之前,曾有人利用灰度坡度法对陕北榆林地区沙漠中的土长城进行信息计算机自动提取。此方法适合将分布在沙化土地上的土质长城与周围地物分辨出来,但对于分布在崇山峻岭中的砖石结构长城不适用^[6]。本文的研究对象是分布在山脊上的砖石结构长城,利用地物的光谱特征并结合 DEM 分析功能提取长城。

遥感专题信息的提取,如水体、居民地、道路、地质构造等信息的提取,得到了广泛的研究,并提出了阈值法、差值法、密度分割法、谱间关系法以及基于专家知识等信息提取方法^[7]。随着遥感影像空间分辨率的提高,近些年利用高分辨率遥感影像提取遥感专题信息更是得到了广泛应用。本文在借鉴前人研究成果的基础上,尝试通过对长城和其背景地物的光谱特征进行分析,结合对长城所在地区 DEM 的分析,探索出一种快速从高分辨率的 SPOT5 融合的影像上提取长城信息的方法,并结合实例对这一方法进行了验证,取得了较为满意的结果。

2 研究区、数据及技术路线

选取八达岭长城为研究对象。八达岭长城是我国砖石结构长城中最具代表性的一段,它充分地体现了长城建筑体系中因险制塞的特点。八达岭长城因地形修建在山脊线上。海拔高达 1 015 m,地势险要,城关坚固。本文研究区域中的八达岭长城,墙体全长约 3 755 m^[8],墙体保存较为完好。研究区域内包含 3 条东北西南向的主要山脉和其 3 条山谷,研

究区内土地利用类型有林地(灌木林,疏林地)、道路(公路,铁路)、建筑用地(房屋,停车场,旅游设施)、裸地(裸岩石砾地,裸土地)等^[9],地形较为完整,区域较为典型,能够充分体现本文研究的意义。

采用 2004 年 5 月的 SPOT5 卫片数据,包括 4 个彩色波段(分辨率 10 m)和一个全色波段(分辨率 2.5 m),它们分别是绿波段(0.50 ~ 0.59 μm)、红波段(0.61 ~ 0.68 μm)、近红外(0.79 ~ 0.89 μm)、短波红外(1.58 ~ 1.75 μm)和全色波段,另外还用到了此地区比例尺为 1:10 000 的 DEM。裁切后的卫片大小是 546 × 487。

技术路线如图 1 所示。

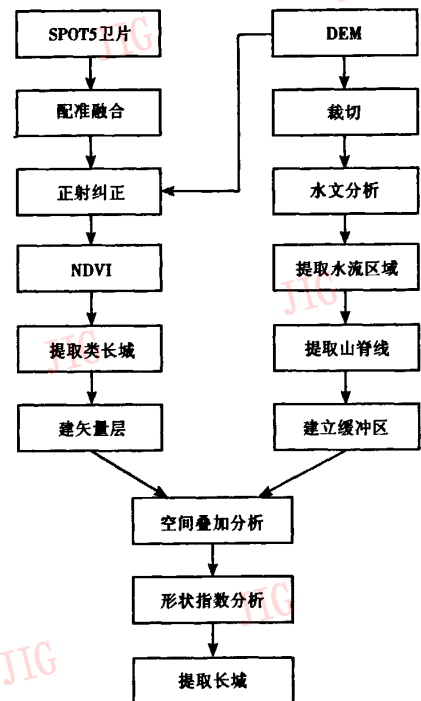


图 1 技术路线图

Fig. 1 Flow chart of the method

3 长城信息提取的原理和方法

3.1 长城信息提取遥感原理

多光谱卫星遥感影像记载了地物对电磁波的反射信息及地物本身的热辐射信息,不同地物由于其结构、组成及理化性质的差别,导致其对电磁波的反射及本身的热辐射存在着差异^[10]。八达岭长城是用巨型花岗岩条石和大型城砖砌成,花岗岩由于主要含有

石英和钾长石等浅色矿物,总体反射率较高^[11],其反射率一般是随着波长的增加而增加,并且反射率在可见光的红、绿波段明显增大,在 SPOT5 融合后的影像上(图 2),长城呈现灰白色,超长线状分布。而植被在这两个波段反射率较小,这使得长城在这两个波段上与植被有着明显的区别^[12]。反映在影像上,植被呈现出暗色调,而长城则相对较亮。研究区内的道路是沥青路面,具有低反射率,影像上呈暗灰色。建筑用地在影像上表现为紫灰色,与长城光谱特征相近,其中停车场比较特殊,由于是水泥地面,反射率较高。裸地的波谱曲线比较简单,一般随着波长的增加而增加,呈近似的单值递增关系,这种递增关系在可见光和近红外波段尤其明显^[12],在影像上呈现灰白色,与长城相似。鉴于以上原因,用单一的阈值法无法将这几类地物同时区分开来。

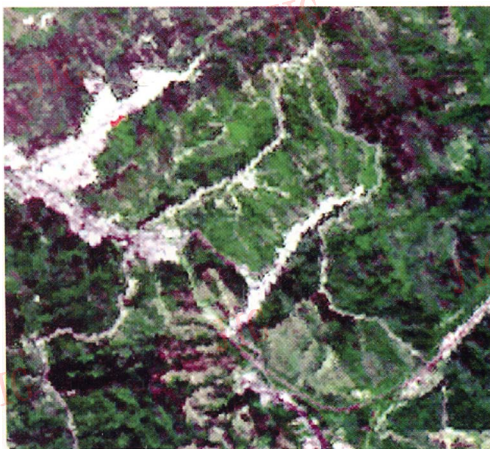


图 2 SPOT5 融合及正射纠正后的影像

Fig. 2 Image after fusion and orthorectification

3.2 SPOT5 上长城及其背景地物光谱分析

在 SPOT5 的影像上选取几种典型地物,对每一种地物各个波段的光谱亮度值进行样本统计,统计结果如表 1 所示,各个地物的波谱响应曲线如图 3 所示。

表 1 典型地物采样点波谱亮度值统计结果

Tab. 1 The statistical results of typical object samples' spectral values

	长城	道路	林地	建筑用地	裸地	停车场
Band1	110	91	122	115	112	135
Band2	103	85	95	112	106	136
Band3	135	110	174	139	130	153
Band4	149	125	145	154	153	165

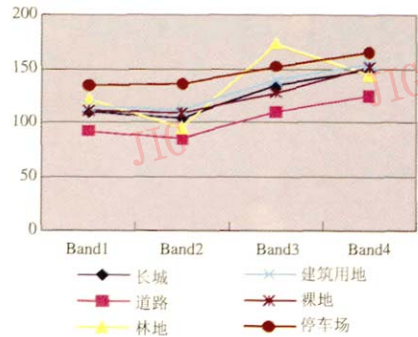


图 3 典型地物波谱响应曲线

Fig. 3 The spectral response curves of typical objects

从表 1 和图 3 可以看出,道路、林地、停车场和长城之间的波谱响应有一定区别,而长城和裸地、建筑物的波谱响应基本一致。因此,用单一的阈值分类法无法将长城提取出来,所以考虑首先将长城、裸地和建筑物三者作为一个整体(简称“类长城地物”),与其他地物区分开来,然后在此基础上进一步提取长城。

3.3 长城提取方法

3.3.1 “类长城地物”的提取

(1) 利用归一化植被指数 (NDVI) 对影像进行初步提取

由于研究区内林地范围很大,所以考虑使用归一化植被指数。

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$

其中,IR 选择 BAND3,R 选择 BAND2。

这样可以先将林地与其余地物分离(林地大于 0,而其他地物小于 0)。将 NDVI 值小于 0 的地物提取后的图像如图 4 所示(图中浅灰色区域为小于 0 的)。

(2) 设置阈值进行细分

NDVI 处理后提取的图像可以将林地去除。接下来要去除的是道路和停车场。在 NDVI 小于 0 的图像上进一步提取。经反复验证,当设置 $-0.098 < NDVI < -0.032$ 时又可以去除停车场和道路得到图 5。至此“类长城地物”已经提取出来。

3.3.2 利用数字高程模型 (DEM) 提取长城

“类长城地物”提取出之后,接下来就要把长城提取出来。考虑到长城分布的地理特点,本文结合地学知识,利用 GIS 的地学分析功能对此地区 DEM 进行地形分析,提取山脊线,与矢量化后的图 5 进行

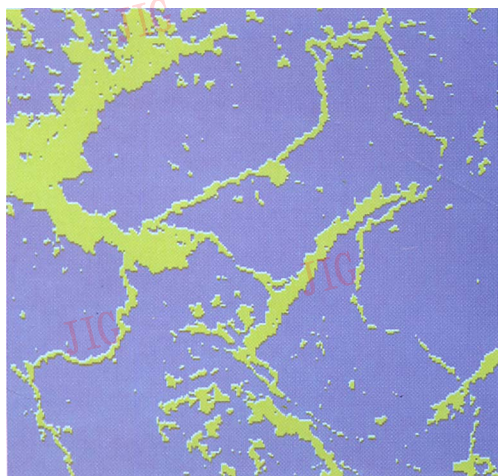


图 4 NDVI 小于零的地物提取

Fig.4 The extraction of the objects of which the NDVI value is less than 0

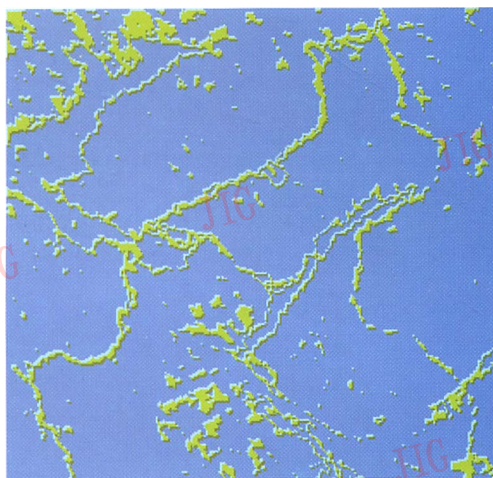


图 5 类长城地物提取

Fig.5 The extraction of the objects of similar Great Wall

进一步分析,提取长城。

(1) 对 DEM 进行特征分析

目前有关山脊线提取的算法很多,本文尝试使用平面曲率与坡位组合法、地形表面几何形态分析法、地形表面水流物理模拟分析法^[13]3种方法分别对本研究区内的 DEM 进行谷脊线分析,最终选择了使用地形表面水流物理模拟分析的方法,此方法提取出的山脊线与实际山脊线分布较为吻合。但此方

法也有一定的缺陷,由于该算法将汇水区域的公共边界视为分水线,因此它所确定的分水线均为闭合曲线,这与实际的山脊线不符^[13]。但这点对本文影响不大。

因为每一条合水线(山谷)都有一个汇水区域。显然,相邻合水线的汇水区域的边界线应是分水线。可以由合水线末点出发,借助区域的水流方向矩阵进行区域增长算法,得每条合水线的汇水区域,则每个汇水区域的边界线即为分水线(山脊)^[14]。根据此技术路线先提取此地区的汇水区域,然后提取山脊线。选取了不同精度的 DEM 做了实验,低精度的 DEM 所提取的山脊线是区域的主山脊线,而长城并不是都分布在主山脊线上,DEM 精度越高山脊线提取的越详细,DEM 的精度直接决定提取的山脊线精度。所以本文最终确定使用高分辨率的 DEM 进行提取(分辨率为 5.09m)。具体过程如图 6 所示。

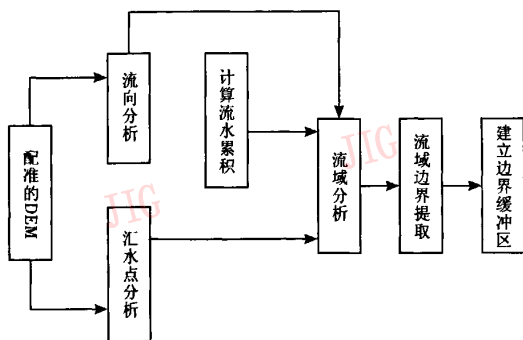


图 6 山脊线提取过程图

Fig.6 The process of extracting the ridge of the mountain

流域分析后得到图 7,不同的灰度表示不同的流域范围。流域边界即是山脊所在位置。

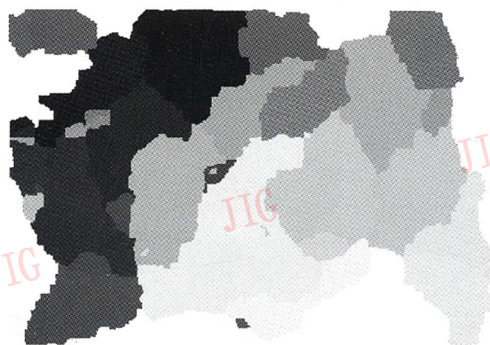


图 7 流域范围

Fig.7 Image of watersheds

由于真实山脊都有一定的宽度,所以考虑将提取的山脊线建立边界缓冲区(缓冲半径为 6m),如图 8 所示,从而提取在山脊缓冲区中的“类长城地物”。

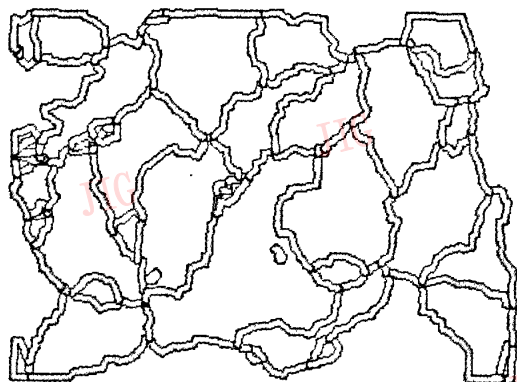


图 8 山脊缓冲区

Fig. 8 Image of the buffer of the ridge

(2) 提取山脊缓冲区中的“类长城地物”

叠加分析后,把分布在除山脊外的裸地、建筑用地去除。所得结果如图 9 所示。图中除了长城主体被提取出来外,还有一些小图斑。经野外采点验证,上述小图斑是分布在山脊处的裸地、小路以及建筑用地周围的土石路。



图 9 长城初步提取图

Fig. 9 The first extraction of Great Wall

3.3.3 形状指数分析

由于长城是超长线状地物,而其他分布在山脊的裸地和建筑物多是块状小面积地物,所以对初步提取出的长城进行形状指数分析,从而去除那些大部分裸地和建筑物。

$$K = \sqrt{A/P}$$

其中, K 表示形状指数, A 为面积, P 为周长。

计算图 9 中各个图斑的形状指数,将 $K > 0.132656$ 的图斑删除,得到图 10。



图 10 长城最终提取图

Fig. 10 The last extraction of Great Wall

经过野外验证,有一部分提取出的长城是分布在山脊上城墙周围的建筑物和裸地,另外有一段长城没有分布在山脊上,所以那段长城没有提取出来。

4 提取精度分析

本段长城实际长度是 3 755m。依据本文的方法提取出的长城长度是 3 564m。是长城而没有被提取出来的是 386m,不是长城而被提取出来的是 195m。是长城又被提取出来的长度是 3 369m,提取精度达到 89.72%。

表 2 提取精度表

Tab. 2 Table of extraction precision

真实长度(m)	3 755	错提长度(m)	195
提取长度(m)	3 564	错误率差(%)	5.2
漏提长度(m)	386	提取精度(%)	89.72
漏提误差(%)	10.28		

造成长城漏提的原因有两个,一个是有一部分北坡的长城光照不足,光谱信息很弱,在进行 NDVI 处理过程中,没有将其提取出来;另一个是由于一部分长城没有延山脊线方向延伸,如关城,这样的长城信息没有被提取出来。造成长城错提的原因主要是在山脊缓冲区内有一些条带状的建筑物和裸地被当成长城提取了出来,如图上部有一些不规则的锯齿状线段,据现场调查是人为修的旅游设施(连接几

个城楼的水泥路)。

5 结 论

研究表明,在崇山峻岭地区,长城与裸地和建筑物的波谱特征相似,单一的光谱分析无法将长城有效地提取出来。本文通过将光谱特征和长城的空间分布特点结合起来分析,提出了利用数字高程模型提取山脊线,建立缓冲区,使之与“类长城地物”叠合分析,最后利用形状指数去除多余的图斑,这样将长城信息比较有效地提取出来。

此种方法的优势在于可以快速、有效、准确地自动提取出长城。但其也有一定的缺陷,此种方法有一定的适用性,适合于长城分布在山区的地方使用。长城分布在高程变化不大的地区,此种方法受到限制。但是由于我国长城有相当多的部分分布在山区,尤其我国东部的长城。所以本文有一定的实际应用价值。只要长城的分布有本文分析的特点,就可以利用 DEM 地形分析提取山脊线的方法提取长城分布信息,并为进一步研究长城提供了基础和可能。

此外,本文还有一些有待改进之处。如果可以得到山脊线分布与长城分布的关系,就可以有选择地提取山脊线,这样长城信息提取的效果会更好些。另外,如何将漏分的长城提取出来,还有待下一步的研究。

参考文献 (References)

- Ding Zhao-wen. Tell the world the length of the Ming Great Wall this year [EB/OL]. <http://www.ben.com.cn/WLZB/20060215/GB/WLZB%5E1651%5E2%5E15W512.htm>, 2006-02-15. [丁肇文. 今年为明长城测体长结果向全世界发布 [EB/OL]. <http://www.ben.com.cn/WLZB/20060215/GB/WLZB%5E1651%5E2%5E15W512.htm>, 2006-02-15.]
- Zeng Chao-ming, Gu Wei. The survey of the Beijing Ming Great Wall [J]. Eastern China Normal University Press (Special issue of archaeology remote sensing), 1987, 7(1): 131 ~ 137. [曾朝铭, 顾巍. 北京地区长城航空遥感调查 [J]. 华东师范大学学报, 1987, 7(1): 131 ~ 137.]
- Guo Hua-dong. Radar for Earth Observation: Theory and Applications [M]. Beijing: Sciences Press, 2000. [郭华东著. 雷达对地观测理论与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.]
- Parrinello T, Vaughan R A. Multifractal analysis and feature extraction in satellite imagery [J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(9): 1799 ~ 1825.
- Yin Ning, Wang Chang-lin. The research of the extraction of the information of the Great Wall in satellite pictures [J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(1): 87 ~ 92. [尹宁, 王长林. 遥感影像的古长城信息提取方法研究 [J]. 遥感学报, 2005, 9(1): 87 ~ 92.]
- Du Jin-gang, Huang Yong-sheng, Feng Xue-zhi, et al. Study on water bodies extraction and classification from SPOT image [J]. Journal of Remote Sensing, 2001, 5(3): 214 ~ 219. [都金康, 黄永胜, 冯学智等. SPOT 卫星影像的水体提取方法及分类研究 [J]. 遥感学报, 2001, 5(3): 214 ~ 219.]
- Du Yun-yan, Zhou Cheng-hu. Automatically extracting remote sensing information for water bodies [J]. Journal of Remote Sensing, 1998, 2(4): 265 ~ 269. [杜云艳, 周成虎. 水体遥感的信息自动提取方法 [J]. 遥感学报, 1998, 2(4): 265 ~ 269.]
- Peng Wang-lu. Remote Sensing Theory [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002. [彭望录著. 遥感概论 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.]
- Zhou Cheng-hu, Luo Jian-cheng, Yang Xiao-mei, et al. Geographical Understanding and Applications of Remote Sensing Imagery [M]. Beijing: Sciences Press, 1999. [周成虎, 骆剑承, 杨晓梅等. 遥感影像地学理解与分析 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.]
- Tang Guo-an, Liu Xue-jun, Lu Guo-nian. DEM and Geographical Applications: Theory and Method [M]. Beijing: Sciences Press, 2005. [汤国安, 刘学军, 闾国年. 数字高程模型及地学分析的原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.]
- Li Zhi-lin, Zhu Qing. Digital Elevation Modle [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2001. [李志林, 朱庆著. 数字高程模型 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001.]