

doi: 10.6046/zrzyyg.2022117

引用格式: 梁茜亚,王卷乐,李朋飞,等. 基于 GF-1 影像的蒙古高原干旱半干旱地区自然道路提取——以蒙古国古尔班特斯苏木为例[J]. 自然资源遥感,2023,35(2):122-131. (Liang X Y, Wang J L, Li P F, et al. GF-1 images-based information extraction of natural roads in arid and semi-arid regions of the Mongolian Plateau: A case study of Gurbantes Soum, Mongolia[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2023, 35(2): 122-131.)

基于 GF-1 影像的蒙古高原干旱半干旱地区自然道路提取 ——以蒙古国古尔班特斯苏木为例

梁茜亚^{1,2}, 王卷乐^{1,3}, 李朋飞², DAVAADORJ Davaasuren⁴

(1. 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, 北京 100101; 2. 西安科技大学测绘科学与技术学院, 西安 710054; 3. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023; 4. 蒙古国立大学艺术科学学院, 乌兰巴托 14201)

摘要: 蒙古高原广袤的干旱半干旱地区存在大量未经规划的自然道路, 也称临时道路或越野公路。此类道路由车辆任意行驶碾压导致, 会对地表生态及其稳定性造成影响, 加剧干旱半干旱地区土地退化。由于自然道路数量众多、分布不规则且易随着区域发展而改变, 因而高效精确获取这些信息是大范围草原地区的一个紧迫需求和难点。该文以蒙古国自然道路为主要提取目标, 基于国产高分一号 (GF-1) 影像采用面向对象的方法进行研究区道路信息提取。首先对覆盖研究区的 GF-1 影像进行数据预处理, 采用多尺度分割方法进行影像对象分割; 然后对需要提取的自然道路进行特征分析, 通过计算光谱、几何特征参数及随机选取道路样本统计样本特征值, 选出能表达自然道路特征的参数构建道路提取规则集; 进而结合多种方法的组合应用, 最终通过最邻近分类法实现对道路的初步提取, 采用阈值分类法等分类算法优化道路信息。结果表明, 提取的蒙古国古尔班特斯苏木研究区自然道路长度为 3 708.745 km, 密度为 0.129 km/km², 总体呈现东南密集、西、北部稀疏的分布特征, 与本地区实际的煤矿企业生产和居民城镇生活情况相符。研究表明所提方法可以较完整地提取出研究区自然道路, 可为蒙古高原等广大干旱半干旱地区自然道路提取提供方法借鉴。

关键词: 高分一号影像; 蒙古高原; 自然道路; 越野公路; 道路提取; 面向对象

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2023)02-0122-10

0 引言

干旱、半干旱地区因降水稀少, 多以草原或裸地覆盖。这一区域往往因缺少公共交通基础设施, 越野车辆成为主要的交通方式。越野车辆直接碾压土地形成许多自然道路, 造成地表土层破坏、移走表层土壤和夯实下层土壤, 打破地表生态环境平衡, 形成风蚀源地, 是造成干旱、半干旱地区土地退化的重要原因之一^[1-3]。干旱、半干旱地区也是一个相对脆弱的生态系统, 车辆碾压土地可能会进一步危及稀有物种, 威胁生物多样性, 导致生态系统服务结构下

降等一系列环境问题, 例如风蚀加剧、沙尘暴^[4]。从植被生长的角度来看, 自然道路形成过程中会清除表层土壤中的植物种子以及剥去植被^[5], 植被损失使土壤更易发生风蚀、水蚀, 导致土地退化^[6]。许多干旱、半干旱区的植物物种生长缓慢, 并且容易受到土壤扰动或物理破坏, 因此当暴露于车辆活动时, 它们可能需要几十年才能恢复到初始状态^[7]。在蒙古高原干旱、半干旱地区存在大量未经规划的自然道路, 这些道路侵占原生草地资源, 对地表生态及其稳定性造成影响, 将会导致土地进一步退化^[4,6-9]。蒙古国道路主要包括经过硬化的沥青路、砾石路以及未经硬化的自然道路^[10]。从 20 世纪 90

收稿日期: 2022-04-06; 修订日期: 2022-08-11

基金项目: 国家自然科学基金项目“多源特征空间和地理分区建模支持下的蒙古国荒漠化精细反演”(编号: 41971385)和“蒙古国色楞格河流域畜牧业精准调控方法与网络协同平台研究”(编号: 32161143025)共同资助。

第一作者: 梁茜亚(1997-), 女, 硕士研究生, 主要从事土地退化(荒漠化)及驱动因素分析研究。Email: liangxy@lreis.ac.cn。

通信作者: 王卷乐(1976-), 男, 博士, 研究员, 主要从事资源环境科学数据集成与共享研究。Email: wangjl@igsrr.ac.cn。

年代初开始,随着蒙古国经济和社会的快速转型,蒙古国车辆数量从1990年的43 792辆增加到2000年的81 693辆^[11],截至2016年车辆增至近50万辆^[12]。车辆数量的快速增长远远超过了硬化道路建设能力的增长,因此形成自然道路的情况较为普遍。目前,总量持续快速膨胀的机动车和急剧增加的道路运输量对蒙古高原生态环境构成越来越大的威胁。因此,有必要对蒙古高原干旱、半干旱地区的自然道路进行提取分析,以便后续进行土地退化响应人类活动的影响研究。

道路信息提取是指使用相关数据和方法提取一条道路上的信息,例如车道中心线、边界线和车道数量等^[13]。遥感图像道路信息提取研究起步于20世纪70年代,在长期的探索和研究过程中,已经形成了多种多样的方法^[14],包括Snakes模型方法、数学形态方法、基于知识的方法、面向对象的方法等^[15-17]。根据道路提取方法的自动化程度,可分为半自动提取和全自动提取2种方式^[18]。全自动提取虽然始终是遥感图像目标识别与提取的主要发展方向和最终目标,但由于道路提取难度较大,缺乏可以适用于大多数案例的行之有效的办法,当下仍有较大难度实现,而传统利用人机交互方式对道路进行半自动提取,依然是目前主要的提取方法^[19]。Das等^[20]利用道路具有的线状特征及道路与周围地物的光谱差异特征,提出了一种多级框架提取多光谱遥感影像中的道路;Courtrai等^[21]提出基于矩形区域模板匹配的高分辨率道路提取方法,该方法提取效率高,但是由于此模板对所有的道路情况不能完全适应,提取效果不佳;周爱霞等^[22]基于eCognition遥感图像处理平台,采用面向对象的方法对IKONOS影像进行道路提取;王钰等^[23]针对现有道路提取方法存在深层次特征信息挖掘的缺陷,提出一种新的空间二阶矩特征,并为弥补特征间信息融合不足提出一种多特征融合的高分辨率遥感图像道路提取算法;刘玉梅等^[24]提出遥感影像道路提取方法主要可以分为基于像元的提取方法和面向对象的提取方法2大类。其中面向对象的方法作为一种描述、模拟和抽象现实世界的基础范例被证明是一种解决现有环境建模、决策支持和知识发现等高级功能中存在问题的有效方法^[25]。

随着高分辨率、定量遥感时代的到来,遥感数据获取和信息服务能力得到了快速发展,高空间分辨率、高光谱分辨率、高时间分辨率是未来遥感技术发展的总体趋势^[26]。国产高分一号(GF-1)卫星作为我国高分专项首批卫星,其成功发射大大增强了我国遥感对地观测效能,提升了我国空间高分辨率

对地观测卫星的整体应用水平,也提高了我国空间高分辨率数据自给率,打破了长期依赖国外高空间分辨率卫星数据的被动局面^[27]。在道路提取方面,高空间分辨率影像也为其提供了新的发展契机,可有效提升提取精度^[28]。但是目前也面临海量遥感数据的获取能力与数据处理、信息提取、应用能力之间不匹配的问题^[26],遥感数据的利用率有待提高^[19]。在国产高分辨率影像快速发展的时代背景下,提高国产高空间分辨率影像中信息资源的利用率变得越来越重要。

本研究针对蒙古高原存在的大量影响区域生态环境的自然道路,以位于蒙古高原的古尔班特斯苏木为实验研究区,基于GF-1数据,借助eCognition软件平台,采用面向对象方法进行研究区自然道路提取,以期为研究我国北方及蒙古高原生态屏障区域的土地退化影响提供方法和数据基础。

1 研究区概况及数据源

1.1 研究区概况

蒙古高原是“一带一路”中蒙俄经济走廊的重要区域,位于亚洲东北部 $N37^{\circ}46' \sim 53^{\circ}08'$, $E87^{\circ}40' \sim 122^{\circ}15'$ 之间,是北冰洋气候区和太平洋气候区的过渡地带,生态环境脆弱,极易受到气候变化和人类活动的影响^[29]。蒙古高原四周环山,是一个较为封闭的干旱半干旱内陆高原,其生态系统变化对中国及东北亚区域的环境有重要影响^[30]。蒙古高原土地覆被主要以草地为主,包括典型草原、草甸草原和荒漠草原等,荒漠草原主要分布在蒙古高原西南部,东北部则以典型草原为主^[31]。

道路提取实验区为蒙古高原西南部的古尔班特斯苏木(Gurvantes Soum, Omnogovi Province, Mongolia)。古尔班特斯苏木位于蒙古国南戈壁省的西部,其南部与我国内蒙古阿拉善盟接壤。气候条件为温带大陆性气候,年均温约 3.6°C ,年降水量约为 $60 \sim 80 \text{ mm}$,其中60%的降水集中在7—8月。景观类型以戈壁、草原及小山丘为主。土壤类型主要以半荒漠旱土为主,土壤有机质、氮含量低,钙含量高,土层厚度薄,质地为沙质,被散石、小砾石覆盖^[10]。古尔班特斯苏木所在的南戈壁省矿产资源富集,地下拥有储量巨大的焦煤和铜矿^[32]。中蒙合资开发的那林苏海图煤田即位于古尔班特斯苏木内,目前该煤矿的主要的开采方式为露天开采,探明的煤炭资源储量为16.7亿t,是蒙古国重点打造的世界级煤矿区之一^[33-34],煤矿生产的原煤主要以公路运输方式经过西伯库伦-策克口岸出口到中国^[34]。由

于大型煤矿的存在,除为改善运输条件所修建的公路外,古尔班特斯苏木内有许多由于运输车辆直接碾压草地而形成的自然道路。

1.2 数据源

遥感数据源为 GF-1 数据,共计 59 景。GF-1 是中国高分专项首颗卫星,采用 CAST2000 小卫星平台技术,搭载 2 个 2 m 全色和 8 m 多光谱相机(高分相机 PMS)、4 个 4 谱段多光谱相机(宽幅相机

WFOV),分别提供幅宽 60 km、空间分辨率为 2 m 的全色和空间分辨率为 8 m 的多光谱影像数据,和幅宽 800 km、空间分辨率为 16 m 分辨率的多光谱影像数据^[35-37]。GF-1 卫星在高空间分辨率、多光谱与高时间分辨率结合的光学遥感技术上具有重要突破,数据具有多种空间分辨率、多种光谱分辨率和多源遥感数据特征,可以满足不同用户的应用需求^[27]。GF-1 遥感卫星主要参数如表 1 所示。

表 1 GF-1 遥感卫星主要参数^[35]
Tab.1 Main parameters of GF-1 satellites

卫星名称	轨道高度/km	传感器	重访周期/d	波段数	波谱或频率范围/μm	空间分辨率/m	幅宽/km	工作模式	
GF-1	645	PMS 全色	4	5	0.45 ~ 0.90	2	60	推扫成像	
					0.45 ~ 0.52				
					0.52 ~ 0.59				
		PMS 多光谱	4	5	0.63 ~ 0.69	8			
					0.77 ~ 0.89				
					0.45 ~ 0.52				
		WFOV 多光谱	2	4	0.52 ~ 0.59	16			800
					0.63 ~ 0.69				
					0.77 ~ 0.89				

1.3 数据预处理

对获取的 GF-1 数据(道路提取实验区部分影像数据如图 1 所示,影像数据成像时间为 2015 年 6—9 月)进行了辐射校正、大气校正、正射校正、配准以及多光谱影像和全色影像的融合处理等预处理工作。其中,分别使用 ENVI5.3 中的 Radiometric Calibration 工具、FLAASH Atmospheric Correction 工具进行辐射定标和大气校正,消除遥感影像在获取过程中由于传感器本身、大气和光照等因素造成的误差。遥感影像成图时由于扫描畸变等系统因素以及飞行器拍摄姿态、飞行速度以及地球自转等非系统因素,使得影像本身与现实地物有偏差,即产生几何畸变,需要进行几何纠正^[38]。借助地形高程模型(digital elevation model, DEM),对影像的每个像元进行地形变形纠正,使影像更符合正射投影的要求。

多光谱数据和全色数据进行融合前,若出现影像重叠区域相同地物不能很好重合的现象,则需要以全色影像为基准对多光谱影像进行影像配准,进一步减少几何校正误差。图像融合采用的是 nearest neighbor diffusion (NNDiffuse) pan sharpening 算法,在 ENVI5.3 中将 2 m 的全色影像与 8 m 的多光谱影像进行融合,最终得到 2 m 的多光谱影像。该方法的融合结果对于色彩、光谱和纹理信息,均能得到很好的保留,还具有较好的处理效率,处理过后的影像数据同时具有较高空间分辨率和多光谱特征。

2 自然道路信息提取

2.1 面向对象的道路提取方法

面向对象的分类方法是将影像对象作为影像分析的基本单元进行分类,其包含 2 个相对独立的模块,影像分割和影像对象分类^[39]。影像分割即根据光谱或形状特征将遥感影像分割成离散的几何区域,影像对象就是指分割后产生的若干区域内部差异小于相邻区域间差异的像素集合^[16]。面向对象的道路提取首先需要在影像分割成“同质”对象的基础上,对所提取的道路对象进行特征分析,归纳道路特征构建道路提取知识库,进而将道路提取知识库中具有代表性的道路特征以特征空间、规则集的形式参与到道路提取算法中提取道路。道路提取流程如图 2。

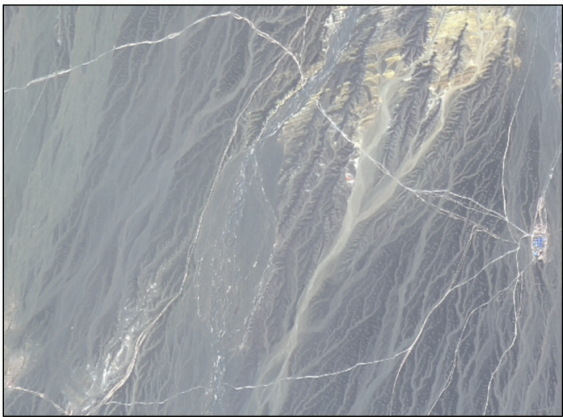


图 1 研究区部分影像数据

Fig.1 Part of the image datas of the study area

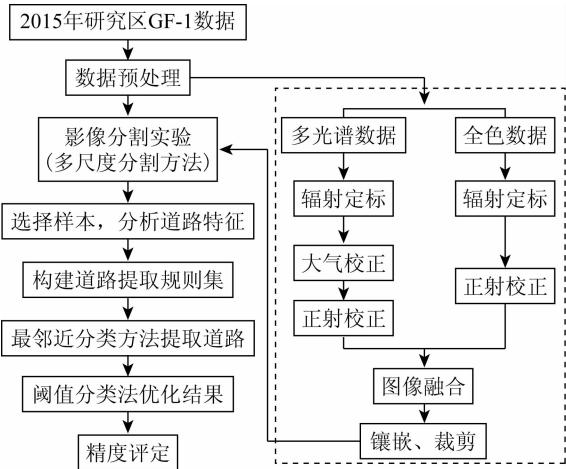


图2 道路提取流程图

Fig. 2 The flow chart of road extraction

2.2 多尺度分割实验

影像分割是面向对象分类的基础,也是关键的

第一步,影像分割质量的好坏可以直接影响后续分析处理。采用的影像分割方法是多尺度分割方法,通过设置分割尺度 (scale parameter)、形状参数 (shape)、紧凑度参数 (compactness) 等来实现自下而上 (bottom - up) 的分割。其中,分割尺度是对分割效果影响最大的参数之一,用来确定生成的影像对象所允许的最大异质度,可以直接影响影像对象的大小。形状参数关系着色彩 (即光谱) 和形状的一对属性关系,即形状 + 色彩 = 1,但形状参数的值不能大于 0.9,因为分割过程必须考虑光谱信息。形状指数又由紧凑度参数和平滑参数共同决定,即紧凑度参数 + 平滑参数 = 1。在进行多尺度分割时,需要不断试验分割参数,最终获取到适合研究区的最优分割参数组合。不同参数组合分割实验结果如图 3 所示。

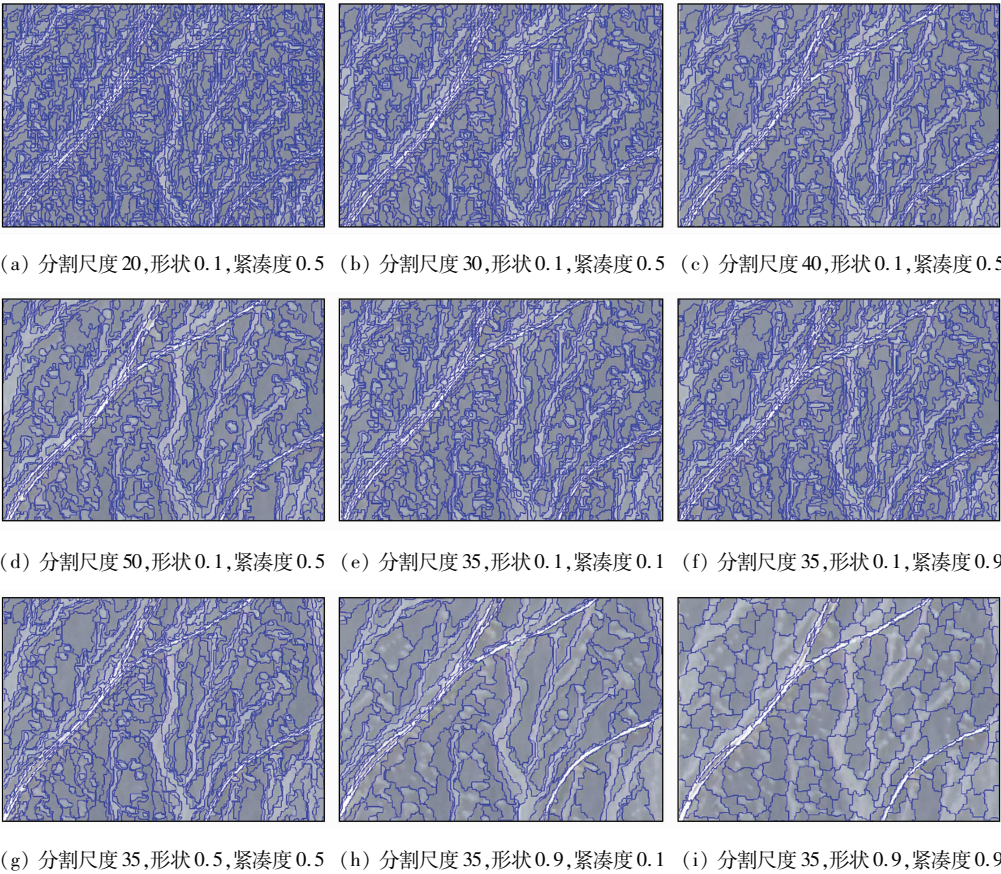


图3 影像分割实验图

Fig. 3 Image segmentation experiment

首先通过 4 个不同的分割尺度 (20, 30, 40, 50) 进行分割,形状参数采用默认的 0.1,紧凑度参数采用默认的 0.5。分析分割结果 (图 3 (a) — (d)) 发现,分割尺度过小时影像对象分割细致,但同时对象过于细小和破碎;分割尺度过大时,对象个数明显减少,但存在粗糙划分情况,因此最终将各分尺度设

定为 35。确定形状参数和紧凑度参数的实验分割结果 (图 3 (e) — (i)) 可以显示,道路地物线性形状特征明显,即形状参数越大,对象越容易生成比较规整的形状,越小则形状越破碎;紧凑度参数可以间接控制对象的光滑程度,紧凑度越小对象越平滑。当形状参数增大时,紧凑度参数越大,越容易生成龟

裂土地板块化的对象。经过实验,最终得到最优分割参数组合:分割尺度 35、形状参数 0.9、紧凑度参数 0.3,见图 4。

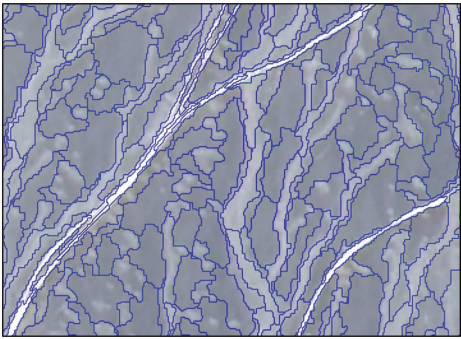


图 4 影像最优分割参数组合分割结果
Fig. 4 The result of optimal segmentation parameters combination

2.3 构建道路提取规则集

遥感影像中的每一种地物都有其不同的特征,道路作为高分辨率遥感影像中的重要组成要素之一,在对其进行分类提取时,首先需要根据道路本身的特征进行分析。对研究区内自然道路的特征进行分析,得出:①高分辨率遥感影像中同一条道路的

宽度变化值通常可控制在一定范围内,但是研究区的自然道路是由于车辆自由行驶碾压土地而来,因而会形成地面凹陷,若下雨后会则造成雨后积水,司机便会绕路而行,最终导致自然道路宽度越来越宽或宽窄不一的现象;②道路普遍呈现狭长的形状特征,尤其自然道路相较于公路其宽度较窄,明显呈现出长宽比例相差较大的特点,该特点是区别于其他背景地物中如亮度值较高的裸地、建筑物的最优特征;③对于稳定形成的自然道路,其内部的灰度值变化不会超过一定区间,且道路路面的灰度值较高,即道路的亮度较大,在遥感影像上表现为路面内部灰度值变化稳定且与周围地物环境差异明显。如道路两旁为植被时,自然道路破坏了草地均质性,道路与周边草地环境在灰度值与植被覆盖等方面差异较大,比较容易区分提取。

总体来说,高分辨率遥感影像中的道路特征主要有光谱特征、几何特征、拓扑特征以及上下文特征,由于拓扑特征和上下文特征难以被具体表达,应用难度较大,最终进行道路提取时主要借助影像对象的光谱特征和几何特征^[40]。研究区影像光谱特征和几何特征参数计算结果如图 5、图 6 所示。

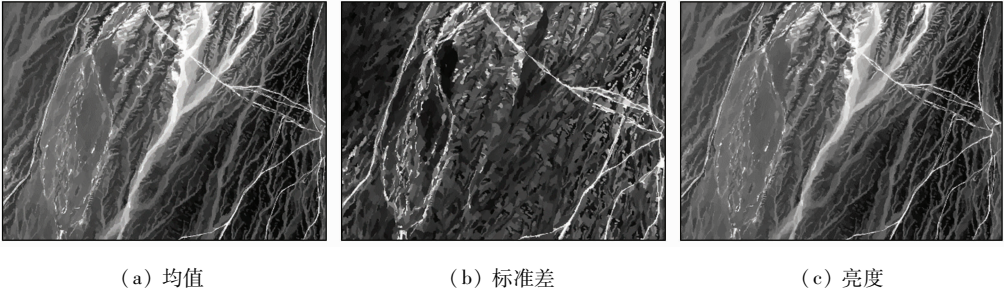


图 5 影像光谱特征参数计算结果
Fig. 5 Calculation results of spectral characteristic parameters of image

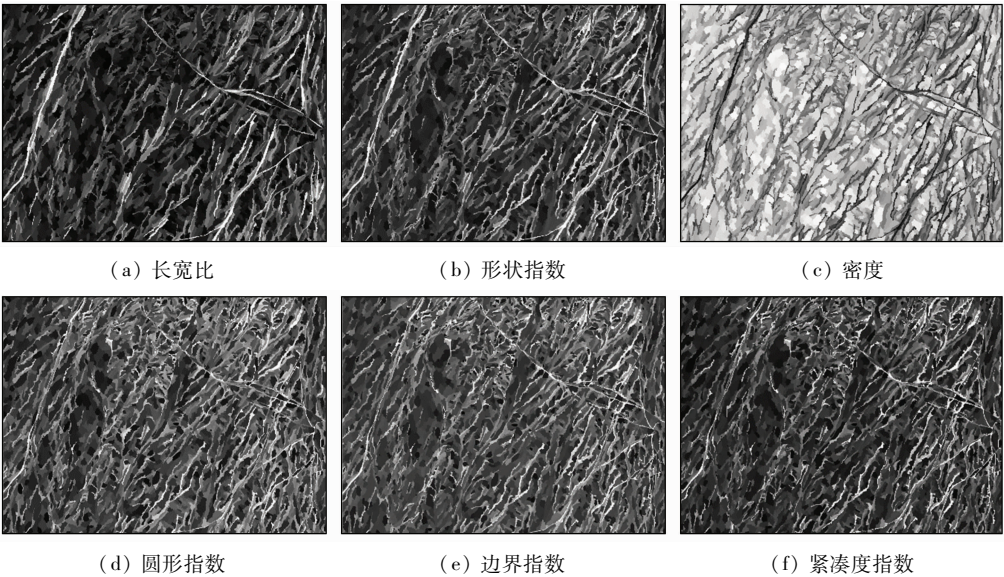


图 6 影像几何特征参数计算结果
Fig. 6 Calculation results of image geometric feature parameters

由影像光谱特征和几何特征参数计算结果(图5、图6)可以看出,遥感影像上道路具有明显的光谱特征,亮度值较大,对于道路内部其光谱均值和标准差通常无较大变化,而几何特征中的长宽比、形状指数、密度相比于圆形指数、边界指数、紧凑度指数更能明显体现道路线状地物的几何特性。除计算基于影像整体的特征参数外,还通过随机选取多个自然道路样本进行特征值对比分析,由此选出能反映自然道路特征的特征参数构建自然道路提取规则集,见表2。

表 2 自然道路提取规则集

Tab.2 Natural Road extraction rule set

序号	参数特征	特征值范围、阈值
1	长宽比	[5,19.3]
2	形状指数	[2.4,6]
3	密度	[0.38,0.75]
4	亮度	[1 460,1 871]
5	均值	[1 414,1 949]
6	标准差	[143,254]

2.4 道路提取与优化

道路提取是在面向对象分割的基础上,基于道路提取规则集中的特征参数,使用不同分类算法组合进行道路提取及优化,挖掘不同方法的优势。最邻近分类法是在一个特定的特征空间中对影像对象进行分类,可以更好地处理多维特征空间之间的关系。在选取能够代表每个典型类别样本的基础上,再选择具有代表性的特征参数构建特征空间(特征空间可以通过编辑类描述对每个类分别进行定义)。最邻近分类算法在每个影像对象的特征空间中寻找对象最接近的样本并进行划分,完成道路信息的初步提取。由于经过遥感影像预处理后得到的是空间分辨率为2 m 的 GF-1 数据,则能够提取出宽度2 m 及以上的自然道路信息。

使用最邻近分类算法提取出的初始道路网络,不可避免地会存在非道路区域,即产生错分、漏分现象,会对实验结果造成误差,需要将这些非道路区域去除、完善道路漏分,优化道路提取信息以提高道路提取精确度。对道路提取结果进行优化采用的是阈值分类法,通过使用长宽比、密度等多特征,以道路提取规则集中的特征值范围设立阈值,进行非道路对象的剔除与完善道路漏分。除此之外,eCognition 中的部分高级分类算法可以用来执行一些特殊的分类任务,进行消除错分以优化道路提取结果,例如 find enclosed by class 算法,可找出完全被其他类包含的单个错划分道路对象(如图7),消除零碎的非道路信息。通过阈值分类法及高级分类算法优化道路提取信息后,最终可通过手动修改方式,完善道路网络。



图 7 自然道路错划分优化

Fig.7 Optimization of natural road wrong division

3 结果与分析

通过面向对象的方法完成研究区道路提取后,采用混淆矩阵(误差矩阵)方法对实验分类结果进行精度评定,得出实验的总体分类精度为94.93%,Kappa 系数为0.869 1,可以达到道路信息提取的精度要求。

3.1 道路总体分布特征分析

由研究区道路提取分布图(图8)可以看出,研究区自然道路总体呈现东南密集,西、北部稀疏的特征。其中东南部的自然道路密集区有2个道路辐射中心,分别是古尔班特斯苏木的城镇区及那林苏海图煤矿区。由于煤矿的存在,运输车辆直接碾压草地形成自然道路的情况常见,导致煤矿附近自然道路密集。而硬化道路仅出现在研究区东南处,主要连接了城镇区与煤矿,及煤矿与西伯库伦-策克口岸(研究区硬化道路最南处)。

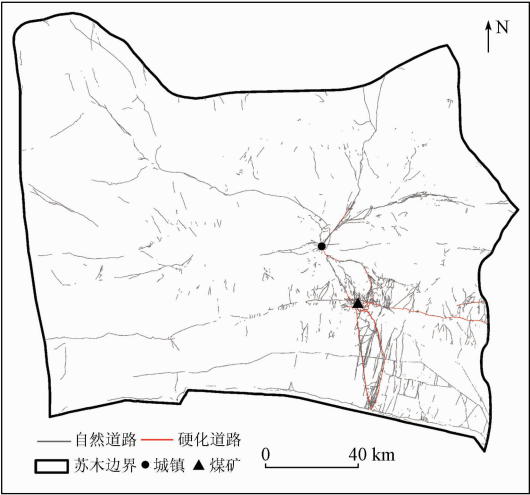


图 8 2015 年古尔班特斯苏木道路提取分布图

Fig.8 Road extraction distribution map of Gurvantes Soum in 2015

通过统计提取的道路长度,发现古尔班特斯苏木自然道路与硬化道路长度相差悬殊,自然道路 3 708.745 km,占道路总长度的 92.65%,硬化道路 294.129 km,仅占道路总长度的 7.35%。古尔班特斯苏木地广人稀,面积约为 28 746.859 km²,通过计算道路密度(道路里程与该区域面积之比)得出,区域自然道路和硬化道路的道路密度均很小。其中,自然道路密度为 0.129 km/km²,硬化道路密度仅为 0.010 km/km²,相比较自然道路的密度仍大于硬化道路。

将提取结果与张阳等^[41]研究内蒙古阿巴嘎旗那仁宝拉格苏木牧区道路分布特征相对比,那仁宝拉格苏木 2017 年自然道路长度占道路总长度的 90.87%,与古尔班特斯苏木自然道路占比相近;但不同的是那仁宝拉格苏木的自然道路密度为 0.848 km/km²,显著高于古尔班特斯苏木的自然道路密度(由于 2 个研究区面积不同,因此道路长度不做比较,仅比较道路占比与密度)。自然道路占比均很高说明蒙古高原区域由车辆碾压形成自然道路的情况普遍,自然道路分布广泛且分散。道路密度相差很大可能与研究区人口、经济、政策等社会因素不同有关,例如 2015 年古尔班特斯苏木所在的南戈壁省有 6.16 万人^[12],而那仁宝拉格苏木所在的锡林郭勒盟有 104.26 万人^[42],人口相差悬殊。

3.2 道路分布与人类活动影响的关系分析

自然道路是由车辆直接碾压形成的,与人类活动密切相关。由图 8 可以看出,古尔班特斯苏木自然道路主要分布于人类活动密集区域——城镇和煤矿周边区域。将道路分布数据与高程数据叠加,如图 9 所示,可以看出道路主要分布于中低海拔区域,

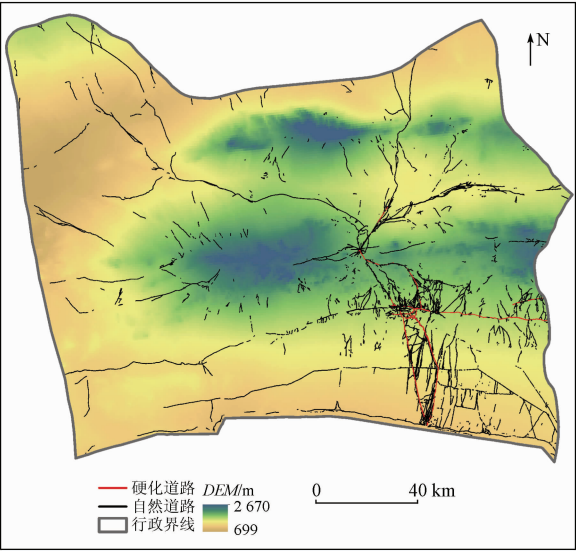


图 9 道路分布与高程叠加图

Fig. 9 Overlay map of road distribution and elevation

中部、北部高海拔地区几乎无道路。因为中低海拔区域人类活动干扰大,随着高程增加人类活动会减弱^[43],自然道路也不便通达,所以高程影响人类活动分布,间接影响道路分布。

古尔班特斯苏木内的那林苏海图煤矿煤炭资源储量约为 16.7 亿 t^[32],开采的煤炭主要用于出口,2015 年全年我国从策克口岸累计进口蒙古国原煤 760 余万 t^[44]。矿产资源开发对蒙古国经济增长具有显著的促进作用^[45],研究区所在的南戈壁省国内生产总值从 2010 年的 238 671.3 百万图格里克,到 2015 年增至 286 003.7 百万图格里克^[12]。除此之外,蒙古国统计网站及年鉴数据显示^[12,46],南戈壁省 2010 年车辆数量为 5 293 辆,到 2015 年增至 11 769 辆,同时我国锡林郭勒盟的车辆数量也在增加,从 2010 年 90 468 辆到 2015 年增至 236 651 辆^[42]。

综上所述数据,近年来蒙古高原干旱半干旱地区伴随工矿、交通及城市的建设,车辆数量迅速增加,车辆直接碾压土地、侵占原生草地资源的情况不容忽视。

4 结 论

本研究以蒙古高原干旱半干旱区的古尔班特斯苏木为实验区,对区域内宽度为 2 m 及以上的自然道路进行提取。

1) 基于国产 GF-1 影像数据进行道路提取,结果总体分类精度为 94.93%,Kappa 系数为 0.869 1,达到道路信息提取的精度要求。基于高分数据进行道路信息提取,不仅可以实现高分数据的利用价值,促进其更好地服务于区域和行业应用,也证明了使用高分数据提取干旱半干旱区自然道路的可行性。

2) 采用面向对象的道路提取方法,影像分割时将噪声融合进对象之中,以对象代替像元作为分析基础。面向对象的方法不仅可以充分利用遥感影像的光谱特征,还能够结合影像对象的形状特征(例如长宽比、密度等)、空间关系(例如对象包含、相邻关系等),使得分类过程可以充分利用对象所包含的信息,弥补基于像元进行信息提取时的不足。尤其对于线性特征明显的道路提取目标,长宽比等形状特征参与分类提取至关重要。

3) 研究区位于蒙古高原干旱半干旱区,内陆高原多有戈壁、沟壑、山丘景观,分割后也呈现长条状对象,与目标地物的特征差异较小。在使用最邻近分类方法进行道路初步提取时,出现了错分、漏分现象,道路初步提取完成后需要进行道路优化及人工干预完善道路。今后可以尝试使用其他方法提高目

标对象的自动分类精度。

4)蒙古高原干旱半干旱区道路交通设施不完善,自然道路在交通网中占比很大。伴随“一带一路”包括道路交通等在内的互联互通日益加强、区域的工矿建设和城乡发展,各类工程和社会车辆数量在快速增加,导致交通压力不断上升。研究自然道路对土地退化的影响,能为加强干旱半干旱地区的区域发展和生态屏障之间的权衡提供支持。未来应重视车辆及交通基础设施的合理规划与管理,加强对自然道路的遥感监测和治理,有效缓解由自然道路增加带来的土地退化压力。

参考文献(References):

[1] 张德平,德力,赵家明,等. 车辆碾压引起草原沙漠化研究进展[J]. 呼伦贝尔学院学报,2011,19(3):82-88.
Zhang D P,De L,Zhao J M,et al. Research progress of grassland desertification caused by vehicle rolling[J]. Journal of Hulunbeier University,2011,19(3):82-88.

[2] 张德平,王效科,哈斯,等. 呼伦贝尔沙质草原风蚀坑研究(1)——形态、分类、研究意义[J]. 中国沙漠,2006,26(6):894-902,1052-1058.
Zhang D P,Wang X K,Ha S,et al. HulunBuir sandy grassland blowouts: Geomorphology, classification, and significances [J]. Journal of Desert Research,2006,26(6):894-902,1052-1058.

[3] 赵兴梁,杨根生. 论北半球三大温带草原农垦与沙漠化的关系[J]. 中国沙漠,2002,22(5):39-44.
Zhao X L,Yang G S. Reclamation of steppe and related desertification in three temperate zones of North Hemisphere[J]. Journal of Desert Research,2002,22(5):39-44.

[4] Keshkamat S S,Tsendbazar N E,Zuidgeest M H P,et al. The environmental impact of not having paved roads in arid regions:An example from Mongolia[J]. Ambio,2012,41(2):202-205.

[5] Lovich J E,Bainbridge D. Anthropogenic degradation of the southern California desert ecosystem and prospects for natural recovery and restoration[J]. Environmental Management,1999,24(3):309-326.

[6] Kinugasa T,Oda S. Effects of vehicle track formation on soil seed banks in grasslands with different vegetation in the Mongolian steppe[J]. Ecological Engineering,2014,67:112-118.

[7] Stebbins R C. Off-Road and the fragile desert[J]. American Biology Teacher,1974,36(4):203-208,220.

[8] 常月明,雷俊义,李永香,等. 半干旱阜陵地区乡村道路侵蚀特点和影响因素研究——以内蒙古四子王旗东南部为例[J]. 水土保持研究,2014,21(5):116-121.
Chang Y M,Lei J Y,Li Y X,et al. Study on the road erosion characteristics and the effect factors in semiarid hilly region:Take the Southeast Siziwang County,Inner Mongolia as an example[J]. Research of Soil and Water Conservation,2014,21(5):116-121.

[9] Bathkhisig O. Human impact and land degradation in Mongolia[M]// Dryland East Asia: Land Dynamics amid Social and Climate Change. De Gruyter,2013:265-282.

[10] Davaadorj D,Byambabayar G,Oyunkhand B,et al. Soil erosion as-

essment in southern Mongolia;Case Study of Gurvates Soum[J]. Journal of Young Scientists,2016(4):169-181.

[11] MNEM(The Ministry of Nature and Environment of Mongolia). Country report on natural disasters in Mongolia[M]. Ulaanbaatar: MNEM,1999.

[12] National Statistics Office of Mongolia. Mongolia statistical yearbook 2016[M]. Ulaanbaatar: National Statistics Office of Mongolia, 2017.

[13] 李小龙,张 昀. 道路信息提取方法综述[J]. 测绘通报,2020(6):22-27.
Li X L,Zhang Y. Summary of road information extraction methods [J]. Bulletin of Surveying and Mapping,2020(6):22-27.

[14] 冯 鹏,高 峰. 高分遥感影像中道路信息提取方法综述[J]. 现代电子技术,2015,38(17):53-57.
Feng P,Gao F. Method of road information extraction in high resolution remote sensing images[J]. Modern Electronics Technique, 2015,38(17):53-57.

[15] 杨晓雯. 遥感图像道路信息提取方法研究进展[J]. 中小企业管理与科技,2017(9):189-190.
Yang X W. Research progress of road information extraction from remote sensing images[J]. Management & Technology of SME, 2017(9):189-190.

[16] 吕建国. 基于面向对象的高分辨率遥感影像道路信息提取方法[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版),2008,36(s2):80-82.
Lyu J G. Road extraction based on object-oriented from high-resolution remote sensing images[J]. Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition),2008,36(s2):80-82.

[17] 何 勇,陈昌鸣,熊增连,等. 基于 eCognition 的面向对象农村公路提取[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2012,31(6):1194-1197.
He Y,Chen C M,Xiong Z L,et al. Object-oriented rural roads extraction based on eCognition[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science),2012,31(6):1194-1197.

[18] 顾红军. 基于高分辨率遥感影像的道路网信息提取研究现状[J]. 中国非金属矿工业导刊,2018(4):53-54.
Gu H J. Research status of road network information extraction based on high resolution remote sensing images[J]. China Non-metallic Minerals Industry,2018(4):53-54.

[19] 陈昌鸣. 面向对象的高分辨率遥感影像农村公路专题信息提取[D]. 重庆:重庆交通大学,2011.
Chen C M. Rural road extraction base on object-oriented method with high-resolution remote sensing image [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University,2011.

[20] Das S,Mirmalinee T T,Varghese K. Use of salient features for the design of a multistage framework to extract roads from high-resolution multispectral satellite images[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2011,49(10):3906-3931.

[21] Courtrai L,Lefèvre S. Road network extraction from remote sensing using region-based mathematical morphology[C]// 2014 8th IAPR Workshop on Pattern Recognition in Remote Sensing. IEEE, 2014:1-4.

[22] 周爱霞,余 莉,冯 径,等. 基于面向对象方法的高分辨率遥感影像道路提取方法研究[J]. 测绘与空间地理信息,2017,40(2):1-4.

- Zhou A X, Yu L, Feng J, et al. Road information extraction from high-resolution remote sensing image based on object-oriented image analysis method[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2017, 40(2): 1-4.
- [23] 王钰, 何红艳, 谭伟, 等. 一种多特征融合的高分辨率遥感图像道路提取算法[J]. *遥感信息*, 2019, 34(1): 111-116.
- Wang Y, He H Y, Tan W, et al. High-resolution remote sensing image road extraction algorithm based on multi-feature fusion[J]. *Remote Sensing Information*, 2019, 34(1): 111-116.
- [24] 刘玉梅, 张建国, 孙铭阳. 高分辨率遥感影像道路信息提取[J]. *城市地理*, 2017(22): 153-155.
- Liu Y M, Zhang J G, Sun M Y. Road information extraction from high resolution remote sensing images[J]. *City Geography*, 2017(22): 153-155.
- [25] 余柏菡, 刘红星, 吴健平. 面向对象的城市空间信息遥感分析的理论框架[J]. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2010(6): 12-25, 63.
- Yu B L, Liu H X, Wu J P. Exploring the theoretical framework of object-oriented analysis for urban spatial information using remote sensing data[J]. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2010(6): 12-25, 63.
- [26] 徐冠华, 柳钦火, 陈良富, 等. 遥感与中国可持续发展: 机遇和挑战[J]. *遥感学报*, 2016, 20(5): 679-688.
- Xu G H, Liu Q H, Chen L F, et al. Remote sensing for China's sustainable development: Opportunities and challenges[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2016, 20(5): 679-688.
- [27] 白照广. 高分一号卫星的技术特点[J]. *中国航天*, 2013(8): 5-9.
- Bai Z G. Technical characteristics of GF-1 satellite[J]. *Aerospace China*, 2013(8): 5-9.
- [28] 张宏伟. 高分辨率影像中农村道路提取方法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016.
- Zhang H W. The rural road extraction method research based on high resolution images[D]. Chongqing: Chongqing University, 2016.
- [29] 那音太, 秦福莹, 贾根所, 等. 近 54 a 蒙古高原降水变化趋势及区域分异特征[J]. *干旱区地理*, 2019, 42(6): 1253-1261.
- Na Y T, Qin F Y, Jia G S, et al. Change trend and regional differentiation of precipitation over the Mongolian Plateau in recent 54 years[J]. *Arid Land Geography*, 2019, 42(6): 1253-1261.
- [30] 萨楚拉, 刘桂香, 包刚, 等. 近十年蒙古高原积雪面积时空变化研究[J]. *内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版)*, 2012, 41(5): 531-536.
- Sa C L, Liu G X, Bao G, et al. The spatial and temporal changes of snow cover of the Mongolian Plateau in recent 10 years[J]. *Journal of Inner Mongolia Normal University (Natural Science Edition)*, 2012, 41(5): 531-536.
- [31] 康尧, 郭恩亮, 王永芳, 等. 温度植被干旱指数在蒙古高原干旱监测中的应用[J]. *应用生态学报*, 2021, 32(7): 2534-2544.
- Kang Y, Guo E L, Wang Y F, et al. Application of temperature vegetation dryness index for drought monitoring in Mongolian Plateau[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(7): 2534-2544.
- [32] 郭婵好, 李华, 杨恺, 等. 蒙古国煤炭资源评价[J]. *中国煤炭地质*, 2019, 31(12): 25-29.
- Guo C Y, Li H, Yang K, et al. Assessment of coal resources in Mongolia[J]. *Coal Geology of China*, 2019, 31(12): 25-29.
- [33] 秦增刚, 孙树光. 浅谈蒙古国煤炭资源[J]. *西部资源*, 2014(2): 136-137.
- Qin Z G, Sun S G. Discussion on coal resources in Mongolia[J]. *Western Resources*, 2014(2): 136-137.
- [34] 王妍, 刘闯, 翟禹镓. 蒙古煤炭工业发展趋势[J]. *中国煤炭*, 2021, 47(10): 67-72.
- Wang Y, Liu C, Zhai Y J. Development trend of Mongolia coal industry[J]. *China Coal*, 2021, 47(10): 67-72.
- [35] 孙伟伟, 杨刚, 陈超, 等. 中国地球观测遥感卫星发展现状及文献分析[J]. *遥感学报*, 2020, 24(5): 479-510.
- Sun W W, Yang G, Chen C, et al. Development status and literature analysis of China's earth observation remote sensing satellites[J]. *Journal of Remote Sensing (Chinese)*, 2020, 24(5): 479-510.
- [36] 陆春玲, 王瑞, 尹欢. “高分一号”卫星遥感成像特性[J]. *航天返回与遥感*, 2014, 35(4): 67-73.
- Lu C L, Wang R, Yin H. GF-1 satellite remote sensing characters[J]. *Spacecraft Recovery & Remote Sensing*, 2014, 35(4): 67-73.
- [37] 李伟健. 基于 GF-1 卫星影像的道路信息提取与应用[D]. 成都: 四川师范大学, 2020.
- Li W J. Road information extraction and application based on GF-1 satellite image[D]. Chengdu: Sichuan Normal University, 2020.
- [38] 于爱洁, 李桂芬, 张佳彬. 地理国情监测中高分一号卫星数据处理关键要点分析[J]. *测绘与空间地理信息*, 2020, 43(s1): 91-93.
- Yu A J, Li G F, Zhang J B. Analysis on key points of data processing for GF-1 satellite in geographical situation monitoring[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2020, 43(s1): 91-93.
- [39] 何志强, 梁四么. 基于 eCognition 的高分辨率遥感影像道路自动提取方法[J]. *科技创新与生产力*, 2018(2): 40-42, 46.
- He Z Q, Liang S Y. Automatic extraction method of road information from high-resolution remote sensing image based on eCognition[J]. *Sci-tech Innovation and Productivity*, 2018(2): 40-42, 46.
- [40] 胡建青. 面向对象的高分辨率遥感影像道路信息提取[D]. 北京: 北京交通大学, 2019.
- Hu J Q. Object-oriented road information extraction from high resolution remote sensing images[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2019.
- [41] 张阳, 赛西雅拉图, 其力木格. 典型草原牧区道路时空变化特征分析[J]. *安徽农学通报*, 2020, 26(9): 82-87.
- Zhang Y, Saixiyalatu, Qilimuge. Analysis of spatiotemporal changes of roads in typical grassland pastoral areas[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2020, 26(9): 82-87.
- [42] 锡林郭勒盟统计局. 锡林郭勒盟统计年鉴(2019)[M]. 锡林浩特: 锡林郭勒盟统计局, 2020.
- Xilin Gol League Statistics Bureau. Statistical yearbook of Xilin Gol League (2019)[M]. Xilinhot: Xilin Gol League Statistics Bureau, 2020.
- [43] 张运刚, 张树文, 陈冬勤. 通化市高程梯度变化与土地利用景观格局分异研究[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2010, 26(3):

271 – 276.
Zhang Y G,Zhang S W,Chen D Q. Analysis of elevation gradient change and land use landscape heterogeneity in Tonghua City[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture,2010, 26(3):271 – 276.

[44] 李志兰. 内蒙古策克口岸进口蒙古国原煤突破 200 万吨[EB/OL]. <https://www.imsilkroad.com/news/p/30707.html>,2014 – 04 – 15/2021 – 12 – 04.

Li Z L. Ceke port of Inner Mongolia imported of raw coal from Mongolia exceeded 2 million tons [EB/OL]. [https://www.imsilk-](https://www.imsilkroad.com/news/p/30707.html)

[road.com/news/p/30707.html](https://www.imsilkroad.com/news/p/30707.html),2014 – 04 – 15/2021 – 12 – 04.

[45] 孟小玉,齐晓明,佟宝全. 蒙古国矿产资源开发对经济发展的影响研究[J]. 干旱区资源与环境,2021,35(12):100 – 105.

Meng X Y,Qi X M,Tong B Q. Research on the influence of mineral resources exploitation on economic development in Mongolian [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2021,35 (12):100 – 105.

[46] Mongolian Statistical Information Service[EB/OL]. <http://1212.mn/>,2021 – 12 – 02.

GF – 1 images – based information extraction of natural roads in
arid and semi – arid regions of the Mongolian Plateau:
A case study of Gurvantes Soum, Mongolia

LIANG Xiya^{1,2}, WANG Juanle^{1,3}, LI Pengfei², DAVAADORJ Davaasuren⁴

(1. State Key Laboratory of Resources and Environment Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. College of Geomatics, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 3. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China; 4. School of the Art & Sciences, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 14201, Mongolia)

Abstract: Many unplanned natural roads, which are also known as temporary roads or unpaved roads, exist in the vast arid and semi – arid regions of the Mongolian Plateau. These natural roads, which were formed due to the arbitrary running of vehicles, will influence the surface ecology and its stability and aggravate land degradation in arid and semi – arid regions. They have a large quantity, are distributed irregularly, and tend to change with regional development. Therefore, there is an urgent need for the efficient and accurate information acquisition of natural roads in large – scale grassland regions, which is a challenge. Based on domestic high – resolution satellite (GF – 1) images, this study extracted information on the natural roads in Mongolia using the object – oriented method. First, the data of GF – 1 images covering the study area were preprocessed, and the image objects were segmented using the multiresolution segmentation method. Then, the characteristics of the natural roads were analyzed for information extraction. By calculating the parameters of spectral and geometric features and randomly selecting road samples to statistically analyze the characteristic values of samples, the parameters that could characterize the natural roads were selected to construct a set of rules for information extraction of roads. Finally, information on roads was extracted and optimized by combining multiple methods for classification, among which the nearest neighbor classification method was used for preliminary extraction while other classification algorithms such as threshold classification were used for optimization. Consequently, natural roads with a length of 3 708.745 km were extracted in the study area, with a density of 0.129 km/km². This result shows that the natural roads in the study area are densely distributed in the southeast and sparsely distributed in the north and west overall. These distribution characteristics are consistent with the actual production of coal mine enterprises and the living of local residents in the study area. Therefore, the method proposed in this study can extract almost complete information about natural roads in the study area and thus can be used as a reference for the information extraction of natural roads in vast arid and semi – arid regions of the Mongolian Plateau.

Keywords: GF – 1 image; Mongolian Plateau; natural road; unpaved road; road information extraction; object – oriented