

Sentinel-1A 数据在高原山区短期 土地利用监测中的应用

——以贵州省安顺市为例^①

韩可欣^{1,2}, 刘绥华^{1,2}, 许璟³, 安裕伦^{1,2}

1. 贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550001; 2. 贵州省山地资源与环境遥感应用重点实验室, 贵阳 550001;
3. 黄山学院 建筑工程学院, 安徽 黄山 245021

摘要: 为推动雷达数据在高原山区的应用, 以贵州省安顺市为例, 利用 SAR 数据并辅助 TM 影像、DEM 等数据, 以灰度图像差值法、混淆矩阵法等为基础, 对星载 Sentinel-1A 雷达数据进行短期土地利用监测的可行性做初步探究. 结果表明: ① 差值获取的土地利用变化信息简单直观, 有部分伪变化; ② 土地利用变化阈值范围是 $-0.4 \sim 3.6$. 城市建设用地及植被变化差异有统计学意义, 水体变化差异无统计学意义; ③ 变化信息监测总准确率均达到 80%, $Kappa$ 系数均在 0.7 以上, 基本达到数据统计分析的一般准确率要求. 因此, Sentinel-1A 数据监测高原山区土地利用变化可达到实际应用标准, 并结合 DEM 可有效降低高原山区气候和地形等因素的影响.

关键词: 土地利用; 合成孔径雷达; 灰度图像差值法; 混淆矩阵

中图分类号: TN957.52

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2017)04-0124-07

土地利用/土地覆盖变化(Land-Use and Land-Cover Change, LUCC)作为人类经济活动与自然之间的桥梁, 是国际气候、环境变化的重要研究内容之一^[1-4]. 土地利用变化监测受到各界学者的关注. 随着国家的发展、科技的进步, 遥感技术在土地利用变化监测中得到广泛应用, 且应用最多的是光学遥感影像. 但光学影像难以应用于地处高原山区的贵州地区, 受该地区特殊天气地形影响, 获取的光学影像数据可用度不高^[5-6]. 而具有全天时、全天候的合成孔径雷达数据(Synthetic Aperture Radar, SAR)逐渐受到重视^[7-9]. 国外 90 年代就将 SAR 数据应用于变化监测领域, 并取得一定的研究进展^[10-11]. 由于 SAR 数据的获取较难且中国地形地貌各异, 国内利用 SAR 数据开展监测工作相对较少^[12]. 目前常用的雷达数据主要有 ERS-1/2, JERS-1, Radarsat-1 及 ENVISAT 等^[13]. 但这些 SAR 数据获取较难且费用昂贵. 目前主要研究有: 邵云等^[14]探讨了广东省利用 SAR 数据的后向散射模型模拟计算水稻后向散射系数, 并与雷达卫星作对比, 实现了 SAR 数据在农业领域的应用优势; 楼立明等^[15]提出利用 SPOT5 影像对浙江地区的土地利用变化进行监测, 及时获取了土地变化信息; 陈劲松等^[16]综合了 Landsat 数据和 TerraSAR 数据并借助决策树法对广东省的土地利用变化进行分类, 获取了高精度的土地分类信息. 这些研究多是利用光学影像或利用雷达数据监测平坦地区的土地利用变化. 本研究为探讨 SAR 数据在贵州多山地区土地利用变化监测中的应

① 收稿日期: 2016-03-10

基金项目: 贵州省科学技术基金项目(黔科合 J 字[2014]2127); 国家自然科学基金项目(41161002); 贵州省省长基金项目(黔省专合字(2011)46 号).

作者简介: 韩可欣(1990-), 女, 内蒙古赤峰人, 硕士研究生, 主要从事地理信息系统与遥感应用的研究.

通信作者: 刘绥华, 副教授.

用,利用可免费获取的 Sentinel-1A(哨兵)数据的灰度信息,对贵州省安顺机场附近土地利用变化进行实时监测.由于该区作为西部开发的五大新开发区之一,目前正处于建设时期,短时期内地表会变化,因此选此为研究区并利用哨兵数据进行短期监测有助于了解区域发展情况.利用 Sentinel-1A 数据进行监测,其优势体现在影像时间间隔短、数据易获取,可有效避免气候条件的影响,实用性高.

1 研究区与研究数据

1.1 研究区概况

研究区($105^{\circ}50'-105^{\circ}59'E$, $26^{\circ}12'-26^{\circ}18'N$)位于贵州省安顺市西北部,总面积 155 km^2 ,仅占安顺市面积的 1.7% .主要气候类型为湿润的亚热带季风气候,多云、雨天气;地形较复杂,地表崎岖,多岩石裸露,岩溶地貌广泛发育.主要分布的岩溶地貌类型有高原、山地、盆地及丘陵,无平原地貌发育,海拔 $1\,100\sim1\,694\text{ m}$.植被主要为中亚热带常绿阔叶林,黄壤、石灰土等土壤类型分布较广.我国典型的喀斯特地貌主要发育于此.

1.2 数据来源与处理

1.2.1 数据来源

本研究采用的 Sentinel-1A 雷达数据来源于欧洲航天局(ESA),属单极化多时相数据(表 1),在 The Sentinel-1 Scientific Data Hub(<https://scihub.esa.int>)网站可免费获取;空间分辨率为 $30\text{ m}\times30\text{ m}$ 的 Landsat8 多光谱数据;空间分辨率为 $30\text{ m}\times30\text{ m}$ 的贵州省 DEM 数据.

表 1 雷达高分辨率数据模式基本参数

卫星	Sentinel-1A	传感器	SAR-C
产品类型	GRD	极化方式	VV
分辨率/m	10×10	波段	C
覆盖周期/天	12	幅宽/km	250
成像时间	2014-10-04, 2015-05-08	模式	IW(干涉宽幅模式)

1.2.2 数据预处理

雷达数据处理方法与传统影像的处理一致,但由于特殊的成像机理,致使雷达成像数据发生扭转等几何畸变及辐射畸变,造成影像变形较大.因此,哨兵数据的处理与光学影像有区别.本研究基于 SENTINEL-1 Toolbox1.0.3 及 ENVI5.1 软件,对雷达数据进行滤波、多视、多时相地理编码、地形辐射校正及重投影等预处理. TM 数据进行一般的大气校正、几何校正和图像增强等处理(图 1).

雷达成像机理的特殊性使影像易形成斑点噪声,影像质量降低,因此

在不影响分辨率的情况下对雷达影像滤波去噪处理十分必要.目前,应用较普遍的滤波器有均值滤波、Lee 滤波、中值滤波、Gamma MAP 滤波及 Frost 滤波^[17].多次试验发现, Sentinel-1A 数据主要采用滤波窗口为 5×5 的 Frost 滤波,可以提高影像的亮度与清晰度,地物信息更易识别(图 2).

为得到精确结果,还需对哨兵数据进行高精度地理编码处理.一般意义上雷达影像的地理编码处理与

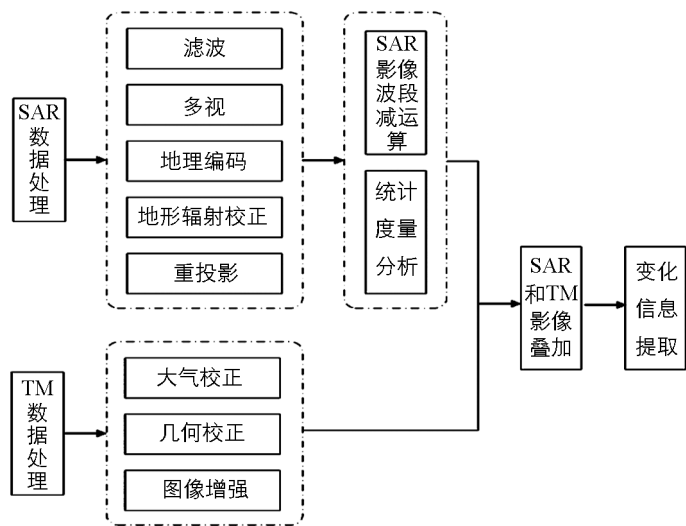


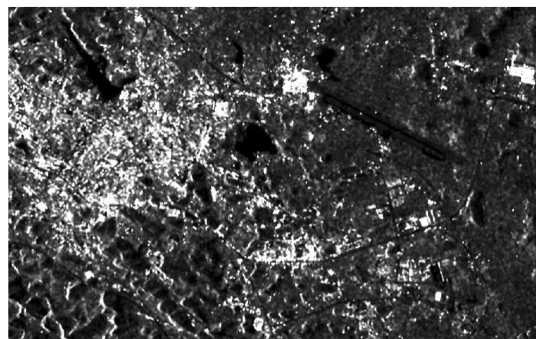
图 1 技术路线流程图

光学影像的地理配准、几何校正含义相近, 主要是为控制雷达成像时几何变形. 本研究以 TM 数据为基准影像, 控制点采用 3 次卷积的方法对哨兵数据进行高精度影像间的地理编码处理. 控制点均匀分布在研究区内, 误差精度控制在 1 个像素内.

常用的 SAR 影像的成像实质是由一维成像扩展到二维成像再经合成孔径变成三维成像, 便于识别地物信息^[18]. 由于 SAR 数据成像机理的特殊性及贵州地区地形起伏大, 导致 SAR 影像倾斜或投影误差. 而地形辐射校正主要是对山区地形导致雷达影像发生辐射畸变的校正, 以使研究所需影像更加精确. 因此, 对地理编码后的 SAR 数据以及辅助 DEM 数据进行地形辐射校正至关重要.



(a) 滤波前对比图



(b) 滤波后对比图

图 2 SAR 影像滤波前(a)、滤波后(b)对比图

2 研究方法

目前, 针对多时相影像数据提取土地利用变化信息的方法主要有灰度图像差值法、灰度图像比值法、植被指数法以及主成分差值比较法等^[19]. 考虑到本研究所使用的雷达影像数据分辨率较高, 目标地物易识别, 且为单波段数据, 本研究采用直接比较法中的灰度图像差值法提取土地利用变化信息.

灰度图像差值法主要对不同时相的影像灰度值之间进行相减运算, 得到反映影像变化信息的差值图^[20]. 计算公式如下^[21]:

$$Dx_{ij} = Bx_{ij}^{t_2} - Bx_{ij}^{t_1} \quad (1)$$

式中: Dx_{ij} 为 2 个不同时相雷达影像像元的灰度差值; $Bx_{ij}^{t_2}, Bx_{ij}^{t_1}$ 为 t_2, t_1 2 个时相的雷达影像灰度值; i, j 为影像像元的行列号.

公式(1)是直接运用波段相减对影像进行处理, 但直接运用波段相减所得结果并不理想, 存在一些伪变化, 因此需要对差值结果进行统计处理. 如果差值图像中像元灰度值能满足公式(2), 则此差值图像中像元灰度值就可视为变化的像元^[22]. 需满足的公式如下^[22]:

$$|G_p - M| \geq T \times STD \quad (2)$$

式中: G_p 为差值影像像元灰度值; M 为差值图像灰度值统计均值; STD 为差值图像灰度值统计的标准差; T 为变化阈值.

研究中变化阈值的设置极其重要. 本研究通过反复试验, 并结合研究区的土地利用变化信息能否有效提取, 综合分析后选定合适的阈值. 一般情况下, 选取的变化阈值只考虑波段减法所得图像的统计特征. 直接利用影像灰度值进行波段减运算, 可得出直观的变化图像, 但由于不同时期物候不同, 且本研究区地处高原山区, 所获取的变化信息会有伪变化, 不能真实客观地反映土地利用变化情况, 若要降低伪变化的影响, 可利用统计学做定量分析, 以获得变化阈值. 但考虑到研究区地形的特殊性, 气候因素且研究时间间隔较短, 本研究利用统计学分析法, 将定性和定量分析相结合, 借助整体图像的标准差和平均值之间的关系来确定阈值变化区间, 以此提高结果的精确度(表 2). 最终得出阈值变化区间为 $[-0.4 \sim 3.6]$.

表 2 研究区土地利用变化差值图像定量统计分析

均值	27.741 7	标准差	62.895 2
上限值	255	下限值	0

3 结果与分析

3.1 土地利用变化特征分析

将预处理后的 SAR 影像灰度值进行波段减处理, 获取雷达影像变化信息(图 3). 图 3 显示的是变化和未变化信息, 结果简单直观. 一般而言, 未变化的地物在 2 个时相的遥感影像上灰度值差异无统计学意义; 而变化的地物在 2 个时相的遥感影像上相同位置的灰度值差异有统计学意义. 图 3 中, 影像发生变化的部分用黑色调显示, 表示 2 个时相的雷达影像减运算后灰度值不为零值, 变化的地物信息可直观显现; 未发生变化的部分用白色调显示, 表示 2 个时相的雷达影像减运算后灰度值为零值, 呈现出来的地物信息是不变的.

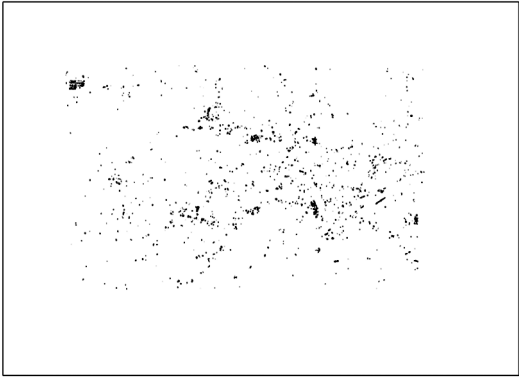


图 3 波段差值图

3.2 土地利用变化监测空间分析

利用统计度量得到阈值区间为 $[-0.4 \sim 3.6]$, 再利用灰度图像差值法得到土地利用变化信息. 将处理后的数据与 TM 数据叠加, 得到土地利用信息变化图像(图 4). 对不同时相雷达影像灰度值减运算处理, 并借助统计分析得到变化阈值区间. 受传感器几何参数、研究区特殊的地形及气候的影响, 同一地物不同时相的雷达影像灰

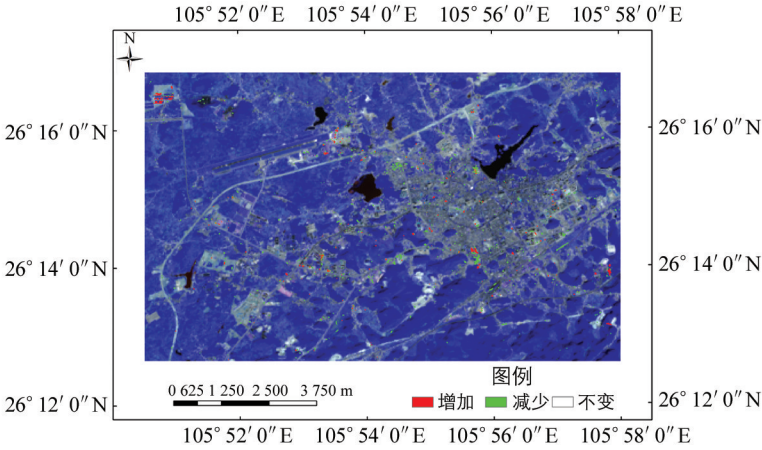


图 4 土地利用变化信息提取

度值存在差异, 若灰度值差异无统计学意义则介于阈值区间内, 灰度值差异有统计学意义则介于阈值区间外. 换言之, 若差值后的灰度值介于 $[-0.4 \sim 3.6]$ 外为变化信息, 灰度值介于 $[-0.4 \sim 3.6]$ 内则为未变化信息. 图 4 中呈红色调的代表影像灰度差值大于 3.6, 表明由第一时相到第二时相雷达影像中的地物呈增加变化; 呈绿色调的代表差值影像的灰度差值小于 -0.4 , 表明由第一时相到第二时相雷达影像中的地物呈减少变化; 而无色的代表差值影像的灰度值介于变化阈值范围内, 表明由第一时相到第二时相雷达影像中的地物差异无统计学意义.

由图 4 可知, 影像中发生变化的地物是城市建设用地和植被, 未发生变化的地物是水体. 具体而言, 研究区西北部的建设用地呈增加趋势, 东南部的建设用地呈减少趋势. 研究区周围有少量植被增加. 由于研究采用了相差 7 个月的雷达影像数据, 时间间隔较短, 整体地物变化差异无统计学意义, 基本保持稳定发展的状态.

3.3 土地利用变化监测准确率评价

本研究采用与雷达影像同一时期的两景 TM 光学影像数据, 提取林地、草地、耕地、水体及建设用地五大类典型地物(图 5). 借助混淆矩阵法对土地利用变化结果进行精度验证, 确定结果准确性和可靠性.

对比图 4 和图 5 可知, SAR 数据和 TM 数据探测土地利用变化情况优势各异. 雷达数据获取的土地利

用变化信息简单直观,可直接探测出土地利用变化信息;TM 数据获取的土地利用信息丰富,可呈现出变化的地类类型. 根据图 5 中的典型地物,统计出土地利用类型的面积信息(表 3). 由表 3 可知,就研究区土地利用变化整体而言,地物差异无统计学意义,基本保持稳定的状态. 具体而言,地物信息差异有统计学意义的是耕地和建设用地,其他地物信息差异无统计学意义. 这与哨兵数据得到的土地利用变化信息情况基本一致,说明选取的阈值变化区间是合适的.

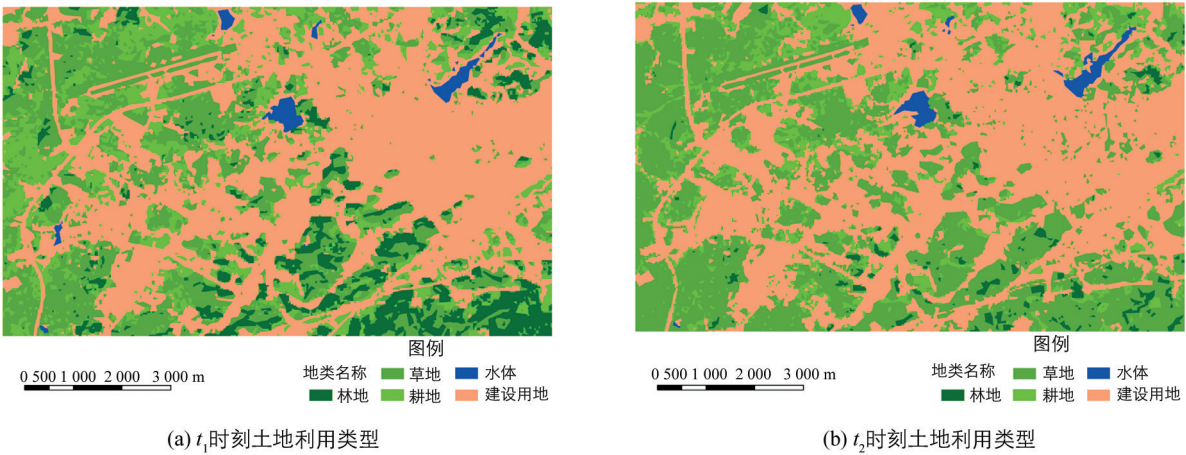


图 5 土地利用分类结果图

表 3 土地利用类型面积变化信息

名 称	林地	草地	耕地	建设用地	水体
t_1 时刻面积/km ²	6.713 8	19.256 4	12.464 7	36.905 7	0.799 3
t_2 时刻面积/km ²	6.718 3	19.365 8	13.131 9	37.941 6	0.799 4

为验证提取的土地利用类型变化信息的可靠性,本研究利用混淆矩阵法对其进行准确率评价,采用的评价因子为总准确率和 *Kappa* 统计指数(表 4). 由表 4 可知,获取的土地利用变化信息的总准确率较高,均超过 80%,而 *Kappa* 统计指数也达到 0.7 以上,基本符合数据统计分析的一般准确率要求,这与本研究中提取的土地利用信息变化情况一致. 由此可知,本研究选取的阈值变化区间是准确的,也是最佳的. 提取的土地利用变化信息精确度较高,与实际情况相符合.

表 4—1 土地利用变化信息准确率评价(2014—10—09 图像)

分类数据\验证数据	林地	草地	耕地	建设用地	水体
林地	112	52	1	0	0
草地	3	141	21	0	0
耕地	1	0	68	4	0
建设用地	1	0	36	192	9
水体	0	0	0	0	167

注:总准确率(Overall Accuracy)=84.158 4%; *Kappa* 统计指数=0.799 8.

表 4—2 土地利用变化信息准确率评价(2015—05—08 图像)

分类数据\验证数据	林地	草地	耕地	建设用地	水体
林地	103	0	5	0	0
草地	14	191	47	4	5
耕地	0	1	48	0	0
建设用地	0	1	26	182	14
水体	0	0	0	10	154

注:总准确率(Overall Accuracy)=84.223 6%; *Kappa* 统计指数=0.798 3.

4 结束语

1) 通过雷达影像得到的差值结果,可直观显现地物变化情况.但受雷达影像配准精度限制以及研究区地形、气候等的影响,所获取的变化信息不准确,存在伪变化,需结合统计学方法,由统计度量结果获取阈值的上下限值,即变化区间.

2) 为探测研究区土地利用变化,可利用变化阈值的设定及借助灰度图像差值法提取出土地利用变化信息.提取的变化信息可表现研究区地物差异是否有统计学意义,能较好反映各区域各地物类型变化情况,并分析出雷达影像中地物变化趋势.

3) 本研究对 Sentinel-1A 数据的实用性进行了验证,实现了对研究区土地利用变化的动态监测,并结合定量统计分析获取灰度值变化情况和变化阈值范围.利用精度评价分析验证了阈值区间的可适用性及获取的土地利用变化信息的准确性.

4) 到目前为止, Sentinel-1A 数据有些参数尚不成熟,包含的信息较单一.因此,本研究仅采用该数据进行短期土地利用动态变化监测,获取土地利用变化信息,并分析验证在高原山区的有效使用情况,但究竟是何种地类发生变化则有待进一步研究.

参考文献:

- [1] 王小玉,张安明,邹小红,等.重庆市土地利用变化及驱动机制研究[J].西南大学学报(自然科学版),2009,31(2): 146—151.
- [2] 张佰林,杨庆媛,冯应斌,等.土地利用变化对重庆区域经济发展的影响[J].西南大学学报(自然科学版),2011,33(4): 151—155.
- [3] STERLING S M, DUCHARNE A, POLCHER J. The Impact of Global Land-Cover Change on the Terrestrial Water Cycle [J]. Nature Climate Change, 2013, 3(4): 385—390.
- [4] 杜国明,匡文慧,孟凡浩,等.巴西土地利用/覆盖变化时空格局及驱动因素[J].地理科学进展,2015,34(1): 73—82.
- [5] 曹银璇,张继贤,燕 琴,等. RADARSAT 影像在土地利用动态监测中的应用[J].测绘科学,2005,30(4): 57—59.
- [6] 温 礼,程 博,柴 渊,等. SAR 遥感数据监测土地利用变化的研究[J].测绘科学,2014,39(6): 65—69.
- [7] 邵 云,郭华东,范湘涛,等.水稻时域散射特征分析及其应用研究[J].遥感学报,2001,5(5): 340—345.
- [8] 李章成,李源洪,周华茂.基于 ALOS_PALSAR 双极化雷达影像遥感监测水稻的研究—以德阳地区为例[J].西南师范大学学报(自然科学版),2012,37(6): 62—67.
- [9] 许 璟,安裕伦,刘绥华,等.高原山区星载合成孔径雷达数据与多光谱数据的图像融合研究[J].地球与环境,2015,43(4): 457—463.
- [10] RIGNOT E J M, ZYL J J V. Change Detection Techniques for ERS-1 SAR Data [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1993, 31(4): 896—906.
- [11] BOVOLO F, BRUZZONE L. A Detail-Preserving Scale-Driven Approach to Change Detection in Multitemporal SAR Images [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2005, 43(12): 2963—2972.
- [12] 尤红建,傅 琨.基于分布模型差异的 SAR 变化检测[J].武汉大学学报(信息科学版),2008,33(5): 454—456.
- [13] 陈富龙,王 超,张 红.基于智能 CASE 库的多时相 SAR 影像分类方法——土地利用及变化监测[J].遥感技术与应用,2007,22(2): 204—209.
- [14] 邵 云,廖静娟,范湘涛,等.水稻时域后向散射特性分析:雷达卫星观测与模型模拟结果对比[J].遥感学报,2002,6(6): 440—450.
- [15] 楼立明,刘卫东,冯秀丽.基于高分辨率遥感影像的土地利用变化监测[J].遥感技术与应用,2004,19(1): 30—33.
- [16] 陈劲松,韩 宇,陈 工,等.基于多源遥感信息融合的广东省土地利用分类方法[J].生态学报,2014,34(24): 7233—7242.
- [17] 王树文,尹 杰,黄明祥. ERS-2PRI 去噪评价及其在土地利用/覆盖分类中的应用[J].地理与地理信息科学,2008,24(1): 43—45.

[18] 林 琿, 马培峰, 陈 旻, 等. SAR 层析成像的基本原理、关键技术和应用领域 [J]. 测绘地理信息, 2015, 40(3): 1—5.

[19] 陈 宇, 杜培军, 唐伟成, 等. 基于 BJ-1 小卫星遥感数据的矿区土地覆盖变化检测 [J]. 国土资源遥感, 2011, 3(23): 146—150.

[20] 张军团, 林 君. 基于二阶灰度统计特征的 SAR 图像变化检测 [J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2008, 26(5): 536—541.

[21] 王东广, 肖鹏峰, 宋晓群, 等. 结合纹理信息的高分辨率遥感图像变化检测方法 [J]. 国土资源遥感, 2012, 4(24): 76—81.

[22] 范海生, 马葛乃, 李 京. 采用图像差值法提取土地利用变化信息方法——以攀枝花仁和区为例 [J]. 遥感学报, 2001, 5(1): 75—80.

Application of Sentinel-1A Data in Short-Term Monitoring of Land Use in Mountainous Plateau Areas

——A Case Study of Anshun City, Guizhou Province, China

HAN Ke-xin^{1,2}, LIU Sui-hua^{1,2}, XU Jing³, AN Yu-lun^{1,2}

1. School of Geographic and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China;
2. Guizhou Mountain Resources and Environmental Remote Sensing Application Laboratory, Guiyang 550001, China;
3. School of Architecture and Engineering, Huangshan University, Huangshan Anhui 245021, China

Abstract: To promote the application of radar data in plateau areas, a preliminary research was made of the feasibility of spaceborne Sentinel-1A radar data for monitoring land use in a short time with Anshun city of Guizhou Provice chosen as the study area, using single polarization and multi-temporal SAR data in combination with the auxiliary remote sensing image data and DEM digital elevation data, and based on the gray image difference method and the confusion matrix method. The results showed that the information of land use change obtained with gray image difference method was simple and clear, though with some pseudo-change; that the scope of the threshold of land use change ranged from -0.4 to 3.6 , the information extracted from the land use change of urban construction land and vegetation being significant statistically while that of water body being non-significant statistically; and that the total monitoring accuracy rate of the change information averaged 80% and $Kappa$ coefficients were above 0.7 , both meeting the general accuracy requirements of statistical analysis. In conclusion, Sentinel-1A radar data can meet the standards for practical application in monitoring land use change in mountain plateaus and, if employed in combination with DEM, they can effectively reduce the effects of high-altitude mountainous terrain and climate factors.

Key words: land use; synthetic aperture radar (SAR); gray image difference method; confusion matrix

