

文章编号: 1008-2786-(2018)4-654-06

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000361

# 半自动面向对象高分遥感地灾目标提取方法

王 鹏<sup>1</sup>, 葛 洁<sup>1</sup>, 方 峰<sup>1</sup>, 赵国兵<sup>1</sup>, 孙根云<sup>2</sup>

(1. 四川省国土勘测规划研究院, 成都 610045; 2. 中国石油大学(华东) 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580)

**摘 要:** 滑坡与泥石流等类型地质灾害发生后, 快速准确的提取地质灾害信息对于灾害评估、救援具有重要意义。随着航空、航天技术的发展, 具有宏观、快速、准确优势的遥感技术越来越多的应用于地灾分析。然而, 在遥感影像上直接利用人工解译的工作方式费时费力, 而计算机自动解译精度低。对此, 本文提出一种半自动地灾目标提取方法。首先通过人机交互的方式进行简单的地灾目标标记, 然后基于均值漂移算法进行图像分割, 基于光谱直方图度量相邻分割块的相似性。最后融合标记信息和相似测度, 以最小代价区域合并的方式提取目标。实验结果表明本文方法能够以很高的精度提取地灾目标, 整体精度高于 95%, Kappa 系数优于 0.90。

**关键词:** 地质灾害; 图像分割; 半自动; 高分辨率遥感

**中图分类号:** P237

**文献标志码:** A

地质灾害主要包括塌方、滑坡与泥石流等, 致灾力巨大<sup>[1]</sup>。受灾后, 政府迫切需要快速、准确的进行地灾评估, 为应急救援和指挥提供数据支撑。随着航空、航天遥感技术的发展, 高分辨率遥感技术越来越多的应用于地灾分析, 其首要任务是识别并提取灾害目标<sup>[2, 3]</sup>。除光学遥感外, InSAR、LIDAR 等技术也获得了广泛的关注<sup>[4]</sup>。

许多学者依靠机器学习和计算机视觉理论提取地灾目标。其中, 面向对象的图像分析方法具有更好的适用性, 得到大量关注<sup>[2, 5]</sup>。然而, 由于地质灾害遥感图像的复杂性, 计算机自动提取难以满足快速、准确的需求<sup>[6]</sup>。半自动方法能够充分利用人机交互的优势, 成为研究的热点<sup>[7, 8]</sup>。尽管存在多种半自动目标提取方法, 如 GrabCut<sup>[9]</sup>、Lazy Snapping<sup>[10]</sup>等。但是这些方法一般基于像元分析, 而且仅能提取一类目标, 不能同时提取多类目标, 这限制了半自动方法在地灾目标提取中的应用。

为更高效、准确的提取地灾信息, 本文提出一种

面向对象的半自动的地灾目标提取方法。首先, 通过人机交互的方式标记目标; 然后, 由均值漂移 (Mean Shift, MS) 图像分割算法<sup>[11]</sup>得到初始对象, 通过光谱直方图进行对象相似测度; 最后, 基于最小代价准则, 通过对象合并的方式提取目标。

## 1 算法介绍

本文提出了一种半自动的地灾目标提取算法, 该算法既具有面向对象图像分析的优点, 又具有半自动方法半自动的优势。其整体流程如图 1 所示。本算法的核心是对象合并, 其主要创新概括为如下两个方面:

(1) 为快速、准确的提取目标, 将面向对象的图像分析思想融入到人机交互式方法。以合并相邻对象的方式提取目标, 综合了交互式半自动方法和面向对象方法的优势, 不仅发挥了人工判读的优势, 而且更丰富的利用地灾体的图像特征, 还减少了分析

收稿日期 (Received date): 2017-03-08; 改回日期 (Accepted date): 2018-8-26

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金项目 (41471353)。[National Natural Science Foundation of China (41471353)]

作者简介 (Biography): 王鹏 (1990-), 男, 山东潍坊人, 硕士, 主要研究方向: 遥感图像目标识别与信息提取。[WANG Peng (1990-), male, born in Weifang, Shandong province, M. E., research on remote sensing image based target recognition and information extraction] E-mail: wangpeng187@126.com

基元的数目。

(2) 为同步提取多类、多个目标,提出融合多类标记和对象相似测度的最小合并代价准则,使算法能够同时提取两类以上的多个目标,使算法在地灾提取应用中更具针对性。

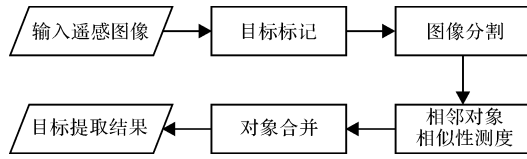


图1 半自动地灾目标提取算法流程

Fig.1 Flow chart of interactive geological disaster extraction

### 1.1 初始分割和交互式标记

图2a中滑坡和堰塞湖都是地灾信息提取的关键要素,需要同时准确提取滑坡和堰塞湖两类目标对象。本文在初始分割的基础上进行线划式标记,使用蓝线表示背景,绿线和黄线分别表示滑坡和堰塞湖。

如图2b所示,用户仅标记了小部分对象。根据标记类型,对象可以归类为:目标标记对象,背景标记对象和未标记对象。为方便讨论,分别用  $L_o$  和  $L_B$  表示目标标记和背景标记对象的集合,用  $L_N$  表示未标记对象的集合。

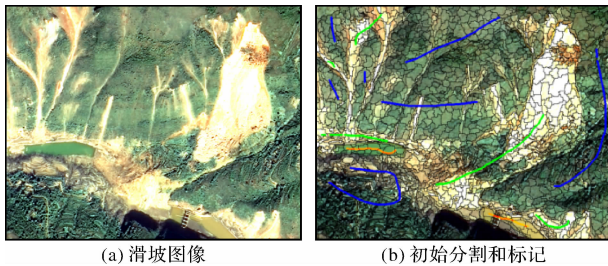


图2 滑坡图像初始分割和标记

Fig.2 Landslide image initial segmentation and marker

### 1.2 基于光谱直方图的区域相似测度

一般的对象特征,如光谱均值、形状等,面对复杂的地灾体很难奏效<sup>[7]</sup>。光谱直方图接近人眼视觉响应<sup>[12]</sup>,不仅能够描述对象的全局特征,而且对噪声、光照变化和纹理具有较强的鲁棒性,能够更好的区分不同地灾目标。因而,本文构造光谱直方图来描述对象特征。首先将光谱向量量化为  $16^n$  个箱格,其中  $n$  为波段数目;然后计算每个对象的直方图  $Hist_R^u$ :

$$Hist_R^u = \sum_{x \in R} \int_{z_1}^{z_2} \delta(z - R(\mathbf{X})) dz \quad (1)$$

其中,其中  $R$  表示对象标号,  $u$  表示箱格号,  $\mathbf{X}$  表示对象  $R$  中像元的位置,  $z_1, z_2$  为箱格  $u$  的上下界,  $z$  为像元的光谱索引值,  $\delta$  为狄拉克函数。利用对象光谱直方图,定义如下相似测度表征对象  $Q$  和  $R$  的相似度:

$$\rho(Q, R) = \sum_{u=1}^{16^n} \sqrt{Hist_R^u \cdot Hist_Q^u} \quad (2)$$

对象  $Q$  和  $R$  的相似度  $\rho(Q, R)$  能够充分描述对象之间的相似性。相应的,相邻对象  $Q$  与  $R$  合并的代价函数可以表示为:

$$F(Q, R) = \frac{1}{\rho(Q, R)} \quad (3)$$

代价函数表征了两个对象合并的误差大小。要得到理想的目标提取结果,需要使整体的代价最低。

### 1.3 基于最小代价的对象合并

对象合并可视作代价函数的极值优化问题<sup>[13]</sup>,目标是使整体代价最低,即:

$$\sum_{Q \in L_N, R \in S_Q \& (L_B \parallel L_Q)} F(Q, R) = \min \quad (4)$$

其中,  $S_Q$  表示对象  $Q$  的相邻区域所构成的集合,公式(4)反映了将未标记对象合并到已标记对象的整体代价。

基于公式(4),通过迭代合并逐步将未标记对象合并到已标记对象,使得整体合并代价最小,从而实现目标提取。合并过程分为两个阶段:

第一阶段,未标记对象与背景标记对象合并,迭代增长背景区域。当背景区域停止增长则进入第二阶段;

第二阶段,自适应地合并未标记对象,包括未标记对象与目标对象合并、未标记对象间相互合并。两阶段迭代执行,因而每个对象都能得到正确的类别,使算法收敛。

经过初始分割和交互式标记地灾目标、以最小代价准则为基础的迭代对象合并,本文可以有针对性的提取遥感图像中的地灾目标。

## 2 实验验证和分析

### 2.1 实验方法

地震滑坡、塌方、堰塞湖以及道路损毁是常见的地灾类型,若多种灾害并发,环境更加复杂,分析判

别的难度更大。本文选取环境复杂的地灾目标作为实验对象。首先,通过人工解译获取准确的目标边界作为真实数据进行参考。然后,通过定性和定量的对比分析,分析本文方法相对于其他方法的优越性。

以基于规则集的面向对象方法<sup>[14]</sup>和 GrabCut 算法<sup>[9]</sup>作为比对实验方法,两者分别是具有代表性的自动方法和半自动方法。为保证对比实验的公平可靠,对于前者,本文根据文献<sup>[14]</sup>的自动面向对象方法,借助遥感图像处理软件 eCognition 9.0,通过分析目标特征和建立规则集的方式提取目标。对于后者,本文使用 OpenCV 提供的 GrabCut 算法<sup>[9]</sup>。GrabCut 算法是基于像元的半自动方法,可以输入与本文方法类似的线划式标记,有效的从复杂背景中提取前景目标。

2.2 滑坡和堰塞湖实验

该实验对象是由地震诱发的滑坡以及滑坡进一步引发的次生堰塞湖,实验目标是提取滑坡和堰塞湖。在图 2 中可以看出,地震导致牛栏江红石岩水电站上游发生山体滑坡,滑坡体倾入江中,导致江水被阻断,形成两处堰塞湖。部分滑坡体表面的植被覆盖完好,与非滑坡植被具有十分相似的光谱特征。在这种情况下,准确提取滑坡和堰塞湖具有很高的难度,如面向对象自动提取很难区分滑坡表面的植被和非滑坡植被。

根据观察和分析,滑坡体亮度(Brightness)高,而且缺少植被覆盖,可以通过亮度和归一化植被指

数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)识别,水体可以通过归一化水体指数(Normalized Difference Water Index, NDWI)识别。具体规则设置为:滑坡体(NDVI < 0 && Brightness > 240),水体(NDWI > 0.45 && Brightness < 176)。经过分析和反复实验,自动的面向对象提取结果如图 3b 所示,其中黑色轮廓线表示图像分割边界,绿色和红色掩膜分别表示滑坡和堰塞湖区域。

从图 3b 可以看出,由于滑坡体表面存在植被,该方法漏检测一部分滑坡。另外,由于水体中含有高浓度的泥沙,容易与其他地类混淆,导致堰塞湖也没有被完整提取。该方法滑坡和堰塞湖具有很高的用户精度,但是很低的生产者精度,而背景的生产者精度很高,用户精度较低。说明目标被较多的错误识别为背景,因而其整体精度和 Kappa 系数都较低,分别为 92.30% 和 0.82,详见表 1。

由于 GrabCut 方法只能将图像分为目标和背景,因此本文在使用 GrabCut 方法时,将滑坡和堰塞湖共同作为地灾目标提取,如图 3c 所示。图 3c 叠加显示了如下两方面的信息:(1) 用户所输入的标记。其中,红色标记表示目标,蓝色标记表示背景;(2) 目标提取的结果。为求简便,仅保留了目标区域,掩藏了背景区域,并将其显示为白色。从图 3c 可以看出,尽管用户输入了足量的标记信息,但是 GrabCut 算法将许多林地错分为滑坡,提取的精度不高。该方法滑坡具有很高的生产者精度,但是很低的用户精度,而背景与之相反。说明背景被较多的错分为目标,因而其整体精度和 Kappa 系数都非常低,仅为 76.83% 和 0.53,见表 1。

表 1 滑坡和堰塞湖提取精度

Tab. 1 Extraction accuracy of landslide and barrier lakes

%	自动面向对象		GrabCut		本文方法	
	PA	UA	PA	UA	PA	UA
背景	98.66	90.83	69.68	96.09	97.73	96.18
滑坡	79.41	96.23	98.42	57.06	90.93	94.00
堰塞湖	70.67	100.00	—	—	96.87	97.06
OA	92.30		76.83		95.71	
Kappa	82.00		53.00		90.00	
OA:整体精度			PA:生产者精度		UA:用户精度	

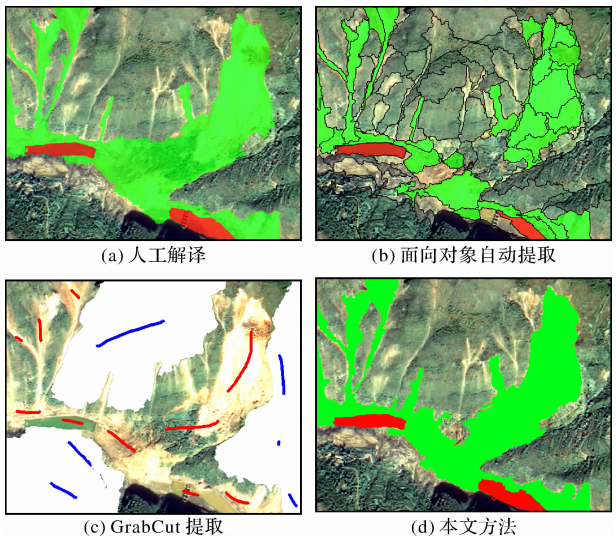


图 3 滑坡和堰塞湖提取

Fig. 3 Landslide and barrier lakes extraction



从图3中可以看出,本文方法提取的结果与人工解译结果十分接近,提取的精度显著高于另外两种方法。本文方法用户精度和生产者精度高且均衡,整体精度和 Kappa 系数分别为 95.71% 和 0.90,明显高于另外两种方法,详见表1。

2.3 塌方和道路试验

地震塌方导致的道路损毁也是一种常见的地灾类型,提取其中的塌方体和道路对灾害评估和救援具有重要意义。图4a是2013年芦山地震的一处塌方,道路被阻断。

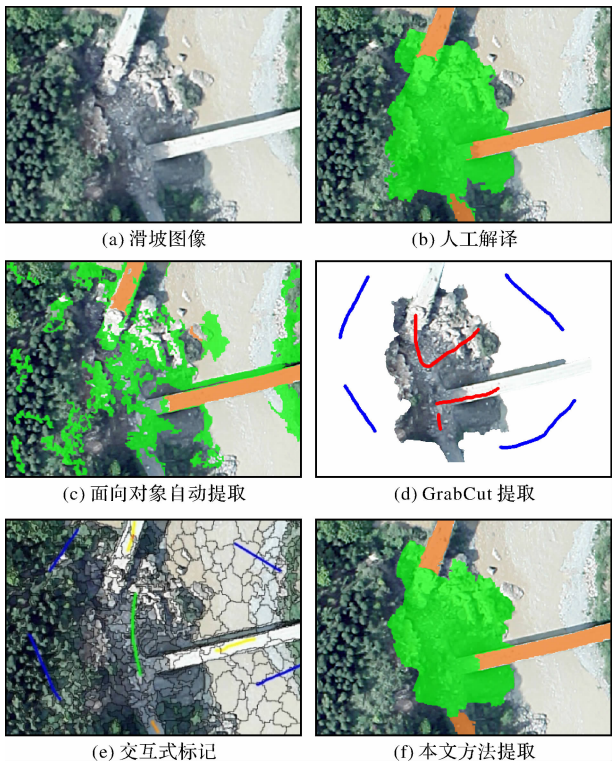


图4 塌方和损毁道路提取

Fig. 4 Rock collapse and damaged roads extraction

图4b是人工解译结果,其中绿色表示塌方体,棕黄色表示道路。图4c是面向对象自动提取结果,其中,道路被较好的提取,但是塌方提取的结果较差,其整体精度仅达到 69.67%, Kappa 系数为 0.27,详见表2。图4d是 GrabCut 的标记和对应的提取结果,GrabCut 方法不能区分道路和塌方,其整体精度达到 90.94%, Kappa 系数为 0.76,见表2。

图4e是按照本文方法的输入信息,其中绿线表示塌方目标,棕线表示道路,蓝线表示背景。图4f是本文的提取结果,塌方体和道路都被完整的提取,

并且与人工解译结果(图4b)十分接近,两类目标的用户精度和生产者精度高且均衡,说明本文方法错分的情况少,其整体精度高达 97.08%, Kappa 系数为 0.93,详见表2。

表2 塌方和损毁道路提取精度

Tab. 2 Extraction accuracy of rock collapse and road

% %	自动面向对象 自动面向对象		GrabCut		本文方法	
	PA	UA	PA	UA	PA	UA
背景	81.30	78.23	92.36	95.58	90.74	96.09
塌方	29.37	32.05	86.40	78.02	90.74	96.09
道路	83.05	100.00	—	—	96.30	99.98
OA	69.67		90.94		97.08	
Kappa	27.00		76.00		93.00	
OA:整体精度		PA:生产者精度		UA:用户精度		

综上所述,本文方法在提取地质灾害目标方面具有一定的优越性,相比于自动的面向对象方法,本文提出的方法能够有效的借助人工输入的信息完成目标提取工作,无需专业人员进行复杂的特征分析和参数设置,避免了复杂的图像特征分析过程导致的不确定性问题;相比其他半自动方法,如 GrabCut 方法,本文不仅具有更高的精度,而且可逐一区分灾害体类型,这是因为本文运用了面向对象的图像分析思想并且引入了最小代价准则,通过对象级迭代合并实现目标提取,从而更有效性。

3 结论

本文提出了一种面向对象半自动高分遥感地灾目标提取方法。通过集成用户标记、图像分割、最小代价对象合并等过程,该方法兼具了面向对象图像分析方法和交互式方法的优点,试验结果表明用户只需要提供少量标记信息便可以准确的提取地灾目标,并且不受灾害类型数量、目标个数的限制。在遥感地灾信息提取时,作业员使用本文的方法大致判断地灾害发生的位置,可以快速、精确、省力的提取地灾位置,具有一定的实用性。

参考文献(References)

[1] 陶舒. 汶川地震滑坡遥感信息提取及灾害危险性评价研究[M]. 北京: 首都师范大学, 2009: 11 - 12 [TAO Shu. Information

- extraction of landslides induced by the Wenchuan earthquake and susceptibility assessment using remotely sensed data [M]. Beijing: Capital Normal University, 2009:11–12]
- [2] 安立强, 张景发, 赵福军, 汶川地震次生灾害提取——面向对象影像分类技术的应用[J]. 自然灾害学报, 2011, **20**(02): 160–168 [AN Liqiang, ZHANG Jingfa, ZHAO Fujun. Extracting secondary disaster of Wenchuan earthquake: application of object-oriented image-classifying technology [J]. Journal of Natural Disasters, 2011, **20**(02): 160–168]
- [3] 徐鹏杰, 邓磊. 遥感技术在减灾救灾中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2011, **26**(4): 512–519 [XU Pengjie, DENG Lei. Application of remote sensing in the field of disaster reduction and response [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, **26**(04): 512–519]
- [4] 敖萌, 张勤, 赵超英, 等. 改进的 CR-InSAR 技术用于四川甲居滑坡形变监测[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2017, **42**(03): 377–383 [AO Meng, ZHANG Qin, ZHAO Chaoying, et al. An improved CR-InSAR technology used for deformation monitoring in Jiaju landslide, Sichuan [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2017, **42**(3): 377–383]
- [5] 丁辉, 张茂省, 李林. 基于多特征面向对象区域滑坡现象识别[J]. 遥感技术与应用, 2013, **28**(6): 1107–1113 [DING Hui, ZHANG Maosheng, LI Lin. Regional landslide identification base on multi-feature object-oriented image classification [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2013, **28**(6): 1107–1113]
- [6] 王世博, 张大明, 罗斌, 等. 基于谱抠图的遥感图像滑坡半自动提取[J]. 计算机工程, 2012, **38**(2): 195–197 [WANG Shibo, ZHANG Daming, LUO Bin, et al. Semi-automatic landslide extraction for remote sensing image based on spectral mattin [J]. Computer Engineering, 2012, **38**(02): 195–197]
- [7] 田力, 张晓盼, 袁艳斌. 交互式遥感影像分割算法研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2014, **39**(4): 406–410. [TIAN Li, ZHANG Xiaopan, YUAN Yanbin. Interactive remote sensing image segmentation algorithm [J]. Geomatics And Information Science Of Wuhan Univers, 2014, **39**(4): 406–410]
- [8] RAU J Y, JHAN J P, RAU R J. Semiautomatic object-oriented landslide recognition scheme from multisensor optical imagery and DEM [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2014, **52**(2): 1336–1349.
- [9] ROTHER C, KOLMOGOROV V, BLAKE A. Grabcut: Interactive foreground extraction using iterated graph cuts [C]. ACM transactions on graphics (TOG). ACM, 2004, **23**(3): 309–314.
- [10] LI Y, SUN J, TANG C K, et al. Lazy snapping [C]. ACM Transactions on Graphics (ToG). ACM, 2004, **23**(3): 303–308.
- [11] Comaniciu D, Meer P. Mean shift: A robust approach toward feature space analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis And Machine Intelligence, 2002, **24**(5): 603–619.
- [12] Nummiaro K, Koller-Meier E, Van Gool L. An adaptive color-based particle filter [J]. Image and vision computing, 2003, **21**(1): 99–110.
- [13] PENG B, ZHANG L, ZHANG D. Automatic image segmentation by dynamic region merging [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, **20**(12): 3592–3605.
- [14] 张毅, 谭龙, 陈冠, 等. 基于面向对象分类法的高分辨率遥感滑坡信息提取[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2014, **50**(05): 745–750 [ZHANG Yi, TAN Long, CHEN Guan, et al. Landslide information extracted from high resolution remote sensing based on the object oriented classification method [J], Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2014, **50**(05): 745–750]

## Semi-automatic Object-oriented Geological Disaster Target Extraction based on High-resolution Remote Sensing

WANG Peng<sup>1</sup>, GE Jie<sup>1</sup>, FANG Zheng<sup>1</sup>, ZHAO Guobing<sup>1</sup>, SUN Genyun<sup>2</sup>

(1. Sichuan Institute of Land Planning and Survey, Chengdu 610045, China;

2. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266580, Shandong, China)

**Abstract:** Geological disaster is usually extremely destructive, especially the landslip, landslide and mudslide. When it occurred, rapid and accurate extraction of the geological disaster information is not only pivotal for effective damage assessment but also critical for ensuring effective relief delivery. With the development of the aerospace technology, high-resolution remote sensing image has been widely accepted as a valuable source for disaster information extraction and damage assessment due to its merits of macro, quickness and high accuracy in disaster

survey compared with traditional field survey. However, manual visual interpretation based on remote sensing images is time and labor consuming, while automatic computer interpretation is far from satisfying because of low precision. Concerning this issue, this paper proposed a semi-automatic geological disaster targets extraction algorithm. First, the geological disaster targets and background was manually marked on the remote sensing images with lines of different colors. Comparing with manual interpretation, manually marking is more labor-saving and high effective. Then mean shift algorithm was further applied to the remote sensing image to partition the whole image to multiple adjacent segments. Next, the similarity between the adjacent segments was measured with the utilization of spectral histogram. With the prior knowledge of the manual markers and the similarity measurement, the geological disaster targets were finally extracted by region merging procedure following the minimization criterion of merging cost. The proposed method was tested on various kinds of disasters with comparison of automatic object-oriented method and interactive grab cut method. The proposed semi-automatic approach not only took the advantage of the manual markers, which were important prior knowledge for target identification, but also benefits from the object-oriented image analysis paradigm. The experimental results showed that the proposed approach was capable of extracting the geological disaster targets with superiority of accuracy over automatic approach and grab cut algorithm. The overall accuracy was higher than 95% and Kappa coefficient is better than 0.9.

**Key words:** geological disasters; image segmentation; semi-automatic; high-resolution remote sensing