

引用格式:董文,沈占锋,程希萌.基于高分辨率遥感目标特征库的地震灾情快速评估方法[J].地球信息科学学报,2016,18(5):699-707. [Dong W, Shen Z F, Cheng X M. 2016. The rapid assessment method of earthquake disaster based on high-resolution remote sensing target feature library. Journal of Geo-information Science, 18(5):699-707.] DOI:10.3724/SP.J.1047.2016.00699

基于高分辨率遥感目标特征库的地震灾情快速评估方法

董文¹, 沈占锋¹, 程希萌²

1. 中国科学院遥感与数字地球研究所 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;
2. 中国地质大学(北京)信息工程学院, 北京 100083

The Rapid Assessment Method of Earthquake Disaster Based on High-Resolution Remote Sensing Target Feature Library

DONG Wen^{1*}, SHEN Zhanfeng¹ and CHENG Ximeng²

1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China;
2. School of Information Engineering, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

Abstract: High-resolution remote sensing image has become a major source of information for the rapid assessment of earthquake disaster, and it also brings new challenges to the study and application of seismic disaster information extraction methods that are based on the remote sensing. The existing methods of seismic disaster information extraction that are based on the remote sensing technology have some defects, such as the high dependence on the visual interpretation experience of researchers and the low accuracy of extraction results produced from the high-resolution images. This paper provides a rapid extraction method of the high-resolution remote sensing seismic disaster information with the integration of target feature library. Via building the high-resolution remote sensing disaster target feature library, this method is capable to provide services for the accumulation and application of disaster features based on the high-resolution images, thus to meet the purpose of reducing the dependence on the experience of researchers and improving the automation level and efficiency of disaster information extraction from remote sensing images. Regarding to the method framework description, this paper introduces several key technologies in the progress of earthquake disaster rapid assessment, which includes building the target feature library and conducting the method of sample matching and automatic classification. This paper takes the earthquake prone region of Ludian, Yunnan as an example. The study area is in the central area of Longtoushan town, and the earthquake disaster rapid assessment experiment is supported by the high-resolution remote sensing target feature library. Comparing our experimental results with the field survey results, it shows that the accuracy of the experimental results can meet the service requirements of the rapid assessment. It also shows that the rapid extraction of seismic disaster based on high-resolution remote sensing disaster target feature library can effectively reduce the labor workload and strongly improve the automation level of services. Generally, this method has a positive significance to the disaster emergency response.

Key words: earthquake disaster assessment; target feature library; automatic classification; disaster mitigation application; high-resolution remote sensing

***Corresponding author:** DONG Wen, E-mail: dongwen01@radi.ac.cn

摘要: 高分辨率遥感影像已逐步成为地震灾害快速评估的主要数据源之一,但现有的遥感地震灾害信息提取方法存在对研究

收稿日期:2015-12-15;修回日期:2016-02-16.

基金项目:国家高分辨率对地观测系统重大专项(03-Y30B06-9001-13/15-01);中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-07-02);国家自然科学基金项目(41371347,41501453)。

作者简介:董文(1983-),女,博士,助理研究员,主要从事地理时空大数据分析及应用研究。E-mail: dongwen01@radi.ac.cn

人员目视解译经验依赖性强和利用高分辨率影像提取结果精度不高的问题。因此,本文提出了一种基于目标特征库的高分辨率遥感灾害信息快速提取方法,用于提升遥感影像灾害信息提取的效率和自动化程度,并对基于目标特征库进行地震灾情快速评估的几项关键技术(目标特征库构建、样本匹配方法和自动分类方法)进行了阐述,最后,以云南鲁甸地震龙头山镇地区为研究区,基于高分辨率遥感影像在目标特征库支持下开展了地震灾情快速评估实验。通过与灾后调查数据的对比分析发现,基于高分辨率遥感灾害目标特征库的地震灾情快速评估结果在精度上可以满足灾情快速评估的业务需要,同时还具有更好的时效性。

关键词:地震灾害评估;目标特征库;自动分类;减灾应用;高分辨率遥感

1 引言

中国的自然灾害分布区域广、发生频率高,给经济建设和社会发展造成了严重的影响。以2013年为例,中国各类自然灾害造成的直接经济损失就达3373.8亿元^[1],其中,地震是造成人员死亡最多、损失最重的自然灾害。在地震灾害调查与信息提取方面,国外从20世纪60年代后期开始将航空遥感广泛应用于地震灾害调查中。目前,国内外学者对利用遥感、计算机图像处理等技术进行震害信息提取提出了多种方法,根据遥感影像分析单元的信息层次,可归纳为基于像元的震害信息提取方法^[2-5]和基于对象的震害信息提取方法^[6-10]。但是,在利用高分辨率遥感影像进行震害信息提取的实践中主要还存在2个方面的问题:(1)在影像判读、特征选择等方面主要依赖研究人员的经验,自动化程度不高;(2)针对高分辨率遥感影像的特点,还没有形成有效的震害信息提取方法和处理流程,提取结果精度不高。

实际应用中很难实现基于影像的地震灾害信息全自动提取,但通过融入先验地学知识来减少人工的参与程度方面已有不少研究可以借鉴。在计算机视觉领域,采用基于知识的视觉识别方法比较有效^[11]。在遥感领域,Durand等提出了一种基于本体的目标识别方法^[12],利用专家知识来识别目标;高伟等针对遥感信息提取中的各类知识,设计了面向遥感信息提取应用的特征知识库,并研究了特征和规则的量化表达机制和存储方法^[13]。虽然国内外在基于知识的遥感信息提取方面已经开展了不少研究,但目前特征知识库在遥感信息提取中的应用总体而言还处于科研阶段。

针对利用高分辨率遥感数据进行地震灾害信息提取应用中存在的问题,本文提出了一种基于目标特征库的高分辨率灾害信息快速提取方法。(1)通过建立专门针对高分辨率数据的灾害目标特征知识库,该知识库不仅实现高分辨率灾害目标特征

的累积和复用,提高灾情快速评估的自动化程度和效率,同时也可以逐步建立针对高分辨率影像的地震灾害信息提取知识,有效地提高地震灾害信息提取的精度,并为各类信息提取模型的优化和改进提供参考信息;(2)对基于目标特征库进行地震灾害快速评估中的几点关键技术(目标特征库构建、样本匹配和自动分类方法)进行了说明;(3)以云南鲁甸地震为例对基于目标特征库的地震灾情快速评估进行了实验,对文中提出的方法和技术流程进行了验证。

2 基于目标特征库的灾害信息快速提取方法

利用遥感影像进行灾情获取和应急决策支持的过程中,灾害信息提取和损失评估技术是准确获取灾情的关键。以往遥感灾害信息提取多以人工目视判读为主,速度慢、效率低,很大程度上依赖于业务人员的判读经验,不能满足灾害应急的时效性要求。随着计算机图像处理技术的发展,灾害信息提取的方法也逐渐向计算机半自动、自动化方向发展,为灾后应急响应和灾情快速评估提供了支持。

考虑到灾情信息对时效性和准确性具有一定的要求,本文提出一种基于高分辨率灾害目标特征库的灾害信息快速提取方法(图1),其核心是通过灾害目标模式建立遥感影像与灾害目标之间的关系。其中,灾害目标模式来源于多源遥感数据和辅助数据,通过特征提取技术可以从遥感数据提取大量图谱特征,包括光谱、形状、纹理、地形等,而辅助数据通常以矢量或约束规则的形式提供,可以作为特定的灾害目标优选特征的依据。模式的精确性直接影响灾害信息提取的准确性。而高分辨率遥感灾害目标特征库则是通过对大量高分辨率遥感灾害目标及其特征的累积,为灾害目标模式的训练、学习奠定了基础。在灾害目标分类体系和目标特征库的支撑下,通过不断训练、学习,可以对灾害

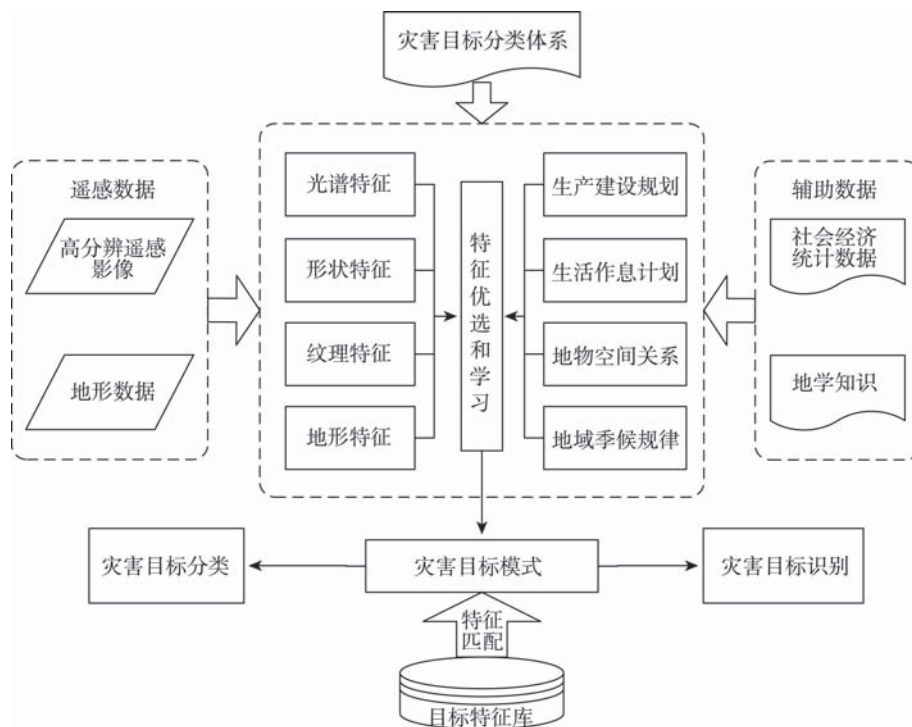


图1 基于目标特征库的灾害信息快速提取方法

Fig. 1 The method for the rapid extraction of disaster information based on target feature library

目标模式进行逐步细化,实现高分灾害目标的分类与识别,同时典型的目标地物也可以添加到目标特征库中,为后续识别服务、灾情评估和决策提供支持。

3 灾情快速评估关键技术

3.1 高分辨率遥感灾害目标特征库

高分辨率遥感灾害目标特征库专门针对高分辨率遥感影像中可识别的、在自然灾害中可能或已经遭到破坏的地物目标建立,以这些地物目标的解译特征、地物形状、主要属性等信息的存储、管理为主要功能,通过样本匹配、特征优选等方法为基于高分辨率遥感的灾害信息解译提供支撑和参考。同时,在大量地物目标信息累积的基础上,分析和挖掘高分辨率遥感影像中灾害目标识别的规律,形成解译知识,推进高分辨率遥感灾害目标自动识别技术的发展,为灾情的快速响应和其他防灾减灾应用提供决策支持。

高分辨率灾害目标特征库主要包含遥感灾害目标和灾害目标特征2部分。其中,灾害目标主要存储了目标的来源、边界、类别以及和灾害评估相关的属性,用于建立区域目标的整体知识并为灾情评估提供辅助信息。灾害目标特征主要存储了灾

害目标提取过程中的有用特征信息,构建灾害目标与影像光谱特性、纹理特征、形状特征等之间的关联知识,为灾害目标的提取与评估提供决策知识。

灾害特征依据应用方式分为人工目视解译特征和机器识别特征。针对人工目视解译特征,主要设计了灾害目标人工解译表和典型解译示例图表。灾害目标人工解译表主要记录人工解译时所需要的相关信息,包括灾害目标的细分类别、灾害目标的描述、损毁程度等;典型解译示例图表主要记录示例图的相关信息,包括图片、位置、采集时间等。灾害目标示例图表通过灾害编号、目标类型编号等信息与目标库中的灾害事件、灾害目标建立关联。机器识别特征记录了计算机识别所需要的训练样本及相关特征,主要设计了灾害地物分类类别表、地物样本表和灾害目标单体样本表等。灾害地物分类类别表主要记录不同灾害类型情况下主要地物分类体系,包括类别编号、类别名称、灾害类型编码等内容;地物样本表主要记录样本信息,包括样本的位置,光谱、纹理、形状等特征信息。2类表分别针对地物类别提取和单体目标提取,分别与地物分类和灾害目标分类关联。特征库中主要表的结构及关系如图2所示。

灾害目标特征库的索引主要包括空间分区索

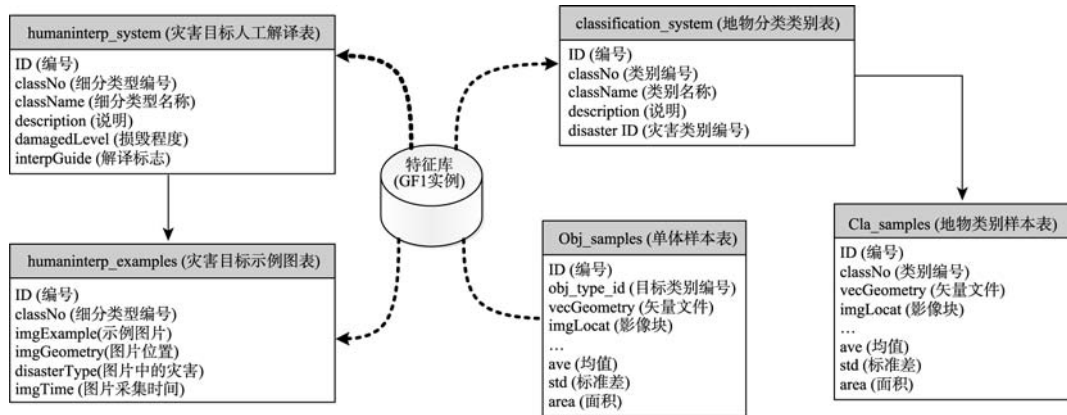


图2 高分辨率遥感灾害特征库存储结构图

Fig. 2 Storage structure of high-resolution remote sensing disaster feature library

引、影像分级索引、灾害分类索引、目标分类索引和特征库分类索引。其中,空间分区与影像分级索引主要用于建立灾害应用及目标的空间尺度定位,实现与基础空间的关联;灾害分类索引主要是以自然灾害分类为基础、以具体的灾害事件为主线,实现与减灾业务逻辑的关联;目标分类索引和特征分类索引主要利用灾害目标分类体系和灾害特征分类,分别建立与具体灾害目标以及遥感信息提取方法之间的关联。

3.2 样本匹配与优选方法

样本匹配与优选是建立灾害目标特征库与灾害目标识别应用联系的关键,样本匹配的质量直接影响了后续灾害目标识别与评价结果的精度。

地物目标在时间和空间上具有很好的连续性。一般地物在短时间内总是保持延续性,且空间临近的同一类地物具有更多的共性,但当发生自然灾害或重大社会变革时,地物在时间上会有突变性,因此将灾害目标样本的匹配总结为以下3个原则:

(1)空间临近优先原则。与被提取灾害目标空间位置越临近的样本,其特征与灾害目标越相近,具有更高的匹配优先级。

(2)灾害突变时间域范围内时间临近原则。按照灾害发生的时间可以将整个时间划分为灾前和灾后2个时间域,对于灾害影响目标,在同一时间域内,获取时间与待提取目标影像获取时间越接近的样本,其特征与灾害目标越相近,具有更高的匹配优先级,而在不同时间域内的样本不可参与匹配。

(3)空间尺度临近原则。具有相近空间分辨率

或者在相近空间尺度上采集的样本,其特征与灾害目标越相近,具有更高的匹配优先级。

在上述3个原则指导下,结合样本匹配的本质是对灾害目标图谱特征的匹配,本文设计了“图匹配-谱修正”的样本匹配与优选算法,以“图”为基础,以“谱”为制约,有效地将地物的图谱知识融入基于目标特征库的样本筛选过程中(图3)。

图匹配主要利用遥感目标在时空上具有一定的稳定性,以前期地物空间分布情况作为样本选择的参考。首先,依据目标影像的时空信息从特征库中检索出以目标影像为中心的一定空间范围,同一灾害时间域和同一空间尺度范围内的前期遥感影像样本或专题图。然后,将当前目标影像与前期影像进行像元级变化检测,提取前、后期影像中未发生属性变化的像元,将不变像元在前期专题图中的类别标签知识迁移至目标影像中,获得新影像在不变像元位置处的类别标注,同时将不变像元类别的前期样本作为备选样本。图3中上半部分为遥感数据与前期土地利用专题图匹配的结果。根据前期资料,可以初步了解当前影像中的地物类型、分布等各种情况,有助于后续认知。图匹配虽然可以选择大量的样本,但由于参考信息的时效性,不可避免含有错误信息,这些样本在位置上存在偏差或在类型上存在误导,因此需要更多的知识辅助(即谱修正过程)以提高精度。

谱修正主要利用谱知识改进样本精度,地物的光谱、时间谱等精细知识由其物质构成和生长特性等本质决定。在图匹配的基础上,谱修正可以较好地筛选、去除自相矛盾的样本,以提高样本整体质量。例如,在前期水体专题数据的匹配下可以得到

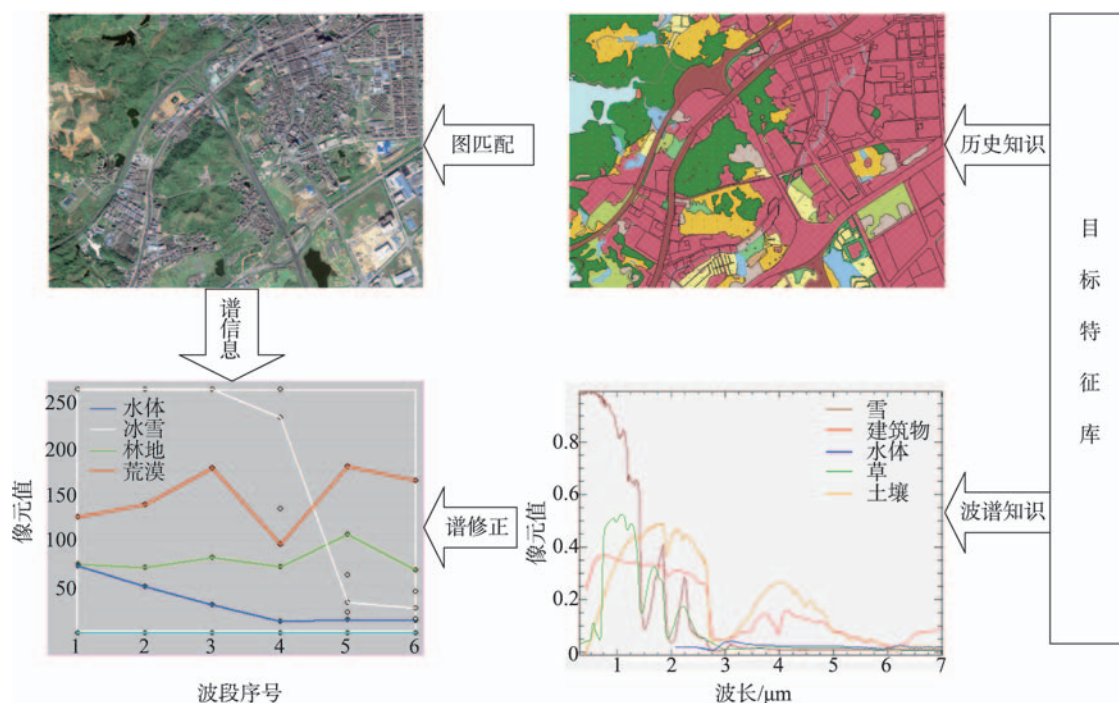


图3 “图匹配-谱修正”的样本匹配算法示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the designed sample matching algorithm named “Graph Matching and Spectrum Correction”

大量水体样本,但由于水域随时间变化,部分水体样本可能出现错误,在图匹配结果的基础上,采用水体指数等光谱特性对这些样本进行检查,可对样本进行一轮剔除,或者采用亮度、形状等特征进行多轮控制,最终使水体样本的质量达到最高。图3中下半部分示意了利用地物波谱曲线跟样本波段值匹配,可以有效地剔除明显不符及容易混淆的样本。

图谱耦合的样本匹配方法实际上是利用图谱先验知识对遥感目标进行初步识别的过程,而高分辨率灾害目标特征库建设的目标就是在大量灾害目标与特征信息累积的基础上,通过数据挖掘和主动学习的方法提取灾害目标解译知识,逐步形成高分辨率灾害目标提取知识库。

通过样本匹配与优选方法可实现目标特征库中信息的重复应用,一方面大大降低了人工样本采集的繁琐性,另一方面也降低了样本对业务人员解译经验的依赖性,从某种程度上来说具有较高的可靠性,能有效地提高灾情快速评估的时效性与可靠性。

3.3 高分辨率影像自动分类方法

基于高分辨率灾害目标特征库进行灾害目标信息快速提取的方法可分为灾害目标分类和灾害目标识别2大类,其中,灾害目标分类方法是通过

主要关注目标类别的快速划分,实现受灾范围的初步确定和区域受灾程度的初步判断,更适合在灾情快速评估业务中应用。

目前,面向对象的影像分析是基于高分辨率遥感数据分类的主流框架。在面向对象的影像分析过程中,图像分割、特征提取、图像识别是关键^[14]。本文面向灾害目标的高分辨率影像分类,通过样本自动匹配代替繁琐的人工样本选择过程,进而实现高分辨率影像的自动分类,其总体流程如图4所示。

首先,通过多尺度分割,形成分类的基础对象单元,并结合受灾区域、灾害类型等灾害信息和灾害目标库中存储的对应灾害目标信息初步确定部分地块对象及其地类属性;其次,计算各地块对象的相关特征值,并结合待分类的影像所属区域、影像类型、空间分辨率等信息,通过基于图谱耦合的样本匹配实现样本的自动选择;最后,利用匹配得到的训练样本对待分类影像进行监督分类。当分类结果经过评价难以满足灾情评估需求时,需以当前结果为基础重新形成对象,迭代地使用特征提取及样本自动选择技术提高自动分类精度。针对地震灾情快速评估中对时效性和结果精度的要求,本文选择C5.0决策树分类器作为高分灾害目标自动分类的基础算法。决策树是较接近人判断逻辑的算法模型,在处理非数值型数据上具有较大优势^[15]。

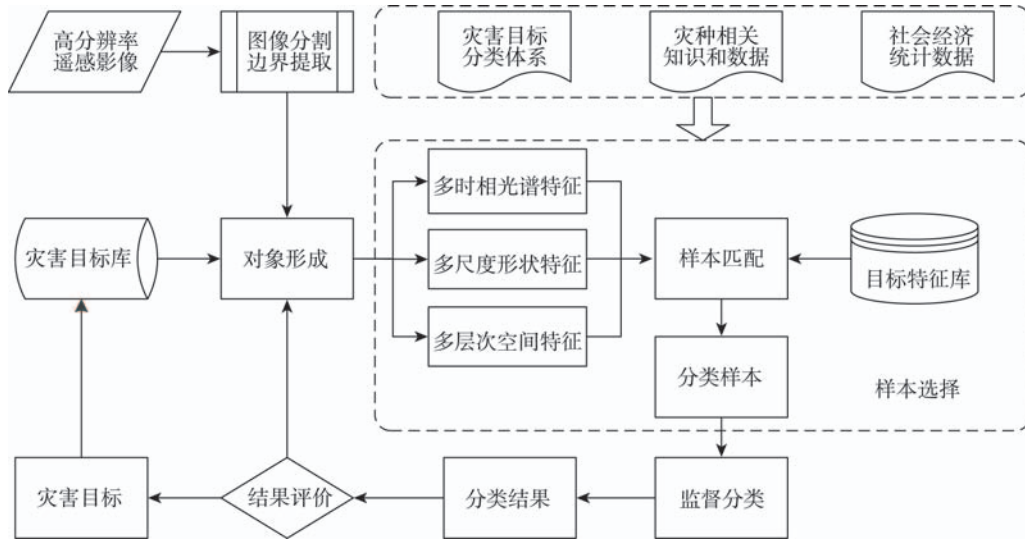


图4 目标特征库支持下的高分影像自动分类流程

Fig. 4 Flowchart of the high-resolution image's automatic classification based on target feature library

C5.0决策树是通过引入 Boosting 技术显著提高了原有 C4.5 算法的性能^[16],可以根据样本以信息熵为依据自动构建多个决策树,再综合这些决策树提高最终决策判别精度,具有训练速度快、规则易被理解等应用优势。

C5.0 算法以信息熵的下降速度作为确定最佳分支变量和分割阈值的依据。信息熵的下降意味着信息的不确定性下降。信息熵是信息量的数学期望,也称先验熵(式(1))。

$$H(U) = \sum_i p(u_i) \log_2 \frac{1}{p(u_i)} \quad (1)$$

式中: $p(u_i)$ 为信息 u_i 发生的概率, $\sum p(u_i) = 1$; $\log_2 \frac{1}{p(u_i)}$ 表示信息量。

在决策树中,设 S 是一个样本集合,目标变量 C 有 K 个分类, $\text{freq}(C_i, S)$ 表示属于 C_i 类的样本数, $|S|$ 表示样本集合 S 的样本数,则集合 S 的信息熵定义如式(2)所示。

$$\text{Info}(S) = - \sum_{i=1}^k ((\text{freq}(C_i, S) / |S|) \times \log_2 (\text{freq}(C_i, S) / |S|)) \quad (2)$$

如果某属性变量 T , 有 N 个分类,则属性变量 T 引入后的条件熵定义如式(3)所示。

$$\text{Info}(T) = - \sum_{i=1}^n ((|T_i| / |T|) \times \text{Info}(T_i)) \quad (3)$$

属性变量 T 带来的信息增益如式(4)所示。

$$\text{Gain}(T) = \text{Info}(S) - \text{Info}(T) \quad (4)$$

4 震灾快速评估实例分析

4.1 实验区概况

云南鲁甸“8·03”地震发生于北京时间2014年8月3日16时30分10秒,地震规模为里氏6.5级,震中位于中国云南省昭通市鲁甸县(北纬27.1°,东经103.3°),震源距离地表12 km。本文选择的实验区是位于震中附近的龙头山镇,从中国地震局在灾后发布的地震烈度图^[17]中可以看出,龙头山镇位于8-9度地震烈度区内,属于此次地震中受灾最严重的区域之一。本文采用了2014年8月7日获取的灾后航空影像数据,数据空间分辨率为0.2 m,选取了龙头山镇的部分区域进行地震灾情快速评估的实验,实验数据图5所示。

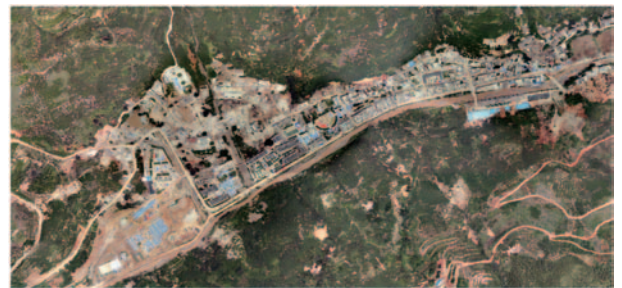


图5 云南鲁甸龙头山镇实验区地震灾后影像数据

Fig. 5 Post-earthquake image of the experimental area in Longtoushan town of Ludian in Yunnan

4.2 实验流程

依据高分辨率遥感目标特征库的灾情快速评估方法,首先依据实验区影像类型、影像范围、灾害发生时间等条件从灾害目标特征库中匹配可用样本与特征。基于临近区域的样本匹配原则,在灾害目标特征库中匹配得到龙头山镇临近乡镇范围灾

害发生前、后的2个样本子集。其中,包括灾前样本281个,灾后样本184个,样本分布如图6所示。然后,利用匹配得到的样本子集进行分类器训练,对实验区域的灾后影像进行自动分类,获得灾后影像分类结果(图7)。

由于缺乏灾前数据做参考,在基于灾后分类结

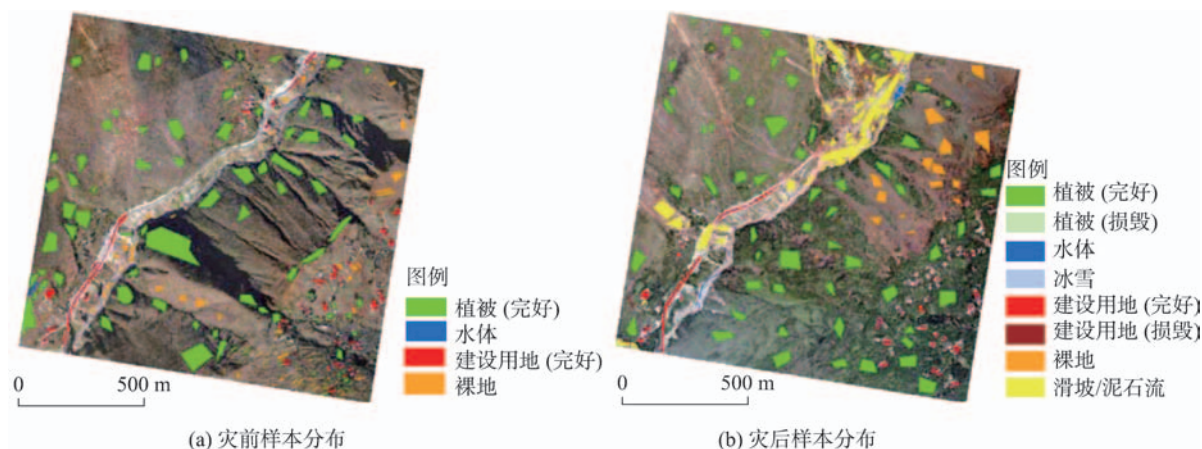


图6 目标特征库匹配结果分布

Fig. 6 Distribution of the matching results using the target feature library

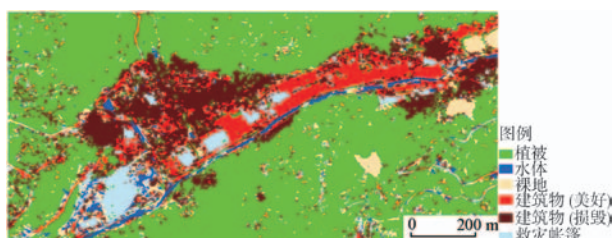


图7 云南鲁甸龙头山镇实验区地震灾后影像自动分类结果

Fig. 7 Post-earthquake image automatic classification of the experimental area in Longtoushan town of Ludian in Yunnan



注:图中数字代表街区号

图8 云南鲁甸龙头山镇实验区街区区划示意图

Fig. 8 Block diagram of the experimental area in Longtoushan town of Ludian in Yunnan

果进行房屋倒损率计算时,假设房屋建筑物受灾害影响只有存在2种状态:保持完好和受到损害。基于此假设,可采用灾后完好和损毁房屋的总和来代替区域房屋总数。以房屋面积作为评价参考,进行房屋损毁率计算:房屋倒损率=灾后损毁房屋总面积/(灾后损毁房屋总面积+灾后完好房屋总面积)

在进行评估前,首先需要划分评估单元以及构建示范区建筑物易损性矩阵查找表。由于实验区范围较小,采用街区作为评估单元(图8),对每个评估单元内的房屋倒损率进行统计,并依据易损性矩阵查找表插值计算评估单元的参考烈度值,得到实验区快速评估结果(图9)。

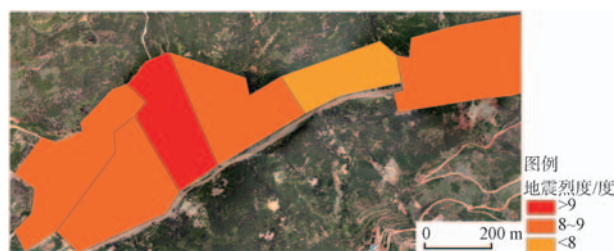


图9 云南鲁甸龙头山镇实验区地震快速评估结果

Fig. 9 Rapid assessment results of earthquake disaster for the experimental area in Longtoushan town of Ludian in Yunnan

4.3 实验结果与分析

按照国家防灾减灾的业务需求,快速评估主要用于确定灾害范围的初步分布、灾情的总体情况,灾情快速评估的产品主要是实现受灾区域按灾情严重程度度的类别划分。因此,本文对实验结果的分析也主要是考察对区域受灾程度的划分是否符合实际情况。

各评估单元内建筑物倒损率和参考地震烈度区结果如表1所示,实验结果显示实验区域内除街区5倒损率为20.61%以外,其他几个街区建筑物倒损率基本处于60.0%~70.0%范围内,经线性插值推算得到的参考烈度基本处于8.0~9.0度的范围内。

表1 实验区快速评估结果统计表
Tab. 1 Statistics of the rapid assessment for the experimental area

	倒损率/(%)	参考烈度/度
街区1	70.24	8.94
街区2	60.89	8.47
街区3	72.50	9.06
街区4	64.10	8.63
街区5	20.61	6.00
街区6	55.96	8.21

从灾后国家民政部减灾中心发布的“云南鲁甸6.5级地震灾害遥感监测评估技术报告”中可获得龙头山镇在此次地震灾害中建筑物倒损情况的详细信息(表2),计算得到龙头山镇的总体建筑物损毁比例为86.14%,结合中国地震局2014年8月7日发布的“云南鲁甸6.5级地震烈度图”,龙头山镇主要位于8度和9度地震烈度区内。

由于统计数据粒度较粗,以乡镇为评估单元,因此,在按街区统计结果基础上,对实验区的总体倒损率进行了计算,得到实验区域总体建筑物损毁

表2 龙头山镇住房倒损建筑面积统计表^[18]
Tab. 2 Statistics of the damaged building area in Longtoushan town

	完全倒塌/m ²	严重损毁/m ²	一般损毁/m ²	倒损总数/万m ²	建筑总面积/万m ²
砖木	98 966	75 787	82 241		
砖混	79 105	150 356	205 916		
钢混	0	27 501	33 469		
其他	202 348	195 336	268 263		
比例/(%)	23.09	27.25	35.80		
合计				141.93	164.77

比例为59.04%,推算烈度为8.37度。虽然总体倒损率相对较低,但从按街区和实验区总体的参考烈度值来看,与龙头山镇区域位于8~9度烈度区的实际情况相符。经过分析发现,实验得到的倒损率比实际统计结果偏低的原因主要有以下3个方面:(1)实际数据是对整个龙头山镇行政区划范围内的房屋建筑物损毁情况进行的统计,而本文中的实验区为龙头山镇镇中心区域,损毁相对严重的农村区域没有包含在实验区中;(2)从选取实验区的影像上分析可以发现,实验区位于居民较集中的城镇区域,房屋以砖混、钢混结构为主,从统计数据中可以看出这2类房屋建筑物实际损毁的程度较低,其中实验区中的街区5表现尤为显著;(3)从影像及分类结果分析可以发现,灾后部分救灾帐篷的搭建位置位于损毁区域,由于灾后划分为“救灾帐篷”类别,实际是减少了“建筑物(损毁)”类别对象的数量。因此,实验区域倒损率值低于实际值,这与实际情况相符。从灾情快速评估的需求来看,此方法完全可以满足业务应用的精度需求。

5 结论

高分辨率遥感影像获取技术的发展为地震灾情评估提供更多信息来源的同时,也为基于遥感的震害信息提取方法研究和应用带来了新的挑战。本文提出了通过建立高分辨率遥感灾害目标特征库来实现针对高分辨率影像的灾害特征累积与应用服务,用于解决现有方法对业务人员经验依赖性强和对高分辨影像特点针对性不强的问题。文中给出了基于高分辨率遥感目标特征库的地震灾害快速评估方法,并以云南鲁甸地震龙头山镇某区域为例,开展了高分辨率目标特征库支持下的灾情快速评估实验,实现了目标特征库支持下的基于高分辨率影像的自动化地震灾情快速评估。通过与灾后调查数据的对比发现,结果精度完全能够满足灾情快速评估的业务需要,同时,基于高分辨率遥感灾害目标特征库开展地震灾情快速评估能有效地减少人工繁琐的工作量,极大提高业务的自动化程度,对于灾害应急快速响应具有积极意义。

参考文献(References):

[1] 民政部.民政部国家减灾办发布2013年全国自然灾害基本情况[EB/OL].<http://politics.people.com.cn/n/2014/0104/>

- c70731-24023291.html, 2014-01-04. [Ministry of Civil Affairs. National Disaster Reduction Office of Ministry of Civil Affairs has published the 2013 national natural disaster general information[EB/OL]. <http://politics.people.com.cn/n/2014/0104/c70731-24023291.html>, 2014-01-04.]
- [2] 张景发, 谢礼立, 陶夏新. 建筑物震害遥感图像的变化检测与震害评估[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(2): 59-64. [Zhang J F, Xie L L, Tao X X. Change detection of remote sensing image for earthquake-damaged buildings and its application in seismic disaster assessment[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2002, 11(2): 59-64.]
- [3] 苏凤环, 刘洪江, 韩用顺. 汶川地震山地灾害遥感快速提取及其分布特点分析[J]. 遥感学报, 2008, 12(6): 956-963. [Su F H, Liu H J, Han Y S. The extraction of mountain hazard induced by Wenchuan earthquake and analysis of its distributing characteristic[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2008, 12(6): 956-963.]
- [4] Huyck C K, Adams B J, Cho S, *et al.* Towards rapid city-wide damage mapping using neighborhood edge dissimilarities in very high-resolution optical satellite imagery-application to the 2003 Bam, Iran, Earthquake[J]. *Earthquake Spectra*, 2005, 21(S1): S255-S266.
- [5] Turker M, San B T. Detection of collapsed buildings caused by the 1999 Izmit, Turkey earthquake through digital analysis of post-event aerial photographs[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(21): 4701-4714.
- [6] 黎小东. 面向对象的高空间分辨率遥感影像城市建筑物震害信息提取——以汶川县城为例[D]. 成都: 成都理工大学, 2009. [Li X D. Information extraction of damaged town buildings caused by earthquake with the object-oriented method from high special resolution image: a case study in Wenchuan earthquake[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2009.]
- [7] 王岩, 王晓青, 窦爱霞. 面向对象遥感分类方法在汶川地震震害提取中的应用[J]. 地震, 2009, 29(3): 54-60. [Wang Y, Wang X Q, Dou A X. Building damage detection of the 2008 Wenchuan, China earthquake based on object-oriented classification method[J]. *Earthquake*, 2009, 29(3): 54-60.]
- [8] Kouchi K, Yamazaki F. Damage detection based on object-based segmentation and classification from high-resolution satellite images for the 2003 Boumerdes, Algeria earthquake[C]. *Proceedings of the 26th Asian Conference on Remote Sensing*, 2005: 1-6.
- [9] Lusnier J D, Thompson W L, Wilson J M, *et al.* Using digital photographs and object-based image analysis to estimate percent ground cover in vegetation plots[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2006, 4(8): 408-413.
- [10] Vu T T, Matsuoka M, Yamazaki F. Preliminary results in development of an object-based image analysis method for earthquake damage assessment[C]. *Proceeding of 3rd International Workshop on Remote Sensing for Post-Disaster Response*, Chiba, Japan, 2005.
- [11] Liu S, Thonnat M, Berthod M. Automatic classification of planktonic foraminifera by a knowledge-based system [C]. *Proceedings of the IEEE Tenth Conference on Artificial Intelligence for Applications*, 1994: 358-364.
- [12] Durand N, Derivaux S, Forestier G, *et al.* Ontology-based object recognition for remote sensing image interpretation [C]. *19th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, 2007, 1: 472-479.
- [13] 高伟. 基于特征知识库的遥感信息提取技术研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2010. [Gao W. The study of information extraction technology for remote sensing based on feature knowledge[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2010.]
- [14] Blaschke T, Hay G J, Kelly M, *et al.* Geographic object-based image analysis-towards a new paradigm[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2014, 87: 180-191.
- [15] Wu X, Kumar V, Quinlan J R, *et al.* Top 10 algorithms in data mining[J]. *Knowledge and Information Systems*, 2008, 14(1): 1-37.
- [16] Quinlan J R. Bagging, boosting, and C4.5[C]. *Proceedings of the Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence and Eighth Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference*, 1996, 1: 725-730.
- [17] 中国地震局办公室. 中国地震局发布云南鲁甸 6.5 级地震烈度图[EB/OL]. <http://www.cea.gov.cn/publish/dizhenj/464/478/20140807085249557322083/index.html>, 2014-08-07. [China Earthquake Administration Office. China Earthquake Administration has published the earthquake intensity map of Ludian, Yunnan 6.5 earthquake[EB/OL]. <http://www.cea.gov.cn/publish/dizhenj/464/478/20140807085249557322083/index.html>, 2014-08-07.]
- [18] 民政部国家减灾中心. 云南鲁甸 6.5 级地震灾害遥感监测评估技术报告[R]. 北京: 2014-08-29. [National Disaster Reduction Commission, Ministry of Civil Affairs. Remote sensing monitoring evaluation technical report of Ludian, Yunnan, 6.5 earthquake[R]. Beijing: 2014-08-29.]