



## 利用遥感技术提取震害信息方法的研究进展

陈文凯<sup>1</sup>, 何少林<sup>1</sup>, 张景发<sup>2</sup>, 周中红<sup>1</sup>, 郭晓宁<sup>3</sup>

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085;  
3. 青海省格尔木市气象局, 青海 格尔木 816000)

**摘要:**总结了近年来国内外基于遥感影像提取地震灾害信息的变化检测方法, 将其归纳为基于纹理特征提取和光谱特征提取的方法。介绍了最新的遥感技术应用在地震灾害评估中的方法, 提出了其技术发展趋势。

**关键词:** 遥感; 震害信息; 变化检测

中图分类号: P315.9; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2008)01-0088-06

### A Review on Methods of Extracting Earthquake Damage Information Using Remote Sensing Technology

CHEN Wen-kai<sup>1</sup>, HE Shao-lin<sup>1</sup>, ZHANG Jing-fa<sup>2</sup>, ZHOU Zhong-hong<sup>1</sup>, GUO Xiao-ning<sup>3</sup>

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China; 2. Institute of Crustal Dynamics, CEA, Beijing 100085, China;  
3. Ge-ermu Meteorological Bureau, Qinghai Ge-ermu 816000, China)

**Abstract:** In this paper the change detection methods of extracting earthquake disaster information from the Remote Sensing image at home and abroad in recent years are summarized, and they are concluded in two types: based on the feature of grain and spectrum. Meanwhile, the updated RS technology using in the earthquake disaster evaluation are introduced and the developmental tendency of RS methods is put forward.

**Key words:** Remote sensing; Earthquake damage information; Change detection

## 0 引言

在地震后快速提取准确的震害信息, 以采取有效的救援工作, 是目前减轻地震灾害损失的最有效的方法。遥感技术具有概括性、综合性、宏观性、直观性等特点, 可以较大程度地排除人为干扰, 大大节省人力和财力, 并快速提供大范围相关信息。利用遥感技术提取震害信息是防震减灾中一个重要研究内容, 也是近年来防震减灾工作中的一个热点问题。

遥感震害信息提取主要是通过遥感图像的变化检测和分类方法进行, 包括对震前和震后遥感影像进行对比分析, 或者是直接从震后影像中提取震害

信息。变化检测就是从震前和震后遥感数据中, 定量地分析和确定地震前后地表变化的状况, 从中识别震害信息。

## 1 国内外发展现状

遥感技术应用到地震灾害信息的获取最早开始于国外。早在1906年G. R. 劳伦斯利用风筝成功拍摄美国旧金山8.3级地震的震后灾情, 标志着人类利用遥感技术记录地震灾害信息的开始。20世纪60年代在日本、美国、加拿大、印度、新西兰、泰国等国航空遥感被广泛的应用于地震灾害调查中<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2007-06-18

基金项目: 中国地震局“十五”重点项目“甘肃省地震应急指挥系统”资助; 中国地震局兰州地震研究所科技论著编号: LC2008006

作者简介: 陈文凯(1983-), 男(汉族), 青海民和人, 研究生, 目前主要从事RS和GIS技术应用研究。

航天遥感以前因为分辨率等各种原因很少直接用于地震灾害调查中。但是随着遥感技术的发展,20世纪90年代以来,特别是 IRS、IKONOS、Quickbird 和 OrbView 等高分辨率商业卫星的发射,利用航天遥感影像提取震害信息变的更为符合现实要求。1995年 Mitomi Y. 等利用机载多光谱遥感器观察得到的数据进行光谱特征值,分析识别出土壤液化和火灾信息<sup>[2]</sup>。1998年 Masashi Matsuoka 等通过 Landsat 和 SPOT 数据分析 1995 年神户地震震情,基于光谱特征采用判别式从遥感影像中分析识别并提取了严重倒塌的建筑物、震后火灾和土壤液化<sup>[3]</sup>。2000年 Mitomi H. 等利用 1999 年 Kocaeli 和我国台湾震后影像利用色调、饱和度、亮度和边界灰度值,对震后影像给予一定的阈值,对图像进行多尺度切割提取震害信息<sup>[4]</sup>。2000年 Miguel Estrada 等利用 Landsat 影像数据对 1999 年 Kocaeli 地震采用主成分分析方法,对其进行了灾情提取<sup>[5]</sup>。2001年 Mitomi, H. 等为了提高自动灾害识别的精度,利用航空遥感数据采用最大似然分类法对震后建筑物的破坏进行了自动识别和检测<sup>[6]</sup>。2004年 M. Turker 等对 1999 年 Izmit 地震后航片处理分析,采用 Prewitt 滤波边界提取和 GIS 矢量信息结合,通过最佳阈值化分割破坏建筑物与完好建筑物,取得了较好效果<sup>[7]</sup>。2004年 Masashi Matsuoka 等利用 Radarsat/ERS-2/Envisat 等图像分别对 2003 年阿尔及利亚地震、伊朗巴姆地震进行了灾情提取,阐述了空间分辨率对破坏建筑物提取的影响<sup>[8]</sup>。2005年 Ellen M. Rathje 等对 2003 年阿尔及利亚北部里氏 6.9 级地震后 Quickbird 卫星数据提取震害信息,利用光谱值进行最大似然分类与考虑纹理结构和光谱值的最大似然法分类进行对比分析,得出纹理结构与光谱值综合提取震害信息精度更高<sup>[9]</sup>。2005年 Charles K. Huyck 等利用地震前后建筑物邻域变化进行震害信息提取<sup>[10]</sup>。2005年 T. Thuy Vu 等利用面向对象方法对伊朗巴姆地震 Quickbird 影像进行了实验,证明该方法在震害信息提取方面的确具有广阔的应用前景<sup>[11]</sup>。

国内这方面的工作始于 20 世纪 60 年代。我国地震部门和科学院有关部门从 1966 年起,对邢台、海城、唐山等破坏性地震进行了航空摄影灾情调查。1993 年张德成根据唐山地震航片、海城地震航片和龙陵地震航片提出了针对航空照片进行建筑物震害调查的目视判读标志<sup>[12]</sup>。1993 年杨喆等利用航空遥感方法对云南澜沧—耿马地震灾情进行调查,对

震区的震害特征、房屋破坏、山体崩落和滑坡进行定量量测、统计和分析,结果表明航空遥感方法对地震灾情调查是十分有效的<sup>[13]</sup>。1995 年程家喻等通过统计我国近三十年来的地震资料,分析了基于航空照片对主要震害类型进行准确判读的概率,发现利用航片调查建筑物倒塌的准确率大于 80%,而识别部分倒塌的精度较低;对于城市和乡村应采用不同比例尺的航片,识别方式依然是依靠人工目视判读<sup>[14]</sup>。1996 年丁军等从震害分析和研究的目的,讨论了遥感图像资料在城市地震灾害评价中采用的震害信息分类、获取方式、表示方法及应用问题<sup>[15]</sup>。1998 年朱博勤等论述了震害地类的特性与建立解译模型的原则、方法与不同种类信息源的技术方案,探讨了地震灾害信息快速提取的技术方法<sup>[16]</sup>。1999 年杨喆等利用机载 SAR 震害影像特征快速识别并确定极震区<sup>[17]</sup>。2002 年张景发等通过分析震前、震后的航空遥感图像,确定了提取震害信息的一些模型和方法,并结合样本图像做了震害分级、分类研究,初步表征了各种震害的特征<sup>[18]</sup>。2003 年王晓青等以新疆巴楚—伽师地震为例阐述了利用遥感数据快速获取地震灾害信息的过程,得到了此次地震的等震线,并与实际地面调查结果进行了比较,认为我国利用航空遥感与卫星遥感资料获取地震灾情信息已进入实用阶段<sup>[1]</sup>。2003 年柳嫁航对 IKONOS 卫星影像资料分析,得出破坏建筑物的灰度值与背景灰度值不同,通过二值化处理及形态学图像分割运算识别并提取了 2001 年印度 Bhuj 的震害信息<sup>[19]</sup>。2003 年窦爱霞利用张北地震和台湾集集地震前、后遥感图像,用基于邻域纹理提取办法提取震前、震后纹理图像,对两组纹理图像作相关系数检测变化,评估震害<sup>[20]</sup>。2004 年李萍等利用概率统计方法定量的描述了地震烈度,并对其进行区分,提出了遥感图像灰度概率模型<sup>[21]</sup>。2004 年张桂芳利用建筑物阴影信息提取建筑物高度并根据地区地震危险性资料研究了震害预估,得到了人员伤亡和经济损失预估结果,同时开发了地震预估子系统<sup>[22]</sup>。

## 2 震害信息的遥感提取方法

传统的遥感影像变化检测方法是根据光谱和空间纹理特征进行信息变化检测的,震害信息的检测也不例外。下面介绍这些方法在震害信息提取方面的最新进展及其应用。

### 2.1 基于光谱特征值的震害提取方法

在地震前后,遥感影像上地物的光谱值因地物

的倒塌、损坏会发生变化,利用遥感影像中变化了的光谱值进行变化检测从而提取震害信息。单幅震后遥感影像中,则利用不同的震害具有不同的光谱值,利用分类方法快速提取震害信息。

### 2.1.1 图像代数变化检测

图像代数变化检测方法是最简单也是最常用的识别并提取震害信息的方法,包括对两幅同地不同时相的图像进行差值和比值运算,而且这两种方法也很有效。差值图像处理往往抑制背景值而增强地震前后遥感图像的变化值,能够快速提取震害信息。但是由于大气条件、太阳光照、传感器校准、地面水份条件等,两幅图像差值并不能真实反映由地震引起的变化,而且这种方法不能定量地提供震害类型和灾害程度。比值图像可以消除或抑制地形坡度和坡向引起的辐射量变化等,能够很好的反映由于地震引起地物变化从而导致的波段间斜率的变化<sup>[23]</sup>。运用混合运算比简单的差值和比值运算的结果要好,所以一般在震害信息检测中用到的是混合运算。

Fumio Yamazaki(2004)<sup>[8]</sup>利用1994年和1995年神户地区的TM影像,根据地物光谱特征值的不同进行了震害信息的提取和分类,取得了较好的成果。首先是对震前和震后TM影像的各个波段进行归一化处理,然后对其比值运算得到相应波段震前和震后的比值结果,然后根据震害信息在各个波段中的比值结果不同进行灾害信息的提取和分类。这种方法的好处是可以利用中等分辨率的遥感影像提取震害信息,费用较低,震害信息提取速度较快;缺点是提取的震害信息的精度不够,只能粗略估计灾情,确定地震烈度,不能很好的区分损失程度。即只能定性分析,而不能定量分析。

目前实际应用图像代数方法提取震害信息时,为了提高处理的速度和精度,要对遥感图像进行一些预处理,例如:某地区发生强震时,目视解译找出地震损失最严重的区域和人口居住密集区域,对这些地区的图像进行代数运算。这样既可以节省时间又可以达到较好的灾情估计<sup>[20]</sup>。因此对于不同季节和不同的地区发生地震时利用遥感技术提取震害信息必须考虑该地区的地貌、气候、人口、经济等各个方面,这样才能又快又好的提取有效震害信息。

### 2.1.2 最大似然判别分类方法

最大似然判别法是根据有关概率判别函数的贝叶斯准则对遥感图像进行的识别分类,是一种监督分类方法,又称为贝叶斯判别法。它是以归属某类的概率最大或错分损失最小为原则进行判别的非线性

形分类方法。在震害提取中,对于单时相遥感数据一般采用最大似然法进行分类,从而快速得出较为可靠的灾情状况。

将研究区域目标分为G类,则任意象元特征向量X在第g类的概率密度为

$$f_g(\mathbf{X}) = \frac{1}{(2\pi)^{m/2} |\Sigma_g|} \exp\left[-\frac{1}{2}(\mathbf{X} - \mathbf{u}_g) \Sigma_g^{-1} \mathbf{X} - \mathbf{u}_g\right] \quad (1)$$

$i = 1, 2, \dots, G$

式中: $\mathbf{u}_g$ 与 $\Sigma_g$ 为第g类总体的均值向量和协方差矩阵; $|\Sigma_g|$ 为矩阵 $\Sigma_g$ 的行列式值。

根据贝叶斯公式,X归属于第g类的概率为

$$P(g/\mathbf{X}) = \frac{[P_g f_g(\mathbf{X})]}{\sum_{i=1}^G [P_i f_i(\mathbf{X})]} \quad (2)$$

式中: $P_i(i = 1, 2, \dots, G)$ 为第i列出现的先验概率,显然 $P(g/\mathbf{X})$ 越大,像元X属于g类的概率就越大,所以称为像元X的归属概率<sup>[24]</sup>。

Ellen M. Rathj等(2005)<sup>[9]</sup>利用最大似然判别法对2003年阿尔及利亚北部里氏6.8级地震后Quackbird卫星数据提取震害信息中取得了较好的效果。同时他们利用光谱值和纹理结构采用最大似然判别法分别进行了震害信息的提取,将结果对比发现综合纹理结构和光谱值分类效果要比考虑单一的分类效果要好。最大似然分类法用于震害信息提取,即可以针对震后单幅影像进行震害信息提取,也可以对地震前后影像分别进行分类后比较变化,从而提取震害信息,这种分类后再比较的方法能有效降低图像配准对精度的影响。

### 2.1.3 概率统计模型

应用中低分辨率遥感影像资料来识别地震破坏强度时,运用简单的差值比值方法难以取得较好的结果,而且只能得到定性的结果。震后建筑物的倒塌及变形,在遥感影像中显示为灰度值的变化,通过统计地震前后影像灰度值的变化则反映出地震损失程度。一般这种方法对中低分辨率影像较为有效,处理高分辨率影像时还要考虑纹理特征。

李萍和陶夏新(2005)提出的概率统计模型是利用地震前后两幅遥感影像资料首先进行差值和比值处理;然后求出差值和比值图像中地震破坏不同强度区域的均值和标准方差;根据分布函数得出不同烈度区域的灰度概率分布图;统计差值和比值图像中不同烈度区域的灰度值得到该次地震的地震烈度分布图,从而定量的提取出地震破坏信息。他们利用概率统计模型对2003年新疆伽师6.8级地震的

SPOT 影像进行了分析,从中定量的提取出了该次地震的等震线,并通过地面详细调查对其结果进行了验证<sup>[25]</sup>。

## 2.2 基于纹理结构的震害提取方法

图像纹理,它反映的是图像的一种局部结构化特征,具体表现为图像像素点某邻域内像素点灰度级或者颜色的某种变化,而且这种变化是空间统计相关的,它由纹理基元和基元的排列两个要素构成<sup>[26]</sup>。纹理一般分为两类:周期性的纹理与随机性的纹理。周期性纹理又称为结构性纹理,是以近于周期性的种类和方式重复其自身的局部模式,纹理由基本模式及其排列规律构成;随机性纹理又称为非结构性纹理,是相邻像素的灰度服从某种统计排列而形成的空间分布。纹理分析方法有基于统计的纹理分析方法、基于空间纹理结构的分析方法。在震害遥感图像上,纹理规则性受到破坏,其纹理密度、纹理方向等较震前图像都会有较大的变化,利用纹理空间展布的各种物理量作为特征参数,对震害图像进行空间纹理分析,提取震害信息。

### 2.2.1 统计纹理特征分析方法

在遥感影像中纹理绝大部分属随机性,服从统计分布,一般采用统计法纹理分析。本文介绍基于邻域统计特征的纹理分析方法,其实质就是将计算像元某一局部区域内的灰度统计特征作为图像纹理的测度。灰度统计特征参数有:方差与标准差、偏斜度、峰值、强度和、信息熵等。计算图像的标准差是衡量分布中的分散或变化情况,图像标准差与方差主要反映的是纹理的强度信息;利用偏斜度作邻域统计,能突出图像中的阴影纹理,分析阴影的变化来检测震害;统计图像得到峰值,可以了解图像灰度的离散情况;计算强度和可以得到纹理强度图像,统计不同方向的强度和可以知道纹理分布的方向性;图像的信息熵能够反映出图像灰度变化速度。纹理区域反映出不同统计特征参数值的不同纹理基元的集聚,因此,可以根据计算统计的一个特征参数或几个特征参数组合进行影像纹理分类或影像分割,从而识别并提取震害信息<sup>[20]</sup>。

窦爱霞(2003)运用此方法对 1998 年河北张北地震和 1999 年台湾集集地震进行了遥感影像中震害信息的提取<sup>[20]</sup>。由于邻域统计特征的纹理分析方法中的各个参数必须经过具体实验才能确定特征参数的有效性,目前尚处于经验性参数阶段,无确定有效的特征参数可用。

### 2.2.2 结构纹理特征分析方法

遥感影像上因为人工建筑物及地物分布具有一定的规律往往呈现出周期性的纹理,尤其是城市区域和人类居住区域。震害信息检测时城市区域又是我们的工作重点,同时随着遥感技术的发展,空间分辨率越来越高,获取的图像纹理结构也越多,因此研究地震前后遥感影像上的空间纹理具有重要意义。结构性纹理是以近于周期性的种类和方式重复其自身的局部模式,纹理由基本模式及其排列规律构成。利用这个基本原理,建立数学模型进行分析,得到遥感影像中的结构性纹理提取震害信息的目的。

目前用结构分析方法进行震害提取的方法主要通过图像锐化、数学形态学、图像分割技术等方法对图像进行处理,提取建筑物边界及阴影,比较地震前后遥感图像中这些因子的变化,从而提取建筑物破坏信息。Charles K. Huyck 等对 2003 年伊朗巴姆地区地震前后的 Quckbird 卫星数据利用拉普拉斯算子进行图像锐化处理,提取邻域边界从而达到地震前后建筑物变化情况<sup>[10]</sup>;M. TURKER 等则对 1999 年土耳其地震正射航片(分辨率 0.5 米)数据利用 Gaussian 和 Prewitt 滤波处理图像提取建筑物边界,通过统计建筑物阴影特征值,给予一定的阈值分割图像得到建筑物阴影,然后根据地震前后图像中阴影的变化提取震害信息<sup>[7]</sup>。张桂芳(2004)利用 Quckbird 卫星数据通过提取建筑物角点信息和阴影信息来提取建筑物,分析了建筑物震害影像特征<sup>[22]</sup>。

## 3 面向对象的震害提取方法

随着遥感技术的发展,遥感影像在空间分辨率、光谱分辨率、时间分辨率三个方面都得到了大大提高,遥感应应用技术也从传统的基于光谱和纹理特征的方法向面向对象方法发展。面向对象方法其实质就是让图像处理方式模仿人类对图像的理解,分类时不再局限于基于像素的传统分类方法,在图像第一步处理时就利用多尺度分割算法将图像分为多个对象图斑,分类时充分利用图斑对象信息(色调、形状、尺度/面积、纹理、层次)、类间信息(与邻近对象、子对象、父对象的相关特征),这对遥感图像处理尤其是高分辨率遥感图像处理是一场革命,它是遥感技术、计算机技术、图像处理技术发展的综合产物<sup>[27]</sup>。面向对象方法包括多尺度分割技术、基于对象的图像分层分析法及模糊聚类技术。

光谱异质性:通过每层图像权值和标准方差的和描述图像光谱或色调异质性:

$$h_c = \sum_c w_c \cdot \sigma_c$$

$w_c$  是每层图像的权重;  $\sigma_c$  是每层图像的标准方差。

形状异质性: 通过每层图像中每个对象图斑周长和面积描述形状异质性:

$$h_{s1} = \frac{l}{\sqrt{n}}$$

$l$  为对象的周长;  $n$  为对象中包含的像元个数  $h_{s2} = \frac{l}{b}$ ; 这里  $b$  是对象中最短边长。

$$\text{平滑度: } h_{\text{smooth}} = n_{\text{Merge}} * \frac{l_{\text{Merge}}}{b_{\text{Merge}}} - (n_{\text{Obj1}} * \frac{l_{\text{Obj1}}}{b_{\text{Obj1}}} + n_{\text{Obj2}} * \frac{l_{\text{Obj2}}}{b_{\text{Obj2}}})$$

$l$  是对象的周长;  $n$  为对象中包含的像元个数;  $b$  为限制分割区域的周长。

图像尺度分割时遵循的原则为: 分割时每个对象的平均异质性为最小; 每个对象权重的评价异质性最小; 每个像元的平均异质性为最小。多尺度分割算法中还包括对象的合并, 对于小对象来说, 它会根据尺度参数来进行合并操作, 当对象大小合并到超过尺度参数时, 合并操作停止。

面向对象的分类方法在分类的初期阶段就将待分类图像分割成为具有类似信息的像元集合, 在图像上表现为一个个的图斑对象。在以后的分类过程中这些图斑对象就是最基本的分类单元, 同时采用决策支持的模糊分类算法并不简单地将每个对象简单地分到某一类, 而是给出每个对象隶属于某一类的概率, 便于根据实际情况进行调整, 同时也可以按照最大概率产生确定分类结果。在建立专家决策支持系统时建立不同尺度的分类层次, 在每一层次上分别定义对象的光谱特征形状特征纹理特征和相邻关系特征。其中光谱特征包括均值方差灰度比值, 形状特征包括面积长度、宽度边界、长度长宽比、形状因子、密度、主方向对称性位置等; 对于线状地物包括线长、线宽、线长宽比、曲率、曲率与长度之比等; 对于面状地物包括面积、周长、紧凑度、多边形边数、各边长度的方差、各边的平均长度、最长边的长度; 纹理特征包括对象方差、面积、密度、对称性主方向的均值和方差等。通过定义多种特征并指定不同权重建立分类标准然后对图像分类时先在大尺度上分出“父类”, 再根据实际需要对象感兴趣的地物在小尺度上定义特征分出“子类”。由于分类是基于一个个的图斑对象, 每个对象内部具有最大相似的光谱值, 在以后的分类过程中不再考虑图斑对象内部

的差异, 同时子类必然继承父类的特征, 分子类只需要运算它有别于父类的特征减少了运算冗余量和复杂度降低了运算量因此易于实现<sup>[28]</sup>。

T. Thuy Vu 等(2005)<sup>[11]</sup>采用面向对象方法中的多尺度分割后进行聚类分析对伊朗巴姆地震后 Quickbird 影像进行了实验, 提取了完好建筑物与破坏建筑物, 证明该方法在震害信息提取方面的确具有良好的应用前景。

## 4 结束语

随着遥感技术的快速发展, 地震灾害监测及评估方面应用也越来越深入, 但是目前遥感技术水平已超过了其应用水平, 大量的遥感数据并没有被充分利用, 尤其是震害变化检测方面的应用, 到目前为止还没有一种实用有效的变化检测方法来准确提取震害, 还需要继续发展变化检测方法。从遥感技术的发展趋势来看, 随着影像数据的空间分辨率和波段分辨率日益增高, 震害信息提取方法不仅要考虑纹理特征和光谱特征相结合, 而且要考虑怎么充分挖掘高分辨率影像上的信息, 例如采用面向对象方法挖掘影像中的各种图斑对象信息(色调、形状、面积、纹理、层次)、类间信息(与邻近对象、子对象、父对象的相关特征)等, 从而采用特征值, 检测真实震害信息。图像分类技术作为一个遥感图像的经典难题, 很难找到一个普适性的方法。尤其在震害图像中地物表现更加复杂, 震害信息的提取难度更大。利用模糊集、粗糙集、神经网络法等模仿人类感知的方法去研究震害图像, 提高震害信息提取精度, 这是震害遥感评估工作中下一步研究的方向和工作。

致谢: 感谢西南交通大学博士研究生孙美玲、中国地震局地壳应力研究所硕士研究生张磊和北京工业大学硕士研究生吴焕娟在本文中给予的指导和帮助。

## 【参考文献】

- [1] 王晓青, 魏成阶, 苗崇刚, 等. 震害遥感快速提取研究—以 2003 年 2 月 24 日巴楚—伽师 6.8 级地震为例 [J]. 地学前缘, 2003, 10(增刊): 285-291.
- [2] Mitomi Y, Takeuchi S. Analysis of spectral feature of the damaged areas by liquefaction and fire using airborne MSS data[A]// 18th Japanese Conference on Remote Sensing[C]. 1995: 117-118.
- [3] Masashi Matsuoka, Fumio Yamazaki. Identification of Damaged areas Due to the 1995 Hyogoken—Nanbu Earthquake Using Satellite Optical Images[A]// Proceedings of the 19th Asian Conference on Remote Sensing, Q9[C]. Philippines: Trad-

- ers Hotel, Manila, 1998;1-6.
- [4] Hajime Mitomi, Fumio Yamazaki, Masashi Matsuoka. Automated detection of building damage due to recent earthquakes using aerial television images[A]//Proceedings of the 21st Asian Conference on Remote Sensing[C]. Taiwan; Taipei, 2000; 1-7.
- [5] Miguel Estrada, Fumio Yamazaki. Use of Landsat Images for the Identification of Damage Due to the 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake[A]//Proceedings of the 21st Asian Conference on Remote Sensing[C]. Taiwan; Taipei, 2000; 1-11.
- [6] Mitomi H, Yamazaki F, Matsuoka M. Development of automated extraction method for building damage area based on maximum likelihood classifier[A]//Proceedings of 8th International Conference on Structural Safety and Reliability[C]. California; New Beech, 2001;2430-3442.
- [7] M Turker, B T San. Detection of collapsed buildings caused by the 1999 Izmit, Turkey earthquake through digital analysis of post-event aerial photographs[J]. INT. J. Remote Sensing, 2004, 25(21); 4701-4714.
- [8] Masashi Matsuoka, Fumio Yamazaki. Use of SAR Intensity Imagery for Earthquake Damage Detection[A]//2nd Workshop on Application of Remote Sensing Technologies for Disaster Response[C]. 2004, Newport Beach, CA, USA; 1-5.
- [9] Rathje E M, Kyu-Seok Woo, Crawford M, et al. Neuen-schwander, A. Earthquake damage identification using multi-temporal high-resolution optical satellite imagery[A]//2005 IEEE International[C]. 2005, 7; 5045-5048
- [10] Charles K Huyck, Beverley J Adams. Damage Detection Using Neighborhood Edge Dissimilarity in Very High-Resolution Optical Data[EB/OL]. [http://mceer-nt2.mceer.buffalo.edu/second\\_workshop/papers/05paper\\_huyck.pdf](http://mceer-nt2.mceer.buffalo.edu/second_workshop/papers/05paper_huyck.pdf), 2005.
- [11] T Thuy Vu, Masashi Matsuoka, Fumio Yamazaki. Preliminary results in development of an object-based image analysis method for earthquake damage assessment[A]//3rd International Workshop on Remote Sensing for Post-Disaster Response[C]. 2005, Chiba, Japan; 1-8.
- [12] 张德成. 建筑物震害航空照片目视判读标志德初步研究[J]. 地震, 1993, (2); 26-30.
- [13] 杨喆, 程家喻. 澜沧—耿马地震灾情的航空遥感调查[J]. 国土资源遥感, 1993, (15); 17-22.
- [14] 程家喻, 杨喆, 唐汉军, 等. 利用航空摄影进行震害调查的精度估计[J]. 地震地质, 1995, 17(1); 88-95.
- [15] 丁军, 王丹. 遥感图像上城市震害信息德获取及其应用[J]. 灾害学, 1996, 11(1); 82-86.
- [16] 朱博勤, 魏成阶, 张渊智. 航空遥感地震灾害信息的快速提取[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(1); 34-39.
- [17] 杨喆, 任德凤. 利用机载 SAR 震害影像特征快速圈定极震区[J]. 地震地质, 1999, 21(4); 452-458.
- [18] 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, 5; 59-64.
- [19] 柳家航. 利用遥感技术进行城市建筑震害的自动识别与分类方法研究[D]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2003.
- [20] 窦爱霞. 震害遥感图像变化检测技术研究[D]. 济南: 山东科技大学, 2003.
- [21] 李萍. 基于遥感技术的 2003 年 2 月 24 日新疆巴楚地震震害快速评估[D]. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所, 2004.
- [22] 张桂芳. 基于高分辨率遥感影像的建筑物三维信息自动提取震害识别及震害预估方法研究[D] 北京: 中国地震局地质研究所, 2004.
- [23] 赵英时, 等. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003; 244-249.
- [24] 戴昌达, 姜小光, 唐伶俐. 遥感图像应用处理与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004; 170-173.
- [25] Ping Li, Xiaxin Tao. Quantitative Earthquake Damage Detection from Changes in Remote Sensing Images—A case study [J]. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005, 3; 1-4.
- [26] Castleman K R. Digital Image Processing[M]. New Jersey; Prentice Hall, 1996.
- [27] Baatz M, A Schape. Object-Oriented and Multi-Scale Image Analysis in Semantic Networks[A]//Proc. of the 2nd International Symposium on Operationalization of Remote Sensing [C]. Enschede; ITC, 1999; 2563-2575.
- [28] 唐古拉, 张宝雷, 孙育秋. 面向对象的图像分类方法与彩色扫描地形图林地层的自动提取[J]. 四川测绘, 2005, 28(4); 172-177.