

SAR 图像变化检测技术方法综述

王 娜^{1,2} 张景发¹

(1. 中国地震局地壳应力研究所 北京 100085)

(2. 中国地质大学 北京 100083)

摘 要 合成孔径雷达 (SAR) 卫星具有全天候、全天时的特点, 为地球空间信息的获取提供了一个有效途径。变化检测技术 (change detection) 近几年作为极为重要的遥感应用研究手段获得了长足的发展。本文在介绍 SAR 卫星数据发展现状的基础上, 重点介绍了基于 SAR 图像的变化检测方法及技术流程, 并以汶川地震都江堰地区 ALOS 数据为例, 采用差值法和比值法进行震害建筑物分布信息提取, 并结合光学影像进行评定。结果证明, 传统的变化检测方法对 SAR 图像的震害信息提取具有较好的效果, 能够有效地应用于震害信息的提取与评估中。

关键词 合成孔径雷达; 变化检测; ALOS; 震害信息提取

一、引 言

近年来, 航空和航天遥感技术飞速发展, 越来越多地应用到各个领域, 在环境监测、城市建设、灾害评估等方面起到了重要作用。其中, 变化检测技术 (change detection) 作为极为重要的遥感应用研究手段获得长足发展。变化检测, 就是对观测到的覆盖同一地区的、不同时期的遥感影像进行处理, 确定和评价各种地表现象随时间发生变化的过程。变化检测技术经过几十年的发展, 在各方面都取得了一定进展。从数据源角度看, 变化检测已不再局限于使用单一的遥感影像, 而是综合利用多来源、多平台、多分辨率的遥感影像、GIS 数据及一些辅助数据检测变化信息; 从技术角度看, 传统的变化检测方法日趋完善, 新方法不断涌现, 变化检测已经从像素级的检测方法向面向对象的检测方法过渡。

合成孔径雷达 (synthetic aperture radar, 缩写 SAR) 卫星具有全天候、全天时的特点, 为地球空间信息的获取提供了一个有效途径。近年来 SAR 系统的飞速发展, 使 SAR 数据的获取更为便捷。随着获取时间的缩短, 同一地区不同时相 SAR 数据为变化检测技术的开展提供了数据支持, SAR 变化检测技术逐渐成为遥感应用研究的热点 (陈富龙等, 2007)。

作者简介: 王娜, 女, 1990 年生, 山东潍坊人, 硕士研究生, 主要从事遥感震害等研究。

基金项目: 国家自然科学基金 (41374050) 资助。

本文在介绍 SAR 卫星数据发展现状的基础上,重点介绍了基于 SAR 图像的变化检测方法及技术流程,并以汶川地震都江堰地区 ALOS 数据为例对变化检测方法中的差值法和比值法进行试验提取震害建筑物的分布信息。

二、SAR 卫星数据的特点及发展

美国于 1978 年最先发射了全球第一颗装载 SAR 传感器的人造地球卫星 (SEASAT - A), 获得了大量的地表信息, 极大地推动了 SAR 理论与技术的发展 (熊博莅, 2012)。此后, 越来越多的国家和地区对星载 SAR、机载 SAR 进行研制或发射。欧空局于 2002 年发射了太阳同步极轨地球环境监测卫星 ENVISAT; 日本于 2006 年 1 月 24 日发射了首个星载全极化 SAR 系统先进陆地观测卫星 (Advanced Land Observing Satellite, ALOS), 其搭载的 L 波段相控阵型合成孔径雷达 (PALSAR) 既具有干涉成像能力, 又能够提供全极化 SAR 数据; 德国于 2007 年发射装备有源天线、分辨率为 0.5m、可收集高质量 X 波段雷达数据的 TerraSAR - X, 它与意大利的 COSMO - SkyMed、Radarsat - 2 等标志着高分辨率雷达卫星时代的到来 (贺素歌, 2013)。欧空局为响应 “全球环境与安全监测倡议”, 提出了 SENTINEL - 1 计划, 该计划包含两个 C 波段的雷达卫星, 对海洋环境、土地覆盖、地表形变、极地环境、地质灾害等进行监测, 已于 2013 年发射 A 星, 2014 年发射 B 星。日本的 ALOS - 2 于 2014 年 5 月 24 日发生升空, 该卫星 SAR 传感器提供多个成像模式, 并新增左视成像功能 (李永生, 2014)。截至目前, 国际上主要的 SAR 卫星系统及参数列于表 1。

表 1 国际上主要卫星系统以及相关参数

SAR 卫星	国家或机构	轨道高度/km	波长/mm	入射角/(°)	重访周期/d	空间分辨率/m	幅宽/km	服役时间段
ERS - 1/2	欧空局	790	56	23	35	20 × 20	100	1992 ~ 2001
JERS - 1	日本	570	235	35	44	18 × 18	75	1992 ~ 1998
RADARSAT - 1	加拿大	790	56	23 ~ 65	24	10 ~ 100	50 ~ 500	1995 ~ 2013
ENVISAT	欧空局	790	56	15 ~ 45	35	20 ~ 100	100 ~ 400	2002 ~ 2010
ALOS	日本	700	235	8 ~ 60	46	7 ~ 100	20 ~ 350	2006 ~ 2011
RADARSAT - 2	加拿大	798	56	20 ~ 58	24	3 ~ 100	25 ~ 500	2007 ~
TerraSAR - X	德国	514	31	20 ~ 55	11	1 ~ 16	10 ~ 100	2007 ~
TanDEM - X	德国	514	31	20 ~ 55	11	1 ~ 16	10 ~ 100	2009 ~
COSMO - SkyMed	意大利	620	31	20 ~ 55	1 ~ 16	1 ~ 20	10 ~ 200	2007 ~
SENTINEL - 1	欧空局	693	56	20 ~ 45	12	5 ~ 80	20 ~ 400	2014 ~
ALOS - 2	日本	628	238	14	14	3 ~ 100	25 ~ 350	2014 ~

我国对星载极化干涉雷达系统的研制还处在起步阶段,已经实施了环境与减灾卫星计划,于2012年底成功发射了搭载S波段单极化SAR系统的环境1号C(HJ-1C)卫星(田馨,2013)。

随着研究的深入,SAR系统开始由单波段、单极化、固定入射角、单工作模式逐渐向多波段、多极化、多入射角、多工作模式和多平台方向发展,使得SAR在遥感应应用领域起到越来越重要的作用,与此同时应用于SAR的变化检测技术也获得了快速发展。

三、变化检测技术

1. 变化检测技术方法概述

早在1998年,日本学者就开始利用震前、震后ERS-1数据强度相关系数的变化特征对城镇损毁区进行探测。发现图像间强度相关系数的变化在一定条件下可以较好地探测地震损毁区(龚丽霞等,2012)。张景发等(2002)以张北地震区为例,介绍了地震前后SAR图像的变化检测方法,并对震区的SAR图像进行了变化检测处理,为利用遥感图像检测建筑物的地震破坏进行了有益的探索。张瑞等(2011)用2m分辨率的多时相Terra-SAR-X影像,对地表信息变化检测的方法进行探讨并形成工作流程,该工作流程被应用于成都市国土部门的土地执法检查工作中,对双流区2008~2009年间的土地利用变化情况进行检测,证明了高分辨率SAR影像可用于地表信息的变化检测。

变化检测是确定一段时间内地物是否发生变化的技术。张景发等(2002)认为检测的内容包括:①检测已经发生的变化;②识别变化的性质;③判断变化的区域范围;④评估变化的空间模式。当前研究较为成熟的变化检测技术多用于光学遥感,很多学者依据不同的分类标准对变化检测的方法进行了分类和归纳。传统的划分方法,即分为直接比较法和分类后比较法。陈鑫鏢(2012)又将直接比较法概括为影像代数法、植被指数法、相关系数法、主成分分析法、变化向量分析法、交叉相关分析法等。

张辉(2008)在总结前人的基础上认为根据解决问题的角度,可以从检测层次、应用角度、算法角度等进行分类,并指出目前应用最多的还是应用算法进行检测。钟家强(2005)基于代数运算、图像变换、图像分类、结构特征等将算法类变化检测分为四类,并分别对各种方法的特点、优缺点及关键问题进行了总结。熊羽(2013)认为根据变化信息中不同的检测对象,将其分为像素级、特征级和目标级三个层次,并对每个层次常见的方法和存在的问题做了介绍,使用像素级算法进行了实验和评价。

除了图像差值法、图像比值法、分类后比较法、主成分变换法、假彩色合成等较为常用的变化检测方法外,随着土地覆盖变化的复杂性以及遥感数据的多样性,也涌现出一些新的变化检测算法,如马尔科夫随机场模型(申邵洪等,2010)、支持向量机、利用面向对象分类技术进行分类等(Benz, U, 2001)。面向对象的分类技术也称为基于影像分割的变化检测技术,该方法在实践中取得了良好的检测效果。如王慕华等(2009)为了对伊朗2003年地震前后的巴姆古城标志性建筑进行检测,利用面向对象分类的变化检测技术进行实验,总体精度达到89.73%。此外,还有一些组合的方法开始逐渐被使用,如马国

锐等(2006)提出差值融合比值法对高分辨率遥感影像进行变化检测;杨胜等(2009)利用差值法和分类后比较法对遥感影像进行变化检测,取得了良好的效果。

上述很多方法都涉及到光谱分析,如假彩色合成等适用于多光谱影像。对 SAR 图像而言,地物特征以灰度、结构、形状和纹理等形式表现(贺素歌,2013),该类方法便不再适用。很多国外学者对此进行了探索,总结了一些基于雷达影像的变化检测方法。如 Takashi 等(2007)用相关系数法以及标准偏差系数法进行了比较,发现相关系数提取的变化区域要小于标准差系数提取的区域,对于大面积变化区域更适合用标准差系数法来进行变化检测。Fabio 等(2008)提取出后向强度、相关参数以及纹理参数特征,进行神经网络监督分类,继而进行变化检测。这都证明了雷达影像进行变化检测的可行性。

2. 变化检测技术流程

通过单幅 SAR 图像,可以实现地物目标的分割、检测和识别。SAR 图像变化检测是通过对同一地区不同时期的两幅或多幅 SAR 图像进行比较分析,根据图像之间的差异来得到所需的地物变化信息。当前,提供变化检测模块的专业软件已有 ERDAS、ENVI 等,虽然它们都不是针对 SAR 影像的变化检测,但依然能够得到较为理想的结果。SAR 图像变化检测技术的一般过程如图 1 所示,主要包括以下步骤:选择遥感数据源、影像处理、变化检测进行变化信息提取和精度评估。

1) 遥感数据源的选择

数据源的选择主要是两期遥感影像和相应辅助数据的获取。在变化检测前,应事先了解待检测地物的自然特征、光谱特征等,选取满足条件的遥感数据。另外,在获取数据时,应尽量选择同一传感器的数据,尽可能选择同一时期、同一时刻的遥感影像,以消除气候和太阳高度角不同引起的图像差异。

2) 影像处理

利用遥感影像进行变化检测震害信息提取之前,需要对最初拿到的数据进行处理工作。首先对收集到的影像数据进行几何校正、辐射校正、正射校正等一系列预处理,使影像具有精确的地理信息系统;然后针对试验区进行裁剪处理,去除边缘效应的干扰;最后进行影像增强处理,如直方图匹配、滤波、纹理分析等,使得影像具有较高的清晰度,保证后期震害变化检测提取的质量。

3) 变化信息提取

在变化信息提取时,大多数变化检测技术要求选择一个阈值,确定阈值的意义在于界定图像中的变化。虽然有关研究给出了一些具体的变化阈值,但这受研究区域和数据特征等具体情况的制约,目前依旧缺乏自动或半自动的方法来有效地确定变化和非变化像元之间的变化强度阈值,变化和非变化之间的最优阈值的确定被公认为是变化检测中的关键问题和挑战。阈值分割的方法主要有:Otsu 阈值选择和基于边缘灰度聚类的阈值选择。

阈值分割之后,经过对处理结果的增强、人工解译、分类等操作,确定变化信息的范围、大小及其变化类型。

4) 精度评价

目前,变化检测的精度评价一般是通过对“变化/未变化”类型构建误差矩阵表示。常用的评价指标主要有用户精度、生产者精度、总体精度和 Kappa 系数等。

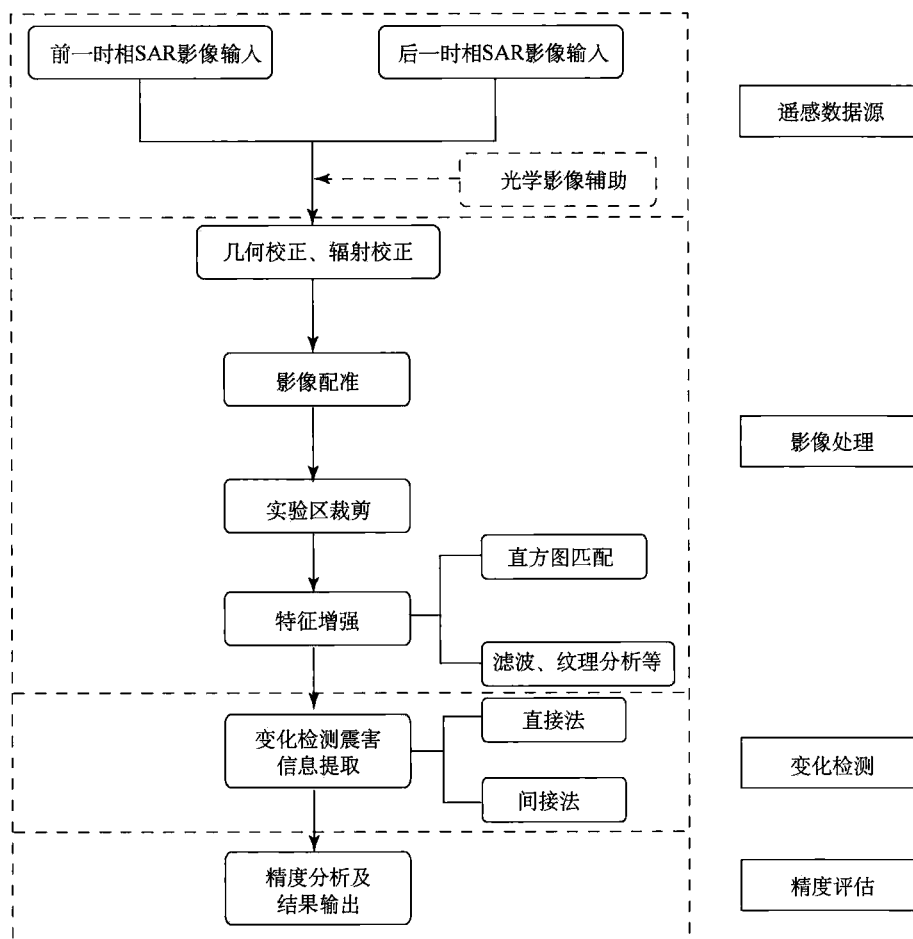


图1 变化检测技术流程

下面对本文的技术流程进行详细说明：

(1) 确定遥感数据源和研究区域后，分别将 T_1 时期和 T_2 时期 SAR 数据在 ENVI 或其他处理软件中打开；

(2) 对实验对象进行预处理工作，主要包括几何校正、辐射校正、噪声抑制等。对于同一传感器类型、具有相同地理坐标的数据，不再需要进行几何校正。SAR 影像不受大气影响，可采用较为简单的相对辐射校正，如图像回归法、伪不变特征法等。

(3) 影像配准。根据实验数据的实际情况，选取某一时相的数据为基准，另一时相即为待配准数据。基准图像必须包括标准的地图坐标或者 RPC 信息，不能是像素坐标、有坐标没有投影信息（arbitrary 坐标信息）和伪坐标（pseudo）；待配准影像没有严格约束，但如果没有坐标信息，需要手动选择至少 3 个同名点。ENVI5.0 以上版本已提供影像配准流程化工具 Image Registration Workflow，自动选取特征点，默认二次多项式匹配和三次卷积法重采样，对两幅几何位置有偏差的影像进行配准。配准完成后即可裁剪出实

验区。

(4) 滤波与纹理分析。本文在下述实例中采用 Frost 滤波,它是局域统计的自适应滤波算法,滤波参数由局域方差系数决定。窗口大小选择为 3×3 。滤波后影像的标准差将变小,数据更为平滑。纹理分析中选取均值(mean)、反差(the contrast)和熵(entropy)为特征量。

(5) 变化检测及结果的后期处理。ENVI 中的 Change Detection 流程化工具和 ArcGIS 中的栅格计算器都可以对影像进行“相减”和“相除”来得到差异图。根据差异图的直方图不断调整阈值,可得到变化信息和未变化信息。

3. 变化检测的技术方法

变化检测方法按照数据是否进行分类可分为直接法和间接法。直接法的一般流程是先对不同时相的影像进行差值、比值等处理,获得灰度变化图像后通过调整阈值确定变化区和未变化区。间接法则是先对不同时相的图像分别进行分类,提取待检测的信息后对分类图进行差值或比值等处理。

1) 差值法

对不同时相的 SAR 图像进行对应像素灰度值或纹理特征的“求差”运算,得到差值图像,选择合适的阈值判断发生变化的像素,此为图像差值法的基本原理。设传感器对于地面上同一位置在不同时间 t_1 和 t_2 获得的遥感图像分别为 $X_{t_1}(i, j)$ 和 $X_{t_2}(i, j)$,对它们进行精确的配准后,对应像元进行相减运算,其定义如下:

$$D(i, j) = X_{t_2}(i, j) - X_{t_1}(i, j) + C$$

其中, $D(i, j)$ 为差值图像像素值, $X_{t_1}(i, j)$ 和 $X_{t_2}(i, j)$ 分别为时相 t_1 和 t_2 时刻图像的像素值, C 为常数。在新生成的差值图像中,没有变化的区域的像素值接近零,有变化的区域像素值则可能为正或负,为了使得像素值都大于零,常常加上一个常数 C ,或者取绝对值,即:

$$D(i, j) = |X_{t_2}(i, j) - X_{t_1}(i, j)|$$

如果差值图像中像素的灰度值大于阈值 T_d ,就认为该像素发生变化,否则没有发生变化。阈值对于变化检测的结果至关重要,需要凭借经验和多次试验选取合适阈值。用对应像素灰度值直接相减的效果很差,一般都取窗口,用窗口均值代替窗口中心像素的灰度值进行计算。该方法的优点是简单、直观,结果比较容易解译(郭瑞刚, 2011);缺点是容易受成像质量、波谱特征、噪声等的影响,不能确定变化的类型;要注意的关键问题是需要选择合适的波段和确定门限(张辉, 2008)。

2) 比值法

图像的比值处理又称为相除运算,也是遥感图像处理中常用的方法,是相对较快又比较简单的方法。设 $X_{t_1}(i, j)$ 和 $X_{t_2}(i, j)$ 分别为传感器对于地面上同一位置在不同时间 t_1 和 t_2 获得的遥感图像,对它们进行精确配准后,对应像素值进行相比运算,其定义

如下:

$$R(i, j) = \frac{\lambda}{X}; X_{i1}(i, j)$$

其中, $R(i, j)$ 为比值图像像素值, $X_{i1}(i, j)$ 和 $X_{i2}(i, j)$ 分别为时相 t_1 和 t_2 时刻图像的像素值。如果区域没有变化则其结果接近 1, 否则区域就发生了变化, 且其值远大于或小于 1。类似地为了克服噪声, 也采用一定大小的窗口进行平均后再进行比值运算。作为对比值法的推广, 有学者提出了对数比值法, 即在得到对应像素的比值后, 对其取以 e 为底的对数, 这样就把乘性噪声转化为加性噪声, 对实际应用有很大意义。比值法的优点是对图像的乘性噪声不敏感; 缺点是比值结果往往是非正态分布, 使处理困难 (张辉, 2008)。

3) 相关系数法

通过计算不同时相图像对应像素灰度值之间的相关系数, 得到的结果代表对应像素的相关性。通过相关系数来判定影像是否变化的方法为相关系数法。相关系数法是一种基于邻域的变化检测方法, 考虑了相邻区域而不是孤立的像元, 更能检测出图像的变化。相关系数的计算公式为:

$$Y(i, j) = \frac{\sum_{x, y \in A} [X_1(x, y) - \bar{X}_1][X_2(x, y) - \bar{X}_2]}{\sqrt{\sum_{x, y \in A} [X_1(x, y) - \bar{X}_1]^2} \cdot \sqrt{\sum_{x, y \in A} [X_2(x, y) - \bar{X}_2]^2}}$$

式中: (i, j) 为中心像素; A 表示大小为 $M \times N$ 的滑动窗口; \bar{X}_1 和 \bar{X}_2 分别表示滑动窗口内像素灰度值的均值。滑动窗口的大小根据图像的分辨率和不同的应用目的进行选择。相关系数越接近于 1, 表明两个像元的相关性越大, 像元发生变化的可能性越小。(贺素歌, 2013)。该方法的缺点在于只考虑像对应像素了单个波段的灰度信息, 未能综合利用多个波段的相关信息。此外, 窗口的大小也不易确定 (陈鑫鏢, 2012)。

4) 回归图像法

图像回归法是假设一个图像的像素值是另一时间对应像素值的一个线性函数, 假设回归函数是线性的, 则:

$$X_{i2}(i, j) = aX_{i1}(i, j) + b$$

其中 a 、 b 待定, a 为这个一元线性回归函数的回归系数。 a 和 b 可以通过最小二乘法估计, 即通过两个图像之间的像素值来求解, 计算公式如下:

$$\hat{a} = \bar{X}_{i1} - \bar{b}\bar{X}_{i2}$$

$$\hat{f} = \frac{\sum_{k=1}^{\Delta t} (X_{i1}(k) - \bar{X}_{i1})(X_{i1}(k) - \bar{X}_{i2})}{\sum_{k=1}^{\Delta t} (X_{i1}(k) - \bar{X}_{i1})^2}$$

其中, $X_{i1}(k)$ 和 $X_{i2}(k)$ 分别表示图像中的某点像素值, $\bar{X}_{i1}(k)$ 和 $\bar{X}_{i2}(k)$ 分别表示图像窗口像素的平均值。 $\bar{X}_{i1}(k)$ 和 $\bar{X}_{i2}(k)$ 之间的差值用 $D(i, j)$ 表示, 定义如下:

$$D(i, j) = \bar{X}_{i2}(i, j) - X_{i2}(i, j)$$

如果差值图像中像素的灰度值大于阈值 T_d , 就认为该像素发生变化, 否则没有发生变化。用对应像素灰度值直接相减的效果很差, 一般都取窗口, 用窗口均值代替窗口中心像素的灰度值进行计算。它的优点是减少大气、入射角和环境差异的影响, 缺点是需要得到准确的回归等式, 且需要选择合适的波段, 关键在于选择合适的门限和确定回归等式(郭瑞刚, 2011)。

5) 主分量法

假设多时相遥感图像高度相关, 通过主分量分析, 能够使得变化信息在新成分中得到增强。

在新成分中得到主分量是利用了 K-L 主成分变换。设 $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ 为 n 维的原始数据向量, 对其作线性变换 $y = A^T \cdot x$, 其中 $A = [A_1, A_2, \dots, A_n]^T$ 为 $n \times n$ 维的正交变换矩阵; A_i 为 A 的基向量。

令 Y 中的后 $n-m$ 个特征向量 $\{y_{m+1}, \dots, y_n\}$ 为噪声特征, 且它们可用所有 Y 向量的相应特征分量的均值 b_{m+1}, \dots, b_n 来估计。判定 y_1, \dots, y_m 有效性的依据是: 有效特征 $y' = [y_1, \dots, y_m]^T$ 加上噪声特征 $y'' = [y_{m+1}, \dots, y_n]^T$ 代替 Y , 对 x 进行估计时的均方差最小。可以证明, 这种条件下得到的变换矩阵 A 的各基向量 A_i 是向量 x 的协方差矩阵的特征向量, 而 y 的有效特征则是分别由 x 通过其协方差矩阵的前 m 个特征向量 A_1, A_2, A_m 变换而得到, 即 $y' = A^T \cdot x$ 。

这种方法可以有效地减少光谱数量, 只保留几个有效成分, 适用于多光谱图像大部分发生变化的情形(黄勇, 2006)。

6) 分类后比较法

这是一种比较简单的方法, 原理是先对每一时相影像以相同的分类标准单独分类, 然后根据相应像素类别的差异来识别发生变化的区域, 其分类过程可以是监督的或非监督的。该方法的优点是能够确定变化类型, 在一定程度上可以避免因季节差异、传感器差异及配准精度等带来的误差, 最小化地减少非地物变化因素的影响; 另外, 由于是先对影像分类然后再比较, 不会局限于两个时相影像的比较, 还可以对多时相影像进行变化检测分析。缺点是对分类误差会产生组合影响, 分类方法的选择和分类精度的要求很严格。

4. 变化检测实例

本文采用上述提到的变化检测流程, 以 2008 年汶川地震都江堰地区为例, 收集了 ALOS-PALSAR 数据, 进行震前震后建筑物群损毁情况的变化检测实验, 前后时相数据获

取时间分别为 2007 年 12 月 21 日和 2008 年 6 月 22 日，影像分辨率约 20m。对两景影像进行一系列处理后，应用差值法和比值法，通过不断调整阈值，提取出建筑物群的变化信息如图 2、图 3 所示，黄色为建筑物群基本完好区域，红色为倒塌区域。同时，本文应用光学影像以及野外实地测量结果矢量图作为对比验证，如图 4 所示，绿色为基本完好区域，红色为倒塌区域。对比表明，提取结果与实地测量结果基本吻合。以图中编号 1 和 2 的区域为重点对比区，可清晰辨别出建筑物的倒塌。

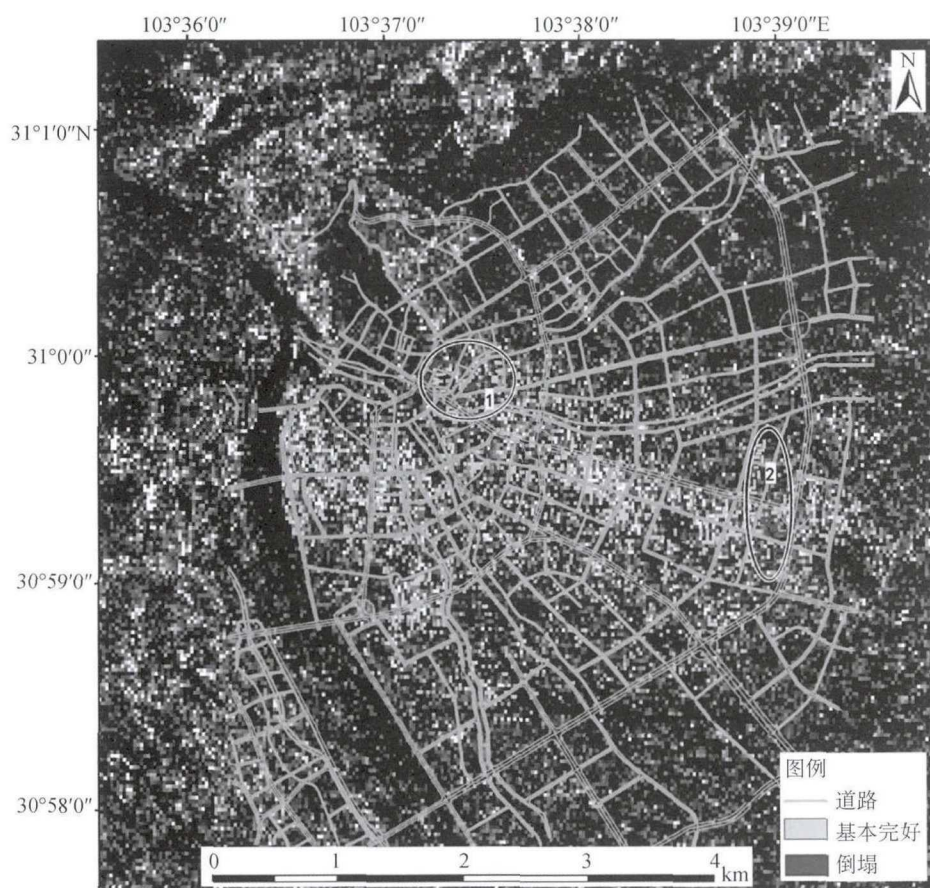


图 2 差值法变化检测建筑物倒塌信息提取结果

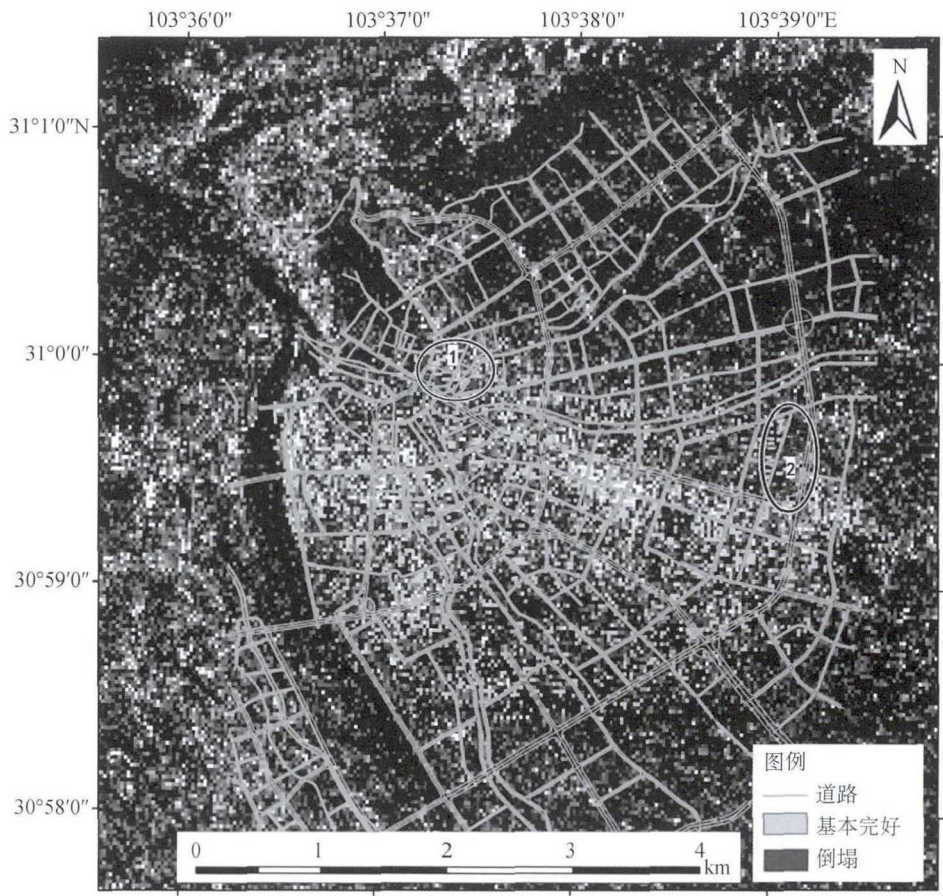


图3 比值法变化检测建筑物倒塌信息提取结果

前面提到，比值法变化检测方法，在预处理过程结束后，影像的灰度值易出现“0”值，这对比值法来说是一个较大的干扰。采取将对应像素的比值取自然对数的方法，既可以将乘性噪声转化为加性噪声，又有效地避免了“相比”过程中面临的“0”值问题。

通过差值法、比值法变化检测提取震害建筑物信息可知，两种传统方法在 SAR 图像变化检测中都能够较好地 将变化的信息提取出来，但在提取精度方面，由于影像分辨率等问题，仍需对照光学影像进行评定。此外，雷达影像虽不受天气、时相和过境角度等影响，却因受后向散射等因素干扰，影像灰度值会存在差别，故当前后时相的灰度值差别太大时则认为是地物发生了变化，否则认定为未变化。因此，阈值的确定十分重要，需要经验积累及根据影像直方图 为参考不断地进行试验来确定。

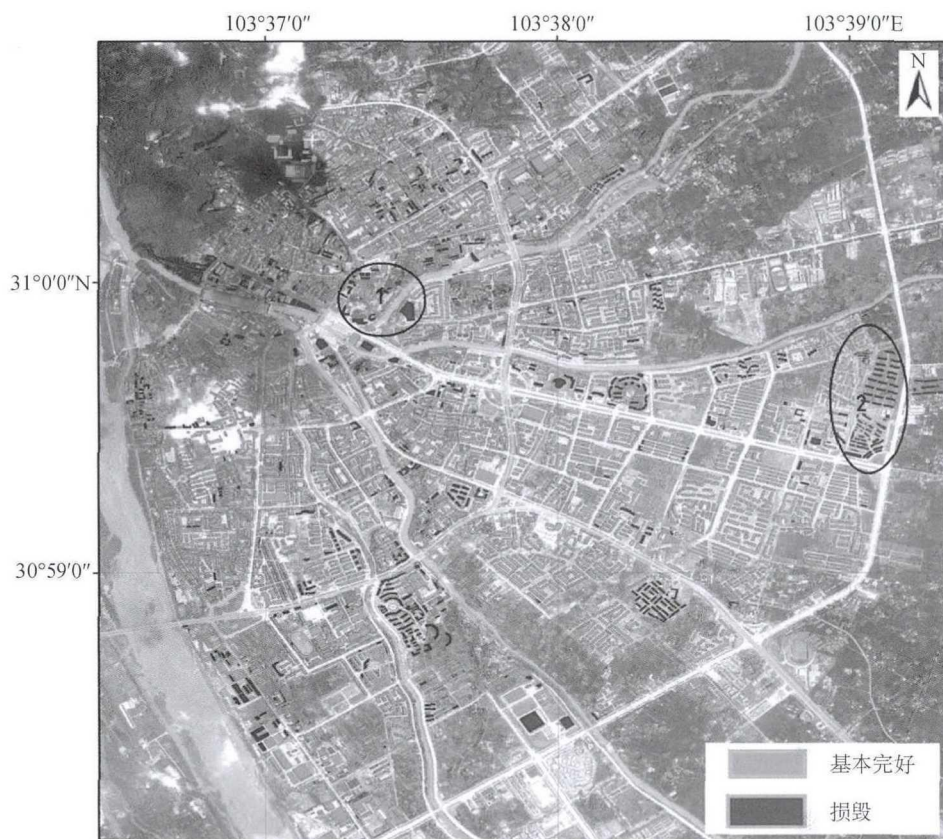


图4 光学影像与建筑物实地测量矢量图叠加结果

四、结 论

本文在介绍了 SAR 与变化检测发展现状和技术方法的基础上,整理了利用 SAR 进行建筑物变化检测的技术流程,即在确定遥感数据源后,进行几何校正、影像配准、区域裁剪等一系列影像处理,进而选择变化检测方法提取变化信息,最后通过与光学影像比对或定量分析等进行精度评定。本文应用基本的代数运算变化检测算法,即差值法和比值法对都江堰地区震害建筑群倒塌情况进行了变化检测,在与光学影像和实地量测结果对比后可确定倒塌范围。但在阈值确定方面主要依靠先前积累的经验,且精度方面不能够定量评价,希望能在后续的研究中不断得到改进。

参 考 文 献

- 陈富龙, 张红, 王超. 2007. SAR 变化检测技术发展综述. 遥感技术与应用, 22 (1): 109 ~ 115.
- 陈鑫鏢. 2012. 遥感影像变化检测技术发展综述. 测绘与空间地理信息, 35 (9): 38 ~ 41.
- 龚丽霞, 安立强, 张景发. 2012. 利用 SAR 变化检测方法提取城镇震害. 信息通信, (4): 39 ~ 40.
- 郭瑞刚. 2011. SAR 图像变化检测方法研究. 西安, 西安电子科技大学.
- 贺素歌. 2013. SAR 图像用于震害信息变化检测中的处理方法研究. 北京: 中国地震局地震预测研究所.
- 黄勇. 2006. SAR 图像变化检测及相关技术研究. 成都: 电子科技大学.
- 李永生. 2014. 高级时序 InSAR 地面形变监测及地震同震震后形变场反演. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所.
- 马国锐, 李平湘, 秦前清. 2006. 基于融合和广义高斯模型的遥感影像变化检测. 遥感学报, 10 (6): 847 ~ 852.
- 申邵洪, 谭德宝, 梁东业. 2010. 基于马尔科夫随机场的多时相 SAR 影像变化检测研究. 长江科学院院报, (1): 49 ~ 51.
- 田馨. 2013. InSAR 技术形变监测中的干涉条件研究. 武汉: 武汉大学.
- 王慕华, 张继贤, 李海涛, 等. 2009. 基于区域特征的高分辨率遥感影像变化检测研究. 测绘科学, 34 (1): 92 ~ 94.
- 熊博莅. 2012. SAR 图像配准及变化检测技术研究. 长沙: 国防科学技术大学.
- 熊羽. 2013. 遥感图像变化检测研究. 昆明: 昆明理工大学博士论文.
- 杨胜, 李敏, 彭振国, 等. 2009. 一种新的多波段遥感影像变化检测方法. 中国图象图形学报, 14 (4): 572 ~ 578.
- 张辉. 2008. SAR 图像变化检测技术研究. 成都: 电子科技大学.
- 张景发, 谢礼立. 2002. 建筑物震害遥感图像的变化检测与震害评估. 自然灾害学报, 11 (2): 59 ~ 64.
- 张瑞, 刘国祥, 李涛, 等. 2011. 基于高分辨率 TerraSAR-X 影像的城市土地利用变化检测. 铁道勘察, (4): 17 ~ 21.
- 钟家强. 2005. 基于多时相遥感图像的变化检测. 长沙, 国防科学技术大学.
- Benz, U. 2001. DefiniensimaginggmbH: Object-oriented classification and feature detection. IEEE Geoscience and Remote Sensing Society Newsletter, (9): 16 ~ 20.
- Fabio Del Frate, DomenicoSolimini. 2008. Monitoring Urban Land Cover in Rome, Italy, and Its Changes by Single-Polarization Multitemporal SAR Images, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, June: 87 ~ 97.
- Takashi Nonaka, Takashi Shibayama, Hiroko Umakawa. 2007. A comparison of the methods for the urban land cover change detection by high resolution SAR data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, June: Vol, 23 ~ 28, July: 3470 ~ 3473.

Overview of SAR Image Change Detection

Wang Na^{1,2} Zhang Jingfa¹

(1. Institute of Crustal Dynamics, CEA, Beijing 100085, China)

(2. China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: Synthetic aperture radar (SAR) satellite has the characteristics of working in any weather and any time, which provides an effective way to obtain the information of the earth in space. The change detection technology (change detection), as a very important method for remote sensing applications, has made rapid progress in recent years. On the basis of introducing the present situation of SAR satellite data, this paper mainly introduces the methods and processes of the change detection based on SAR image, and extracts the distribution information of the seismic buildings by using ALOS data in Dujiangyan area of Wenchuan. The experiments proved that the traditional methods of change detection are effective for seismic damage information extraction of SAR images, and can be used in the extraction and evaluation of seismic damage information.

Keywords: SAR; change detection; ALOS; seismic disaster information extraction