

林元茂, 李建, 韩立. 灾后复杂地形区域的测量测绘模型设计[J]. 灾害学, 2019, 34(4): 35–40. [LIN Yuanmao, LI Jian and HAN Li. Design of survey and mapping model for complex topographic areas after disaster[J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(4): 35–40. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.04.007.]

灾后复杂地形区域的测量测绘模型设计^{*}

林元茂¹, 李 建¹, 韩 立^{2,3}

(1. 重庆工程职业技术学院, 重庆 江津 402260; 2. 成都理工大学 生态资源与景观研究所, 四川 成都 610059;
3. 成都理工大学 国家环境保护水土污染协同控制与联合修复重点实验室, 四川 成都 610059)

摘 要: 灾后地形变化复杂, 基于单一线性模型的测量测绘方法, 测量灾区坡度陡、高差大等复杂地形时, 无法有效拟合复杂地形趋势、获取高程点精度差, 导致测量精确度较低。该文设计一种用于灾后复杂地形区域的测量测绘模型, 在外部 DEM 辅助下精化灾区地形 DEM, 对灾区遥感 InSAR 影像进行干涉定标, 实现干涉影像与外部 DEM 的精准对应; 将多模型的线性回归策略与灾后复杂地形趋势相拟合, 对解缠干涉影像图中全部影像快, 通过多模型的线性回归, 逐个像素精确的去相位解缠中多余相位, 过滤无价值高程点, 得到有效灾区地形高程图, 从中采集精确地灾后复杂地形区域高程点。实验结果表明, 该模型可提高灾后复杂地形区域绘图精确度, 对总体灾区地形 InSAR 影像测量效率高, 测量的平均高程误差为 $\pm 6.2\text{cm}$, 比单一线性模型低 $\pm 3.77\text{cm}$ 。

关键词: 灾后; 复杂地形; 测量测绘; InSAR 影响; 干涉定标; DEM

中图分类号: P284; X43; X915.5; **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2019)04-0035-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.04.007

我国是世界上自然灾害种类最多的国家, 自然灾害对地理状况会产生很大的影响, 以 2008 年 5 月 12 日汶川地震为例, 地震共造成 69 227 人死亡, 374 643 人受伤, 17 923 人失踪, 严重破坏地区超过 10 万 km^2 , 其中, 极重灾区共 10 个县(市), 较重灾区共 41 个县(市), 一般灾区共 186 个县(市)^[1]。地震造成地震重灾区和极重灾区许多地方的地形地貌出现极大的变化, 大量的建(构)筑物都遭受严重的破坏, 同时也会给灾后地形的测量测绘工作造成极大的困难。因此, 可靠的灾后复杂地形区域的测量测绘方法是目前急需解决的问题。许多学者针对这一情况进行了研究, 王旻^[2]提出基于重建三维地形的虚拟重建方法, 可以获得相关的地形复杂图像, 但该方法未对地形图像进行干涉解缠, 大大降低了测量测绘的精确度。乐林等^[3]提出一种估计地形复杂度的 LiDAR 点云多尺度滤波方法, 该方法需要对大量云数据进行多尺度滤波处理, 复杂度高, 测量效率低。采用基于单一线性模型的测量测绘方法测量灾区复杂地形过程中, 不能滤波处理生成的 DEM 和外

部 DEM 范围内的系统粗差, 不能过滤掉无价值高程点, 测量效果差。

为了解决上述方法中存在的问题, 本文设计一种用于灾后复杂地形区域的测量测绘模型。通过遥感技术进行定标, 进而获得灾区复杂地形的精准影像, 然后运用线性回归方法得到高程点, 最后通过实验验证本文方法的准确性、有效性。

1 灾后复杂地形区域的测量测绘模型设计

1.1 精化灾区地形 DEM

灾后复杂地形区域遥感 InSAR 影像受到解缠相位残余、雷达阴影等造成的相位粗差干扰, 会对最终灾区地形 DEM(离散单元法)精度造成影响^[4]。因此, 需要精化灾区地形 DEM, 获取高精度的灾区地形高程图。在干涉相位误差的基础上, 对灾区地形 DEM 进行精化, 精化过程在外部 DEM 辅助下完成, 对灾区遥感 InSAR 影像进行干涉定标, 建立干涉影像和外部 DEM 的精确关系, 将定

^{*} 收稿日期: 2019-03-01 修回日期: 2019-05-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(41501060)

第一作者简介: 林元茂(1986-), 女, 汉族, 四川富顺人, 实验师/工程师, 研究方向为工程测量实训教学与实践。

E-mail: yuanmao601520@163.com

标后精度高的外部 DEM 从地理坐标变换到雷达距离-多普勒坐标系下,实现干涉影像与外部 DEM 的精准对应,在解缠干涉影像图中通过多模型的线性回归逐个像素精确的去除相位趋势,最后将无价值高程点滤除,获取精确地灾后复杂地形区域高程点^[5]。

本文模型主要是将初始斜矩、相位偏置、基线长度、基线倾角等参数通过现有地面定标点坐标求得的过程,现有地面定标点通常由布设角反射器所得^[6]。通过干涉定标可以将灾区地形机载 InSAR 图像参数对 DEM 精度的影响消除,将基线量测精度提高,由此达到提高最终灾区地形 DEM 精度的目的。由现有的国内外研究结果可知,基线估计精度通常都很低,尤其是机载 InSAR,因为其基线过短,细微的改变都将影响最终的 DEM 精度,因此基线定标的单位需要精确到毫米。

1.1.1 定标方法和流程

设定一三维坐标系,距离向方向用 X 轴表示,方位向方向用 Y 轴表示,垂直于 X 轴和 Y 轴组成的平面用 Z 轴表示。两个天线的位置坐标用 A_0 和 A_1 表示, A_0 和 A_1 的间距就是基线长度,第一个天线中心在坐标系内位置坐标用 $A_0(0, 0, H)$ 表示,第一个天线中心距离坐标原点的高度为 H ,由不同坐标原点决定 H 的大小,第二个天线中心在坐标系中的坐标用 $A_1(x, y, h)$ 表示,用 o_1 表示 A_1 点在 XY 平面的投影。

两个天线至同一地面控制点的斜矩用 R_1, R_2 表示。将待定标参数确定,基线长度用 A_l 表示,基线倾角用 A_a 表示,初始斜矩用 P_0 表示,干涉相位用 φ 表示。则依据相高转换公式,可得:

$$F(A_l, A_a, P_0, \varphi) = 0. \quad (1)$$

求导上述公式,得到方程为:

$$W = D\Delta x - l. \quad (2)$$

式中: W 是公式(1)的误差,公式(2)内每个控制点处对其待定标参数的导数用系数矩阵 D 表示。待定标参数的改正数用 Δx 表示,公式(2)的初值用 l 表示。依据最小二乘准则,可得:

$$W^T W = \min. \quad (3)$$

可以求得改正数:

$$\Delta x = (D^T D)^{-1} D^T l. \quad (4)$$

将以上公式通过迭代处理至改正数小于目标阈值时,迭代结束。

定位时需要确定初始基线倾角、基线长度等初始定标参数,参数可以通过全站仪测量雷达天线罩各角点获取^[7];通过影像配准、干涉处理、相位解缠等处理干涉影像;通过雷达影像内的量测获取定标点的像点坐标;利用定标点的像点坐

标,在解缠相位图中得到各定标点的解缠相位;通过最小二乘法对公式(4)进行迭代求解,获取新的系统参数改正数;将改正数与系统参数初始值相加,用处理过的系统参数实施相高转换;最后用检查点检测高程精度。

为了确保干涉影像同外部 DEM 间的高精度对应,需要对干涉定标后的高精度外部 DEM 进行变换处理,将 DEM 从地理坐标变换到雷达距离-多普勒坐标系中。

1.1.2 线性回归分析

灾区的地形趋势复杂多变,造成灾区复杂地形干涉影像中存在解缠干涉问题,使得灾区地形 DEM 的精度大大降低,因此将多模型的线性回归策略与地形趋势相拟合,通过多模型的线性回归方法,分析解缠干涉影像图中的相位趋势^[8]。因为灾后地形复杂的原因,需要选取多个回归模型,将解缠干涉影像图中的干涉相位依据区域增长算法分成多个子影像块,但子影像块不超过 10 个,按照地形变化分割干涉相位。依据以下步骤,对所有影像块实施回归分析。

采用式(5)将雷达距离-多普勒坐标系中的外部 DEM 转换成干涉相位:

$$\eta_z = -Q \frac{4\pi \cos(\theta - \alpha)}{\eta_z \lambda R \sin \theta}. \quad (5)$$

式中:外部 DEM 转化得到的干涉解缠相位用 η_z 表示;干涉解缠系数用 λ 表示;基线长度和斜矩方向上传感器同目标间距离用 B 和 R 表示;入射角同基线以及水平方向间的夹角为 θ 和 α ;外部 DEM 高程值为 Q 。

下一步需要进行拟合线性模拟^[9],找到相干性比规定阈值大的有价值像素点完成模拟(规定阈值通常为 0.5)。所有影像块平均的相干性作为分割不同影像块的参考阈值^[10]。以及得到的影像上各像素的相位差 $\Delta \eta$,得到多线性回归模型为:

$$\left\{ \begin{aligned} \begin{bmatrix} l_1^1 & j_1^1 & \eta_{Q1}^1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ l_n^1 & j_n^1 & \eta_{Qn}^1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_1^1 \\ l_2^1 \\ l_3^1 \\ \vdots \\ c^1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \Delta \eta_1^1 \\ \Delta \eta_2^1 \\ \vdots \\ \Delta \eta_n^1 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} l_1^m & j_1^m & \eta_{Q1}^m & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ l_n^m & j_n^m & \eta_{Qn}^m & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_1^m \\ l_2^m \\ l_3^m \\ \vdots \\ c^m \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \Delta \eta_1^m \\ \Delta \eta_2^m \\ \vdots \\ \Delta \eta_n^m \end{bmatrix} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

每个模型像素点的个数用 n 表示,模型的总个数用 m 表示,由最小二乘拟合获取模型拟合系数 $c^k, l_1^k, l_2^k, l_3^k (k = 1, 2, \dots, m)$ 。利用迭代过程将相位解缠中多余相位清除^[11],可过滤掉残余相位比两倍标准差低的像素点,通过多模型的线性

回归逐个像素精确的去除相位解缠中多余相位^[12]。

1.2 获取有价值高程点

解缠干涉图在相位趋势除掉后可以转化成有效灾区地形高程图, 通过公式(7)计算得到高程差函数模型为:

$$Q = -\frac{\eta_z \lambda R \sin \theta}{4\pi B \cos(\theta - \alpha)} \quad (7)$$

InSAR 获取的高程值和外部 DEM 的距离范围可以去除解缠干涉图的系统粗差^[13]。用 μ 表示误差的均值, δ 表示标准偏差, 依据 Chebyshev 理论, 在区间 $\mu \pm 4\delta$ 时, 不论误差服从呈何种分布, 误差的概率最小为 94%。将高程差高于 4 倍外部 DEM 误差的无价值高程点过滤掉, 求解 InSAR 与对应外部 DEM 得到高程点的绝对高程差^[14], 挑选出绝对高程差高于 4 倍的外部 DEM 误差的高程点, 重构剩下的高程点得到精确地灾后复杂地形区域 DEM。

将无价值高程点滤除后, 因为 InSAR 影像在一些区域相干性过低, 导致在影像中形成连续无价值的高程点, 这种无价值高程点被称为“空洞”。超过 20 个像素的连续区域称为影像空洞, 其保留了无价值的高程点, 利用双线性插值方法在较小的连续区域中得到高程点, 很好地解决“空洞”问题^[15]。

依据式(7)获取的有效高程图以及有价值高程点, 可实现灾后复杂地形区域的准确测量测绘。

2 测绘模型性能分析

为了测试灾后复杂地形区域测量测绘模型的测绘精度、测绘效率等性能, 进行了如下实验检验。

2.1 测绘对象

实验选取某灾后横断山脉测图区域进行验证, 此区域属高原高山地形, 起伏较大, 地貌复杂, 容易发生地震、山体滑坡、雷击、冰雹、塌方、暴雪等自然灾害。地势高、高差大是此测图区域的地貌特点。测区内最高海拔 7 556 m, 最低海拔 540 m, 海拔平均为 2 000 ~ 6 000 m。该横断山脉整体地貌景观为东西并列, 南北纵贯。在该区域中选取一地势较为平缓的试验区, 该区域最高海拔高程为 3 312 m, 最低海拔高程为 3 094 m, 高差为 218 m。

2.2 灾区地形 DEM 的精度及结果

将 1: 100 000 的外部 DEM 引入到实验中, 外部 DEM 将实验地区的地理坐标变换成雷达距离 - 多普勒坐标时, 需要依据高程值设置的原始地理编码和轨道参数进行分析。在此基础上, 采用本文模型对实验区域 InSAR 幅度影像实施模拟, 得到精化灾区地形 DEM 后的 SAR 幅度影像模拟效果

图如图 1 所示。本文模型模拟的灾区地形 InSAR 幅度影像同真实 InSAR 纹理基本一致, 本文模型能够高精度模拟灾后复杂地形区域的 InSAR 影像, 为该地区的准确测量提供准确的分析依据。

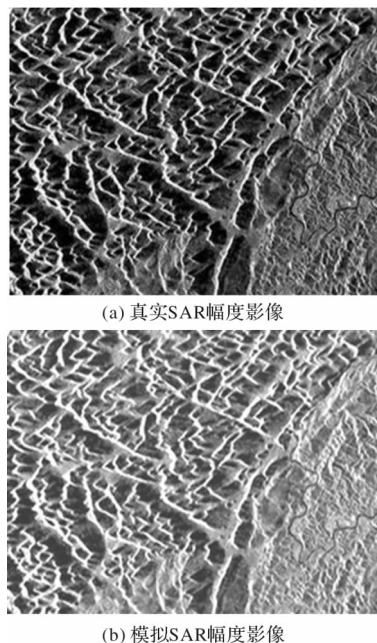


图 1 SAR 幅度影像模拟效果

2.3 灾区遥感 InSAR 影像的干涉定标结果

为了获取与干涉图在几何关系上相对应的外部 DEM, 可以通过模拟 InSAR 幅度影像与真实 InSAR 幅度影像一一对应精化地理编码表, 由外部 DEM 转化获取解缠的干涉相位。采用解缠前后的干涉相位图如图 2 所示。

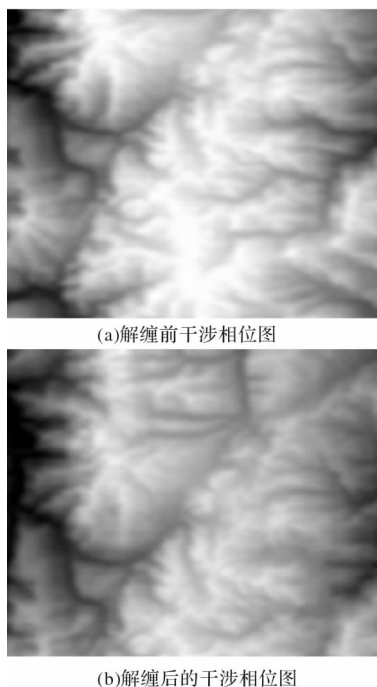


图 2 解缠前后的干涉相位图

经过干涉处理后比例为 1:100 000 的外部 DEM, 高程精度优于 26 m, 设置 4 倍外部 DEM 精度约 100 为 InSAR 高程点的滤波阈值。把图 2b 解缠后的干涉相位图分成 3 个子影像块, 可根据区域增长算法来分割。在 3 个子影像块内依次选取相干性大于 0.5 的像素点分析线性回归, 进而清除相位趋势。将 InSAR 生成的灾区地形 DEM 与其对应的外部 DEM 相减后, 过滤掉绝对高程差高于 100 m 的高程点。实验共有 15 999 879 个高程点, 理论上应该有 4 798 347 个高程点被清除, 由于影像内有“空洞”, 所以只有 4 701 324 个高程点被滤除, 剩下的点在 InSAR 生成的高程结果中被保留, 从最终的图 3 中 1:50 000 的 DEM 结果中可以看出, 精化后的灾区地形 DEM 比之前的 DEM 精确很多, 说明采用本文研究的结果可提高灾后复杂地形区域绘图精确度, 增强区域测量测绘效果。

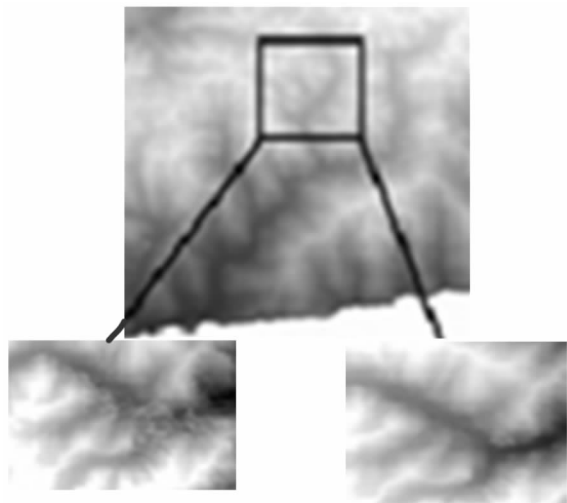


图3 1:50000DEM结果

2.4 不同模型的测量效率对比分析

把实验灾区地形 InSAR 影像分成不相同的数据块, 将单一线性模型作为对比模型, 以模型的测量效率为指标, 进行对比实验, 并得到两种不同模型的测量效率对比结果如图 4 所示。采用单一线性对比模型对实验灾区地形进行测绘, 在 0~45 s 时间段内, 测量的面积难以超过 600 km², 当 45~55 s 时, 测量的面积大幅度增加, 最大测量面积约为 1 000 km², 而后的 5s 测量面积依然不超过 600 km²; 采用本文研究结果模型对实验灾区地形进行测绘, 仅在 25~30 s 时间段内, 测量面积较小, 不超过 600 km², 而其余时间段中, 测量面积始终保持在不低于 1 000 km² 的范围内。对比两种结果充分说明, 在较短的时间内, 本文模型即可达到较大的测量面积, 且始终保持在 1 000 km² 左右的测量范围, 采用该模型的测量效率更高。

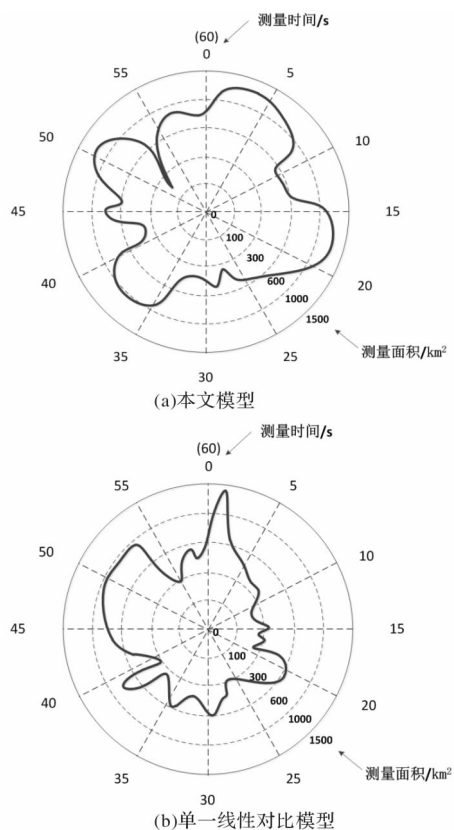


图4 本文模型测量效率

2.5 不同模型的测量精度对比分析

测量点的高程是测试模型测量精度的一个重要指标, 高程能够直接影响测量精度的高低。为此, 将单一线性作为对比模型, 进行测量精度的实验测试。在实验区内选取 10 个测量点, 测量点在 InSAR 图像中均匀分布, 本文模型和单一线性模型检测 10 个测量点得高程结果以及实际高程结果对比结果, 分别用表 1 与表 2 表示。分析表 1 得出, 对复杂灾区地形进行测绘时, 在第 9 个测量点时, 本文模型测得的高程为 3 184.11 cm, 实际高程为 3 168.54 cm, 计算高程误差为 15.57 cm, 是本次实验的最大误差; 在第 6 个测量点时, 本文模型测得的高程为 3 167.21 cm, 实际高程为 3 164.52 cm, 计算高程误差为 2.69 cm, 是本次实验的最小误差。10 个测试点的误差区间为 ± 15 cm。

分析表 2 得出, 采用单一线性模型对复杂灾区地形进行测绘时, 在第 1 个测量点时, 单一线性模型测得的高程为 3 265.96 cm, 实际高程为 3 284.64 cm, 计算高程误差为 -18.68 cm, 是本次实验的最大误差; 在第 3 个测量点时, 单一线性模型测得的高程为 3 288.44 cm, 实际高程为 3 283.41 cm, 计算高程误差为 5.03 cm, 是本次实验的最小误差。10 个测试点的误差区间为 ± 19 cm。

表 1 测量点高程及测量误差对比

量点序号	X 坐标	Y 坐标	测量点实际高程/cm	本文模型高程/cm	测量误差/cm
1	212266	3633545	3284.64	3275.45	-9.19
2	212446	3656757	3274.9	3281.74	6.84
3	212868	3657244	3283.41	3286.74	3.33
4	212868.8	3657244	3283.41	3274.15	-9.26
5	213254.3	3645842	3175.65	3164.84	-10.81
6	213368.5	3648457	3164.52	3167.21	2.69
7	213754.3	3642018	3157.24	3160.74	3.5
8	214124.2	3635874	3159.74	3170.81	11.07
9	214584.5	3648741	3168.54	3184.11	15.57
10	214987.2	3643457	3174.98	3164.88	-10.1

表 2 单一线性对比模型高程与测量点实际高程对比表

测量点序号	X 坐标	Y 坐标	测量点实际高程/cm	单一线性模型高程/cm	测量误差/cm
1	212266	3633545	3284.64	3265.96	-18.68
2	212446	3656757	3274.9	3287.21	12.31
3	212868	3657244	3283.41	3288.44	5.03
4	212868.8	3657244	3283.41	3269.52	-13.89
5	213254.3	3645842	3175.65	3161.43	-14.22
6	213368.5	3648457	3164.52	3170.56	6.04
7	213754.3	3642018	3157.24	3169.32	12.08
8	214124.2	3635874	3159.74	3173.11	13.37
9	214584.5	3648741	3168.54	3186.21	17.67
10	214987.2	3643457	3174.98	3161.84	-13.14

对比表 1 和表 2 的实验结果可以看出, 单一线性模型的最大高程误差比本文模型的最大高程误差大 3.11 cm, 其最小高程误差比本文模型的最小高程误差大 2.53 cm, 10 个测试点的误差区间要比本文模型 10 个测试点误差区间范围大出 ± 4 cm。由此结果充分说明, 本文模型的高程误差范围较小, 相对的测量精度较大。

综合上述四组实验结果得出, 本文研究得到的灾后复杂地形区域的测量测绘模型得到的 SAR 幅度影像模拟效果较好, 解缠前后的干涉相位图十分清晰, 保留的高程点较为准确, 且经过实验对比分析, 测得所设计模型的测量效率和测量精度均远远高于单一线性模型的测量效率和测量精度, 具有更高的应用价值。

3 结论

针对灾后复杂地形区域, 采用基于单一线性模型的测量测绘方法测量时, 无法有效过滤掉无价值高程点、测量精度低的问题, 本文研究得到高精度的灾后复杂地形区域的测量测绘模型, 依据高分率雷达影像的外部 DEM 辅助实现测量测绘, 并且将多模型的线性回归策略与地形趋势相拟合,

通过多模型的线性回归逐个像素精确的去除相位解缠中多余相位, 得到有效高程图, 从中采集精确地灾后复杂地形区域高程点。实验验证了本文模型在灾后横断山脉这种地势高、起伏大地貌复杂的地形情况下, 模拟的灾区地形 InSAR 幅度影像同真实 InSAR 纹理基本一致, 为该地区的准确测量提供准确的分析依据; 表明本文模型有着可靠的精确度与稳定度, 能满足灾后复杂地形区域的测量测绘要求, 具有较高的实用性。

参考文献:

- [1] 陈升, 李兆洋, 张建. 汶川地震、芦山地震对灾民影响差异性比较研究[J]. 灾害学, 2017, 32(3): 150-158.
- [2] 王旸. 基于重建三维地形的虚拟重建方法研究与仿真[J]. 计算机仿真, 2016, 33(9): 418-421.
- [3] 乐林, 江万寿, 李朝奎. 一种顾及地形复杂度的 LiDAR 点云多尺度滤波方法[J]. 测绘科学, 2016, 41(11): 130-136.
- [4] 李沛鸿, 祝宏宇. 复杂地形条件的地表面积计算软件开发[J]. 测绘科学, 2017, 42(11): 141-145.
- [5] 王曾珍, 郑新奇, 郑文华. 顾及地理国情监测的地形图测绘改进探讨[J]. 测绘通报, 2015, 31(2): 62-65.
- [6] 张玥, 唐金旺, 周救, 等. 峡谷复杂地形风场空间分布特性试验研究[J]. 振动与冲击, 2016, 35(12): 35-40.
- [7] 程雪玲, 胡非, 曾庆存. 复杂地形风场的精细数值模拟[J].

- 气候与环境研究, 2015, 20(1): 1-10.
- [8] 邵延秀, 葛伟鹏, 张波, 等. 祁漫塔格北缘断裂晚第四纪以来活动特征初步研究[J]. 地震工程学报, 2016, 38(6): 970-976.
- [9] 李盼盼, 王家鼎, 谷天峰, 等. 强夯振动加速度的量测及现场试验研究[J]. 地震工程学报, 2018, 40(1): 135-138.
- [10] 张弛, 马晓川, 李璇, 等. 千岛湖复杂地形条件下传播损失的估计与现场测量[J]. 信号处理, 2017, 33(3): 367-373.
- [11] 辛诚, 汪亚夫, 周权. 复杂地形条件下激光假目标布设问题研究[J]. 激光与红外, 2017, 47(7): 875-878.
- [12] 邹渤, 宋迎春, 唐争气, 等. 沉降观测 AR 模型的不确定性平差算法[J]. 大地测量与地球动力学, 2016, 36(8): 686-688.
- [13] 苏鹤军, 张慧, 李晨桦, 等. 高精度地形图的 Matlab 与 GMT 联合开发研究[J]. 地震工程学报, 2015, 42(2): 223-229.
- [14] 赵争. 地形复杂区域 InSAR 高精度 DEM 提取方法[J]. 测绘学报, 2016, 45(11): 1385-1385.
- [15] 魏本勇, 聂高众, 苏桂武, 等. 地震灾害埋压人员评估的研究进展[J]. 灾害学, 2017, 32(1): 155-159.

Design of Survey and Mapping Model for Complex Topographic Areas after Disaster

LIN Yuanmao¹, LI Jian¹ and HAN Li^{2,3}

(1. *Chongqing Vocational and Technical College of Engineering, Chongqing 402260, China;*
2. *Institute of Ecological Resources and Landscape Research, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;* 3. *Key Laboratory of Cooperative Control and Joint Rehabilitation of Soil and Water Pollution in National Environmental Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China*)

Abstract: The topographic change after disaster is complex. When surveying complex terrain such as steep slope and large elevation difference based on single linear model, the trend of complex terrain can not be fitted effectively, and the accuracy of elevation point is poor, which leads to low accuracy of surveying. A survey and mapping model for complex terrain area after disaster is designed. The terrain DEM of disaster area is refined with the assistance of external DEM, and the remote sensing InSAR image of disaster area is calibrated by interference, so as to realize the accurate correspondence between the interference image and the external DEM. The linear regression strategy of multi-model is fitted with the trend of complex terrain after disaster, and all images in the deconvolution interferogram are fast through multi-model. Linear regression eliminates the redundant phase in phase unwrapping accurately by pixels, filters the invaluable elevation points, and obtains the effective terrain elevation map of disaster area, from which the elevation points of complex terrain area after disaster can be accurately collected. The experimental results show that the model can improve the mapping accuracy of complex terrain area after disaster, and has high efficiency for InSAR image measurement of the overall terrain in disaster area. The average elevation error of the measurement is (+6.2 cm), which is (+3.77 cm) lower than that of the single linear model.

Key words: post-disaster; complex terrain; surveying and mapping; InSAR impact; interference calibration; DEM