

用无控制 DEM 匹配与差异探测监测 泥石流灾害的方法研究

冯义从¹, 岑敏仪², 张同刚²

(1. 四川省国土资源厅信息中心, 四川 成都 610072;

2. 西南交通大学 土木工程学院 地理信息中心, 四川 成都 610031)

摘 要: 针对泥石流易暴发区地表变化监测时控制点难以布设的困难, 基于最小二乘与稳健估计原理, 应用无控制 DEM 匹配与差异探测方法, 对川西南普歪沟流域 30 a 间由于泥石流暴发造成的地表水土流失情况进行了变化监测。通过对差异探测结果进行分析验证, 证明该方法对泥石流灾害地区的地表形变监测具有实际应用价值。

关键词: 泥石流; DEM; 匹配; 稳健估计

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2007)01-0074-04

中图分类号: TP751.1, P208

Monitoring Debris flow Hazard Based on DEM Matching and Deformation Detecting without Control Points

FENG Yi-cong¹, CEN Min-yi², ZHANG Tong-gang²

(1. Information Centre, Land and Resource Department of Sichuan Province, Chengdu, Sichuan 610072, China;

2. Geographical Information Centre, School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: In the area inundated by debris flow, constructing ground control points for terrain change detection is very difficult. The DEM matching and deformation detection technique without control points were adopted to monitor the soil and water loss caused by debris-flow in Puwaigou, southwest of Sichuan Province during the past 30 years. The experimental results validate that the proposed method is practical for monitoring the terrain changes in the debris-flow area.

Key words: debris flow; DEM; matching; robust estimation

泥石流作为山区特有的一种突发性地质灾害现象,是地质、地貌、水文、植被及人为因素共同作用的结果,主要发生在高差大、断裂构造发育、岩石软弱破碎、多暴雨的地区,具有明显的区域性。川西地区处于华南板块二级构造单元扬子陆块与松潘—甘孜活动带部位,安宁河、龙门山与仙水河三大活动断裂带构成川西“丫”字形构造格局。复杂的地形构造,致使地貌悬殊、山体破碎。它处于四川盆地亚热带季风湿润气候与青藏高原大陆性干冷气候区的交接地带,气候多变,多暴雨。在此特殊地质条件和气候条件下,泥石流暴发频繁^[1]。

由于泥石流的毁灭性破坏作用,对于泥石流灾害的监测成为国土部门的重要任务之一。随着摄影测量、RS、GPS、GIS 和计算机图像处理等相关技术的飞速发展,使用 3S 集成技术进行泥石流灾害监测、预报有着广阔的应用前景。现国内外对泥石流的研究主

要集中在基于遥感影像资料、地质资料,以及气象资料等建立泥石流预测预报模型,对泥石流灾害前后造成的地表水土流失的精确评估效果不佳。在进行泥石流灾害造成的地表水土流失监测中,焦峰等利用 GPS 对泥石流沟区测量^[2],发现“在沟道等地形狭窄区域, GPS 观测到的卫星少、分布差、信号不稳定,且容易发生卫星失锁现象,定位速度慢且精度低; 在一些坡度极陡,人又难以到达的地方,难以进行作业,也使 GPS 测量受到限制。”Welch 等采用建立一定数量控制点^[3],利用近景摄影测量方法获取不同时期 DEM,计算不同时相 DEM 的差异来监测地表土壤流失。很显然,在泥石流暴发区控制点的布设和维护是很困难的。基于多时相的 DEM 数据进行地表动态变化分析时,不同时相 DEM 数据必须配置到同一坐标系下,然后再进行变化分析。传统方法要求找到两个时相的 DEM 中的多对同名点,才能够配准。然

而,由于泥石流沟水土侵蚀和多次泥石流对地理环境和地形的影响,想要寻找相对应的同名点作为控制点有很大的困难。尤其是 2 个时相 DEM 的时间间隔较长时,同名地物点很难找到。因此,基于无控制点进行 DEM 匹配和在此基础上的差异探测研究具有广泛的应用价值。

1 匹配与差异探测原理

目前关于三维自由表面匹配的算法,大致可以分为特征匹配和整体匹配^[4]两类。特征匹配主要是基于点、线、曲率等特征的匹配,算法包括三维表面特征提取和定位、特征描述、特征匹配 3 个步骤^[5]。由于对特征提取的数据预处理会降低数据精度,造成部分有效信息的损失,且特征提取的预处理计算量大,计算效率和精度较低,易受随机误差或噪声的影响,进而降低匹配精度。整体匹配无需任何的特征提取等耗时的预处理步骤,依据整体数据点位进行匹配,计算冗余度较高,具有较高的匹配精度^[6]。基于整体匹配的最小高差算法(Least Z Difference, LZD),非常适合于规则格网形式的 DEM 匹配,该算法最早由 Rosenholm 等提出^[7],他依据 LZD 算法利用 DEM 进行航片的绝对定向。根据他的研究,使用 DEM 进行绝对定向可以获得比使用控制点更高的精度;Pilgrim 在其博士论文中对基于 LZD 算法的无控制三维表面匹配技术进行了深入研究^[8],并对其拉入范围进行了讨论;Karrars 等将该方法应用于生物体测量^[9],李志林等在以往研究基础上提出 LZD + LMS 算法^[4],他们主要侧重于匹配基础上的差异探测。

LZD 匹配是依据待匹配模型 P —规则格网 DEM 的 X, Y 坐标值,在标准模型 P 中搜索内插出相同坐标点的高程,然后以所有对应点高程差的平方和最小原则,采用最小二乘法求解 2 个模型的 7 个转换参数,3 个旋转参数 $R = [R_x, R_y, R_z]^T$, 3 个平移参数 $T = [T_x, T_y, T_z]^T$ 和一个缩放系数 S 。由于没有公共控制点, LZD 匹配是一个不断迭代的过程^[10]。在匹配完成后,这 2 个对应表面 P 与 P 的数学关系如式(1):

$$P = S \cdot R \cdot P + T \quad (1)$$

同一地区不同时期的 DEM,由于泥石流暴发等原因,使得不同时相 DEM 存在差异。在匹配过程中,必须剔除匹配表面间的差异,才能正确匹配,而只有正确匹配,才能确定 2 个表面间存在的差异,这是一个相互交替、不断迭代的过程。

基于 LZD 匹配算法实现无控制 DEM 匹配,在匹配正确完成后,将 2 匹配 DEM 纳入同一坐标系。此

时,DEM 表面对应 X, Y 坐标相同点位的 Z 值差异可以分为两部分:其中无差异区域的对应点, Z 值相同或仅存在微小差异,这些对应点的 Z 值差—近似服从 $N(0, \sigma^2)$ 分布;存在差异部分, Z 值差—显然存在由于变形引起的较大差异^[4]。以上两部分 Z 值差—同时处理时,较大的 Z 值差—可以看作是偏离整体 $N(0, \sigma^2)$ 分布的粗差,通过结合稳健估计理论,引入其对应的权函数 $w(\cdot)$ 进行判断处理,把差异点的 Z 值差判断处理问题转化为测量平差模型中的粗差处理问题^[8,11-13]。

因此,针对不同时相 DEM,由于泥石流等原因造成的表面差异探测问题,通过 LZD 匹配算法结合稳健估计理论,以无控制 DEM 匹配和差异探测方法—LZD + M 估计匹配方案解决。在匹配初始阶段,匹配模型间存在的表面差异主要表现为由于旋转、平移和缩放造成的位移变形和实际表面变形,位移变形大于实际表面变形造成的影响;随着待匹配 DEM 的形态不断调整,位移变形不断消除,在匹配后期,实际表面变形造成的表面差异占主导地位。

2 匹配试验

2.1 试验数据

普歪沟位于成昆铁路沙木拉达隧道进口处,该沟泥石流暴发频率较高。1957—1987 年间多次发生大规模泥石流,致使该流域地表水土流失严重。试验数据源为该流域 1957 年和 1987 年航片所生成规则格网 DEM。其中 DEM 格网间距均为 10 m, DEM1957 为 418×396 ,覆盖面积近 9.5 km^2 ; DEM1987 为 454×437 ,覆盖面积近 15.5 km^2 。

2.2 匹配与差异探测

试验选取 DEM1987 作为标准模型,将 DEM1957 匹配到与 DEM1987 同一坐标系。

当 R, T, S 等 7 个转换参数的 2 次迭代值之差满足以下条件时停止迭代: $|T_x| < 0.001 \text{ 格}$, $|T_y| < 0.001 \text{ 格}$, $|T_z| < 0.01 \text{ m}$, $|R_x, R_y, R_z| < 1$, $S = 0.001$ 。

采用上述 LZD + M 方法进行 2 期 DEM 的匹配和差异探测,为一个在近似配准的基础上剔除表面差异,在剔除部分差异的基础上进一步精确配准的迭代匹配过程。

2.2.1 匹配精度 在采用无控制 DEM 匹配前,由于两期 DEM 间未精确配准,两者坐标之间存在一定的转换、平移和缩放。为了比较匹配前两期 DEM 坐标系之间存在的差异,对 DEM1957 和 DEM1987 分别做 100 m 等高距等高线图,如图 1 所示。

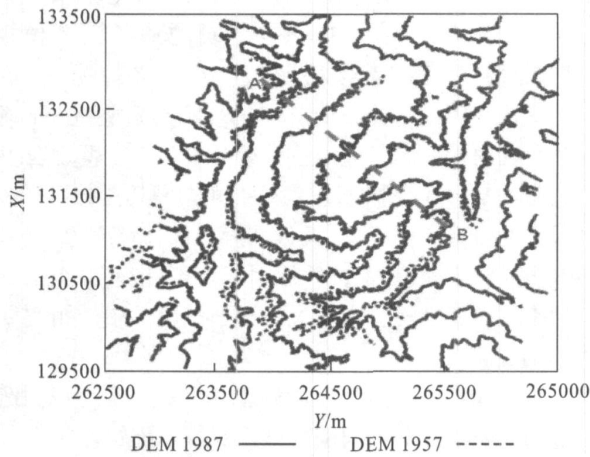


图 1 DEM1957,DEM1987 匹配前 100 m 等高线

从图 1 可以看出,匹配前 DEM1957 与 DEM1987 的 100 m 等高线存在明显的不重合,2 期 DEM 模型间存在一定的旋转、平移等转换关系。此时 DEM 间的高程差异,由 DEM 间的旋转、平移造成的定位误差占主导地位,而此时由于泥石流造成的冲刷变形占次要地位。

采用 LZD + M 方案匹配后,依据匹配得到 2 期 DEM 间的坐标转换参数,将 DEM1957 自动旋转平移至 DEM1987 同一坐标中,此时由于定位误差造成的高程偏差占次要地位,由于泥石流引起的冲刷变形占主导地位。匹配后 2 个 DEM 的 100 m 等高距图绘制的等高线图如图 2 所示。从图 400 m 等高线的比较结果可以看出,匹配后 2 期 DEM 的等高线走向基本吻合,表明采用无控制 DEM 匹配方法基本将两期 DEM 配准到同一坐标系中,试验得出的匹配转换参数是正确的。

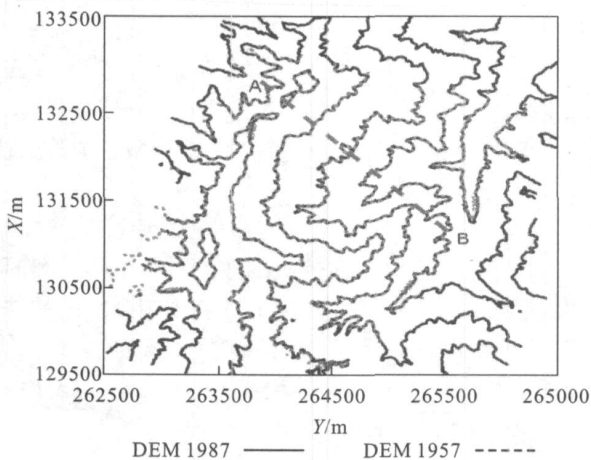


图 2 匹配后等高线比较图

为了进一步验证求得的转换参数的精度,在 DEM 区域内自西北至东南做贯穿普歪沟流域的断面。如图 1—2 的 AB 虚线所示,该断面横穿普歪沟流域的山脊、山坡、及谷底。匹配前后断面 AB 的比较如图 3—4 所示。

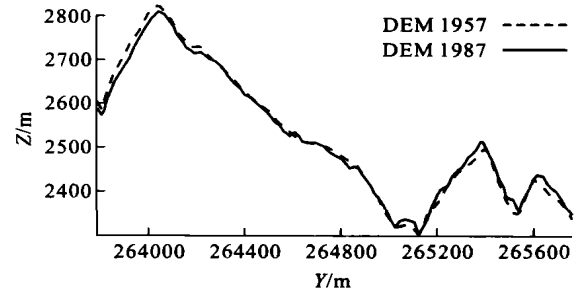


图 3 匹配前 DEM1957 与 DEM1987 AB 纵断面

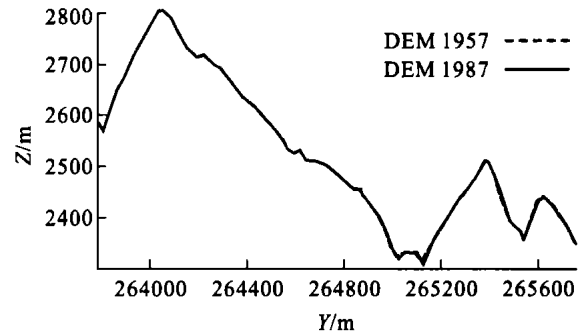


图 4 匹配后 DEM1957 与 DEM1987 AB 纵断面

从图 3 可看出,匹配前的 DEM1987 与 DEM1957 在同一断面 AB 上存在明显偏差,DEM1957 断面线相对于 DEM1987 断面线呈左抬右沉趋势,表明两期 DEM 坐标系存在旋转或平移关系;在图 6 中,采用 LZD + M 匹配后,两期 DEM 的 AB 纵断面已基本吻合,证明采用 LZD + M 匹配方法,可用于泥石流灾害地区地表变化监测。

2.2.2 表面差异 依据 DEM 匹配后求得的转换参数,将 DEM1957 旋转、平移和缩放等变换后纳入 DEM1987 坐标系。然后以 DEM1957 为基准面,对 2 期 DEM 做差,求得 DEM 表面差异。由于 DEM 实际精度涉及各种随机误差和匹配误差等诸多因素,精度评定尚未有公认的方法,在此仅采用匹配余差 v 统计的中误差 = ± 0.54 m 作为评定依据,设定为检测阈值,为各种随机误差对 DEM 表面差异的影响,超出阈值的便可认为是泥石流灾害等原因造成的地表变化量。普歪沟流域地表冲刷和堆积分布情况如图 5 和图 6 所示。

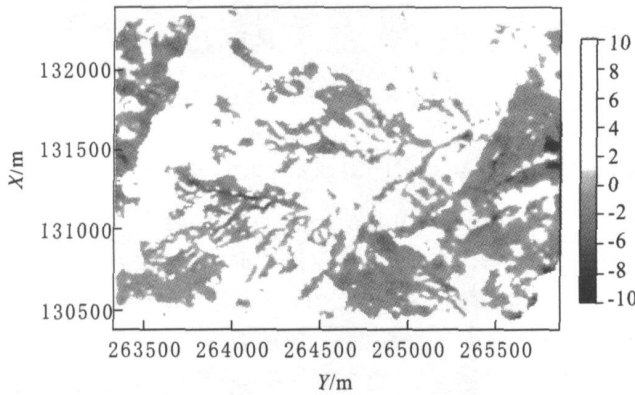


图 5 普歪沟流域冲刷区域图(DEM1987—DEM1957 < 0)

从图 5,图 6 可以看出,普歪沟形成区地貌特征非常明显,呈漏斗状,并发育有多条放射状浅沟,形成区、流通区与堆积区特征明显。分析结果表明,在形成区和流通区对沟谷而言,主要以冲刷为主,而在沟口,即堆积区,则以堆积为主。在谷坡脚处仍有部分堆积物,其原因是泥石流的固体物质来源不仅仅是水流冲刷形成的碎屑物,同时也包括谷坡崩塌、滑坡及部分风化碎屑物质。

3 结论与建议

针对普歪沟流域由于泥石流造成的地表水土流失变化,应用灾害前后不同时相 DEM 进行匹配与差异探测。探测结果表明,无控制 DEM 匹配差异探测技术,可用于泥石流灾害地区的地表水土流失监测,且具有较高的差异探测精度,改变了以往水土流失定量分析缺乏有效手段的局面,同时还克服了泥石流灾害地区布设和维护控制点的难题,为今后泥石流灾害的定量评估找到了一套实用可行的技术。

随着遥感影像、计算机应用和三维数字采集等技术的发展,DEM 应用领域日趋广泛。无控制 DEM 匹配差异探测技术,不仅可用于泥石流灾害监测、土壤侵蚀等应用领域,还可应用于医学研究、计算机视觉、模式识别、机器人自动控制、工业产品质量检测、军事车辆自动驾驶和导弹巡航等领域,因而具有广阔的应用前景。

[参 考 文 献]

- [1] 卫宏,王兰生.川西山区公路边坡地质灾害研究[M].北京:煤炭工业出版社,2004.
- [2] 焦锋,张晓萍,李锐,等. GPS 相对测量技术在水土保持中的应用[J]. 水土保持学报,1998,18(5):32—34.
- [3] Welch R, Jordan T R. Analytical non-metric close-range

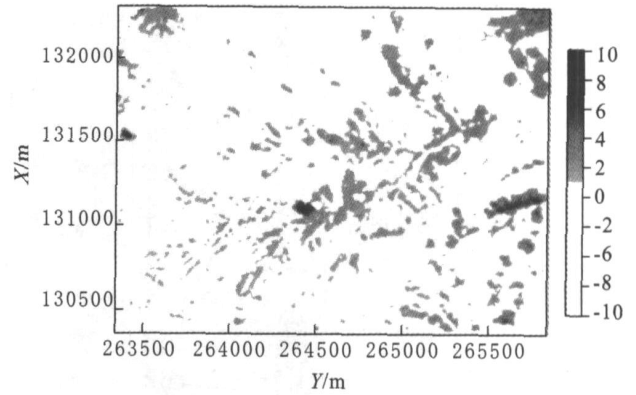


图 6 普歪沟流域堆积区域(DEM1987—DEM1957 > 0)

photogrammetry for monitoring stream channel erosion[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1983, 49(3):367—374.

- [4] Li Z L, Xu Z, Cen M Y, et al. Robust surface matching for automated detection of local deformations using least-median-of-squares estimator [J]. P E & R S. 2001, 67 (11):1283—1292.
- [5] Richard J. Campbell, Patrick J Flynn. A survey of free-from object representation and recognition techniques[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2001 (81): 166—210.
- [6] Michel A, Frank P, Terry M. An algorithmic overview of surface registration techniques for medical imaging [J]. Medical Image Analysis, 2000(4):201—217.
- [7] Rosenholm D, Torelegard K. Three dimensional absolute orientation of stereo models using digital elevation models [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1988, 54(10):1385—1389.
- [8] Pilgrim L J. Robust estimation applied to surface matching [J]. ISPPS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1996(51):243—257.
- [9] Karras G E, Petsa E. Dem matching and detection of deformation in close-range photogrammetry without control [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1993, 59(9):1419—1424.
- [10] 冯义从,岑敏仪,张同刚.无控制 DEM 匹配与匹配优化技术[J]. 计算机工程与应用, 2005, 23(41):32—35.
- [11] 张同刚,岑敏仪,李志林,等. LZD 算法改进及其在泥石流探测中的应用[C]. 两岸 4D 地理信息系统发展研讨会, 2004.
- [12] 周江文,黄幼才,杨元喜,等. 抗差最小二乘法[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1997.
- [13] 李德仁,袁修孝. 误差处理与可靠性理论第二版[M]. 武汉:武汉大学出版社,2002.