

无控制 DEM 匹配与地表差异探测

冯义从^{1,2},岑敏仪¹,张同刚¹,黄志勤²

FENG Yi-cong^{1,2},CEN Min-yi¹,ZHANG Tong-gang¹,HUANG Zhi-qin²

1.西南交通大学 土木工程学院,成都 610031

2.四川省国土资源厅信息中心,成都 610072

1.Department of Surveying Engineering,School of Civil Engineering,Southwest Jiaotong University,Chengdu 610031,China

2.Information Centre,Land and Resource Department of Sichuan Province,Chengdu 610072,China

E-mail:fycmail@163.com

FENG Yi-cong,CEN Min-yi,ZHANG Tong-gang,et al.DEM matching and surface deformation detecting without control points considering terrain feature.Computer Engineering and Applications,2009,45(31):193-195.

Abstract: Due to difficulties in building and maintaining control points,terrain change detection is difficult in the inundated area of debris-flow.Considering terrain feature,a new Digital Elevation Model (DEM) matching and deformation detecting method without control points is proposed.The experimental results based on real data sets,the multi-temporal DEMs of PUWAIGOU, validate the proposed method is practical for monitoring the terrain changes in the debris-flow area.

Key words: 3D matching;deformation detecting;robust estimator;terrain feature

摘 要: 泥石流爆发地区控制点布设和维护困难,使得精确探测该类区域泥石流造成的地表变化非常困难。基于规则格网 DEM (Digital Elevation Model),分析泥石流灾害的特点,提出了顾及地形特征的无控制 DEM 匹配与差异探测方法。根据不同时相 DEM 数据,利用该方法成功探测出普歪沟泥石流爆发区的地表水土流失变化。

关键词: 三维匹配;差异探测;稳健估计;地形特征

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2009.31.058 **文章编号:**1002-8331(2009)31-0193-03 **文献标识码:**A **中图分类号:**TP39

1 前言

随着计算机存储、影像数据采集处理等相关技术的发展,数字高程模型(Digital Elevation Model,DEM)的获取方式、应用愈加广泛。DEM的空间分辨率和时间分辨率越来越高,DEM数据蕴含丰富的地表形态信息,因此可利用灾害前后多时相DEM进行泥石流灾害监测和评估。传统方法将不同时相DEM通过同名控制点纳入统一坐标系,然后再进行差异比对。由于泥石流沟水土侵蚀和对地理环境和地形的影响,同名控制点的找寻、布设和维护非常空难。因此,基于无控制点进行DEM三维匹配及其差异探测研究具有广泛的应用价值。

基于最小二乘原理的最小高差算法(Least Z-Difference, LZD)^[1]在无控制DEM匹配中应用广泛,概算法无需任何预处理步骤,匹配精度较高,结合稳健估计理论,可以实现匹配后的差异探测。Karras等^[2]和Pilgrim^[3-4]基于LZD方法实现了DEM的无控制匹配和差异探测,前者基于数据探测方法能够处理很少的表面变形,后者基于M估计提出了M-LZD算法,可以探测到不大于25%的表面差异。Li等^[5]选用最小平方中位数估计方法,最大可以探测到近50%的表面变形,由于匹配数据通过随机取样获得,算法结果具有一定的随机性。

以上研究侧重于DEM自身特性研究而改进算法,缺少了

对泥石流灾害特征的利用。根据泥石流灾害研究,泥石流活动对地表形变的影响通常限于泥石流沟底和沟谷两侧,对较大的山脊和山头等部位^[6]影响较小。若能顾及地形特征进行无控制DEM匹配与差异探测,或许能提高DEM表面差异探测的精度,这是该文探索研究的目的。

2 无控制 DEM 匹配与差异探测方法

2.1 无控制 DEM 匹配

LZD匹配对象为两个不同规则格网DEM,设定为发生变形DEM- P' 和基准DEM- P , P' 和 P 具有一定重叠范围。匹配过程为依据 P' 的 X 、 Y 坐标值,在 P 中搜索内插出相同坐标点的高程,根据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1个缩放系数 S 构建对应点坐标方程:

$$P'_i = S \cdot R \cdot P_i + T \quad (1)$$

然后以所有对应点高程差的平方和最小原则,依据最小二乘法,建立目标函数为:

$$\sum_i^n p_i \times (dz_i)^2 = \min \quad (2)$$

其中: p 为对应点的权, dz 为对应点的高差, i 为点号, n 为 P' 高

基金项目:国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.40271092)。

作者简介:冯义从(1976-),男,汉,博士研究生,主要研究方向为DEM分析与应用、GIS理论与应用等。

收稿日期:2008-11-21

修回日期:2008-12-22

程点总个数。

LZD 匹配是一个不断迭代的过程,通过给定的阈值,匹配完成求得 7 个转换参数。根据转换参数将 P' 转换至与 P 统一坐标系中,然后进行重叠区域的地表差异变化分析。

2.2 探测地表差异

由于泥石流爆发等原因,同一地区不同时期的两个 DEM 可能存在差异。无控制 DEM 匹配目的就是探测两个 DEM 存在的表面差异。在匹配过程中,必须首先排除表面差异影响,才能正确匹配,而只有正确匹配,才能确定两个表面间存在的差异,这是一个交替、迭代的过程。

DEM 匹配正确完成后, P' 转换至 P 与同一坐标系,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:地表实际未发生变形的对应点, Z 值相同或仅存在微小随机误差,这些对应点的 Z 值差 dz_i 近似服从 $N(0, \sigma^2)$ 分布;地表发生变形的对应点, Z 值差 dz_i 显然存在由于变形引起的较大差异 λ 和随机误差 e 两部分。以上两部分 Z 值差 λ 和 e 同时处理时,较大的 λ 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 $\rho(dz_i)$ 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^[7]。式(2)则实际为:

$$\sum_i^n w_i \times (dz_i)^2 = \min \quad (3)$$

其中: w_i 为基于 M 估计构造的对应点高差的权函数。

因此,针对不同时期 DEM 的表面差异探测问题,通过 LZD 无控制匹配算法结合稳健估计理论,以 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,位移变形影响大于实际表面变形造成的影响;随着 P' 与 P 的姿态不断调整,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。

2.3 顾及地形特征的无控制 DEM 匹配与差异探测

文中 DEM 匹配目的为探测由于泥石流造成的地表差异,泥石流由其自身形成必备因素-物质条件、地貌条件和水源条件,泥石流活动对地表形变的影响通常限于泥石流沟底和沟谷两侧,而很少影响比较大的山脊和山头等部位。这样就有必要研究如何在现有的三维表面匹配算法基础上,充分利用这些先验知识,以使现有的 DEM 差异探测算法能够用来探测大面积的表面变形,满足泥石流灾害地区的应用需要。

顾及地形特征的无控制 DEM 匹配与差异探测算法(Feature Based on LZD+M, F-LZD+M),首先提取平滑山脊线带状区域数据点,作为匹配控制区域进行初匹配,可以在匹配过程中排除上述泥石流影响较大的较低山坡、山谷的表面差异影响,又避免了利用山脊特征线进行特征匹配的精度低问题。根据初始匹配结果,剔除表面差异,然后进行再精确匹配。

3 应用实验

3.1 实验数据

为了检验和分析 F-LZD+M 算法的匹配与差异探测性能,以普歪沟两个不同时期的 DEM 数据进行实验,普歪沟位于昆铁路沙木拉达隧道进口处,泥石流暴发频繁。1957~1987 年间多次发生较大规模泥石流,致使流域地表水土流失严重。实验数据为该流域 1957 年和 1987 年航片所生成规则格网

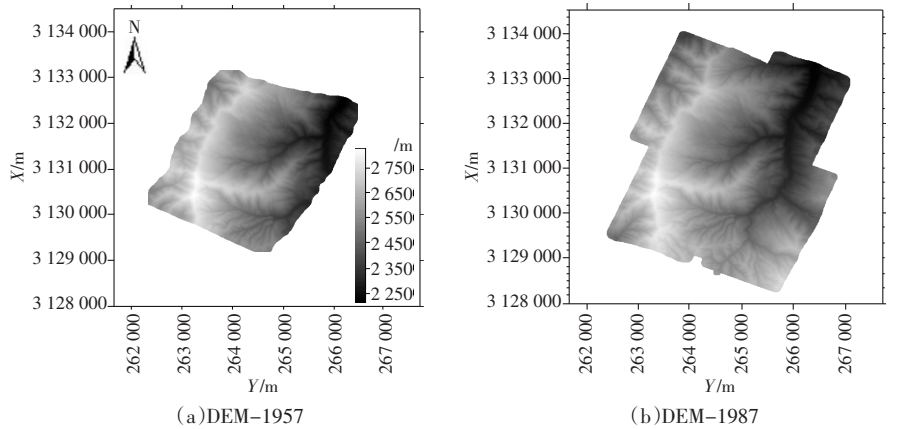


图1 普歪沟实验区 DEM

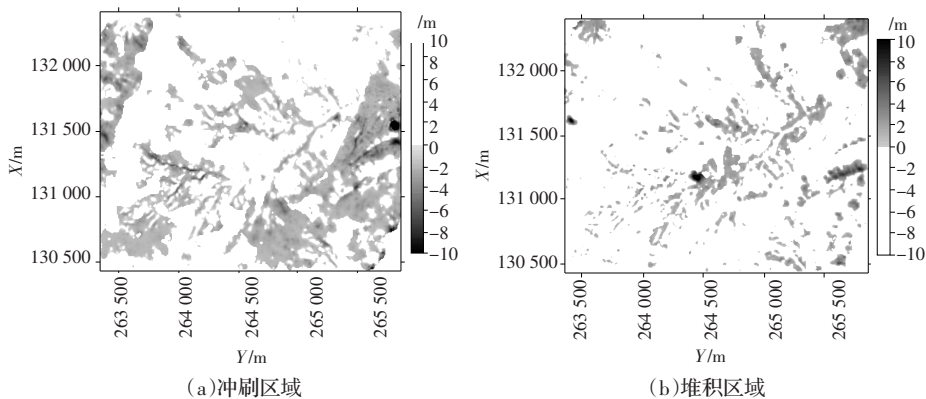


图2 普歪沟流域地表差异探测结果

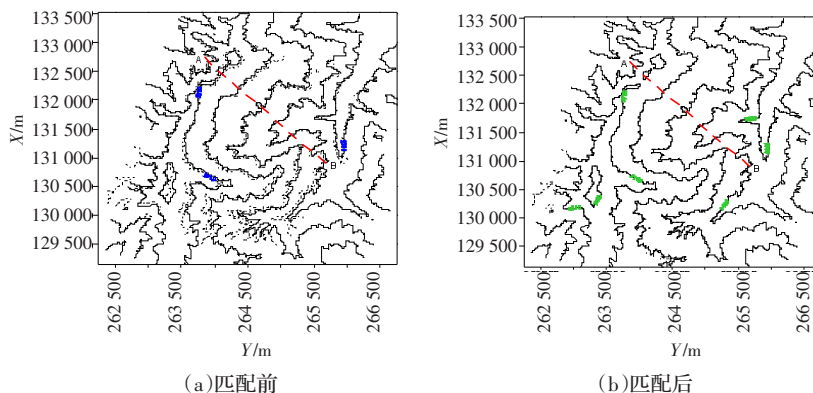


图3 DEM-1957与DEM-1987百米等高线叠加分析

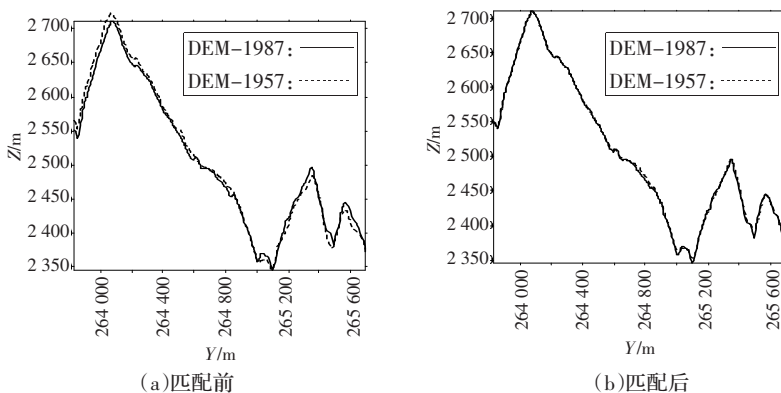


图4 DEM-1957与DEM-1987 AB纵断面叠加分析

DEM。其中DEM格网间距均为10 m, DEM-1957为418×396, 覆盖面积近9.5 km²; DEM-1987为454×437, 覆盖面积近15.5 km², 二者具有一定的重叠范围。由于历史原因与泥石流灾害影响, 二期DEM没有可用的公共控制点, 同名控制点的寻找也十分困难, 因此只能采用无控制DEM匹配方法进行匹配和差异探测。

3.2 实验结果

采用F-LZD+M方法, 依据匹配求解出转换参数, 将DEM-1957和DEM-1987转换到同一坐标系, 求得两期DEM的表面差异, 采用匹配余差 V 统计的中误差 $\hat{\sigma}=\pm 0.54$ m作为DEM随机误差, 设定 $3|\hat{\sigma}|$ 为变形检测阈值, $|\Delta Z| \leq 3|\hat{\sigma}|$ 为随机误差对DEM表面差异的影响, 超出阈值的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2所示, 变形区域比例超过整个DEM面积的50%。

从图2可以看出, 普歪沟由于泥石流造成的地表变化明显, 冲刷和堆积区的最大高差均超过10 m。在沟谷主要以冲刷为主, 而在沟口堆积区以堆积为主, 在谷坡脚处仍有部分堆积物。对比图1、图2, 山脊和山头区域受泥石流引起的地表变化不大, 进一步验证了顾及地形特征的无控制DEM匹配和差异探测方法在泥石流灾害地区地表差异探测的实用性。

3.3 结果分析

为了评判匹配的正确性和精度, 分别以匹配前后DEM-1957和DEM-1987的百米等高线做叠加分析对比:

从图3可以看出, 匹配前DEM-1957与DEM-1987的百米等高线存在明显的重合, 二期DEM模型间存在一定的旋转、平移等转换关系; 采用F-LZD+M算法匹配后, 依据匹配结果将DEM-1957与DEM-1987纳入同一坐标中, 匹配后二期DEM

的等高线走向基本吻合, 表明采用无控制DEM匹配方法将两期DEM配准到同一坐标系中, 匹配得出的转换参数是正确的。

为了进一步验证匹配结果的精度, 在二期DEM区域内分别做贯穿西北至东南的断面线, 如图3的AB虚线所示, 该断面横穿普歪沟流域的山脊、山坡、及谷底, 具有代表性。匹配前后断面AB的叠加比较见图3、图4。

从图4可看出, 匹配前由于存在旋转或平移关系, DEM-1987与DEM-1957在同一断面AB上存在明显偏差; 在图4(b)中, 两期DEM的AB纵断面已基本吻合, 山脊、山头处地表变形较小, 谷底和谷底两侧地表变形较大, 证明采用F-LZD+M匹配方法和求得的匹配参数是正确的和精确的。正确的匹配结果, 为不同时相DEM的表面差异探测提供了技术前提。

4 结论

以普歪沟流域的不同时相DEM数据, 在没有控制点的情况下, 应用顾及地形特征的无控制DEM三维匹配与差异探测方法, 可以精确地探测由于泥石流等灾害造成的地表差异变化, 探测变形的范围扩大到50%以上。从实验结果分析可知, 采用F-LZD+M方法, 对于没有公共控制点的两不同时相DEM, 即使存在泥石流等原因造成的地表变形, 也能正确匹配、求得转换参数、探测出地表差异变化, 可适用于泥石流灾害监测和评估。对于探测出的差异结果, 由DEM随机误差、匹配误差和实际变形组成: DEM随机误差由DEM自身精度确定, 匹配误差由匹配迭代阈值确定, 其余则为实际地表变形。在实际地表变形中, 小于DEM自身随机误差的地表变形不容易从真正随机误差中区分出来, 这是有待进一步研究的课题。