

# 利用多时相 DEM 数据的冰雪覆盖 体量变化计算方法研究

蓝秋萍<sup>1,2</sup> 费立凡<sup>1</sup> 刘一宁<sup>1</sup>

(1 武汉大学资源与环境科学学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)

(2 河海大学地球科学与工程学院,南京市西康路 1 号,210098)

**摘要:**提出了利用同一研究区不同时相且无地质灾害发生情况下数字高程模型(DEM)的差异来计算冰雪覆盖体量变化的方法。设计实现了两种 DEM 主要表达形式(规则格网 DEM 和 TIN)的冰雪覆盖体量变化计算方法,提出基于三维道格拉斯-普克算法的 DEM 数据综合方法,减少离散点数量,从而提高建立 TIN 网的速度以及体积变化计算速度。最后以天山乌鲁木齐河流域数据为例对两种计算方法进行了实验验证。

**关键词:**冰雪体量变化;DEM 综合;三维道格拉斯-普克算法

**中图分类号:**P208; P237.9

受全球敏感因子(如温室效应、臭氧层空洞、厄尔尼诺现象等)影响,高原积雪范围、积雪量、南北极冰层范围和厚度等正在发生变化。因此,通过研究江河水源水量变化、冰雪体积的变化以及海平面上升的速度,从而提取出引起地球变化的敏感因子非常有意义。目前,人们对于计算冰雪体积变化的方法应用较广的主要是利用中分辨率成像光谱仪(例如 MODIS)资料<sup>[1]</sup>,根据积雪在可见光波段的高反射率和近红外波段的低反射率,使用雪盖指数(normalized difference snow index, NDSI)法划分积雪区域,并建立回归模型反演积雪面深度<sup>[2]</sup>。

DEM 是复杂地球表面的数字表达,是研究地球表面的理想工具,可以提供准确的地形高程信息,相对于影像,它可起到更精确地计算地形变化量<sup>[3]</sup>的作用。获取 DEM 的技术手段日益丰富,包括地面测量、航空摄影测量、遥感、LiDAR、InSAR 以及既有纸质地形图数字化后计算等<sup>[4]</sup>。

## 1 基于 DEM 的冰雪体量变化计算

### 1.1 总体思路

本文设计了基于 TIN 的冰雪体量变化计算

方法,虽然使用原始的 DEM 进行体量变化差异计算精确性要高一些,但是原始 DEM 往往所包含的三维离散点数量非常庞大,如果计算区域又比较大,则计算效率会比较低。为了减少计算时间,本文提出基于三维道格拉斯-普克算法,先对 DEM 进行综合,重构 TIN 后进行体量变化计算。图 1 为本文研究的总体思路。

### 1.2 规则格网 DEM 计算

用 RSG 数据计算冰雪体量变化的基本原理即是栅格数据的叠加求差。在 RSG 中每个格网存储的是高程值<sup>[5]</sup>,遍历 RSG<sub>1</sub>(冰雪覆盖变化前 DEM)和 RSG<sub>2</sub>(冰雪覆盖变化后 DEM)中所有网格,对应计算其高程差值,并乘以每个格网对应的面积值,最后将所有像素上的体积变化累加,即为两个时相的该区域冰雪体量差异的数值。

### 1.3 不规则三角网 DEM 计算

由于对两个不同时相 DEM(分别为 DEM<sub>1</sub> 和 DEM<sub>2</sub>)进行综合后,所保持的特征点数量一般不完全相等(如图 2 中变化前特征点数量为 9 个,变化后特征点数量为 10 个),即使数量完全一样,其坐标也很可能不完全相同,因此不能直接将 DEM<sub>1</sub> 和 DEM<sub>2</sub> 进行像规则格网那样的叠加操作,而需要通过一个公共的基准水平面 DEM<sub>0</sub> 作

收稿日期:2010-07-20。

项目来源:国家重点基础研究发展计划资助项目(2009CB723905);河海大学自然科学基金资助项目(2009423811);南京师范大学教育虚拟地理环境重点实验室开放研究基金资助项目(2007VGE01)。

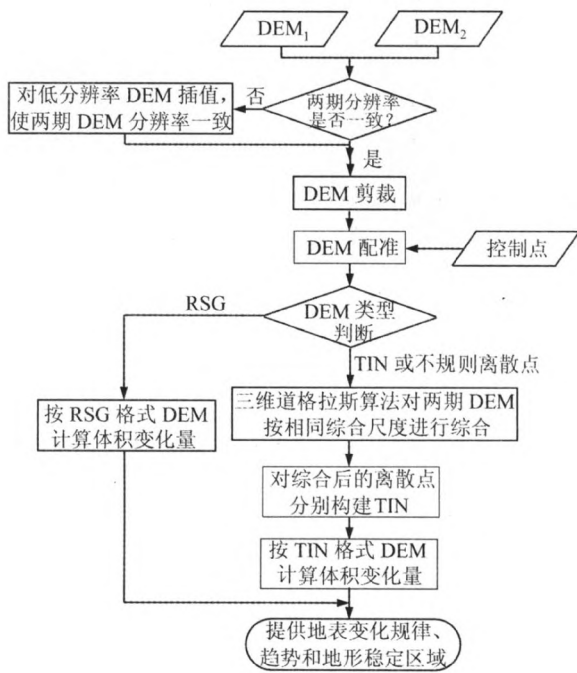


图 1 基于多时相 DEM 的冰雪体量变化计算总体流程图

Fig. 1 Flow Chart of Calculating Firn's Volume Change Based on Multi-temporal DEMs

为中间桥梁来实现差异的计算。而通过对综合后获取的离散点建立 TIN 后,整个地形就形成了由三棱柱组成的集合,棱柱的底面均为基准水平面  $DEM_0$ ,顶面分别为  $DEM_1$  (冰雪覆盖变化前 DEM) 和  $DEM_2$  (冰雪覆盖变化后 DEM),如图 2 所示。

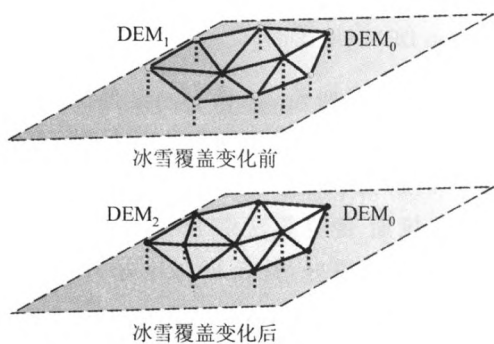


图 2 冰雪覆盖变化前后不规则三角网 DEM 相对体量计算

Fig. 2 Volume Change of TIN After Firn Cover Compared with Before

具体计算流程如下。

- 1) 分别获取  $DEM_1$  和  $DEM_2$  的最小高程值  $\min DEM_1$  和  $\min DEM_2$ , 并不妨取  $\min(\min DEM_1, \min DEM_2)$  作为基准平面  $DEM_0$  的高程;
- 2) 将  $DEM_1$  叠加于  $DEM_0$  上, 计算获取

$\Delta Volume_1$ ;

3) 将  $DEM_2$  叠加于  $DEM_0$  上, 计算获取  $\Delta Volume_2$ ;

4) 将  $\Delta Volume_1$  减去  $\Delta Volume_2$ , 所得结果即为冰雪消融体积。

### 1.4 三维道格拉斯-普克算法

1973 年 Douglas 和 Peucker 提出了一种用于曲线化简的方法, 该方法的特点是从形状复杂的曲线点列中, 通过相对简单的全局性递归运算, 选取反映曲线总体及局部形体的主要特征点。该方法已经成为 GIS 和制图领域对曲线化简的主要方法之一。

由于道格拉斯-普克算法总是能将原始曲线上的主要特征点选取出来, 于是费立凡提出了将基于二维空间运算的道格拉斯算法扩展到三维空间, 对曲面进行综合和化简<sup>[6-8]</sup>。

## 2 实例计算和分析

### 2.1 研究区数据

乌鲁木齐河流域位于天山北坡中段, 东经  $86^{\circ}45' \sim 87^{\circ}56'$ ,  $43^{\circ}00' \sim 44^{\circ}07'$  之间。流域的高山带发育有现代冰川 155 条, 面积为  $48.04 \text{ km}^2$ , 其中位于乌鲁木齐河源的天山 1 号冰川在中国乃至世界冰川监测中占有重要地位。该冰川为由东西两支组成的一条双支冰斗-山谷冰川, 总面积  $1.84 \text{ km}^2$ 。该冰川自 1959 年进行系统观测以来, 积累了详细的冰川物质平衡、平衡线高度及冰川末端位置变化的逐年观测结果。

实验数据源为该流域国家基础地理信息中心 1962 年和 1990 年航测的 1:5 万地形数据, 其中 1962 年的 DEM 覆盖面积近  $5.5 \text{ km}^2$ , 1990 年的 DEM 覆盖面积近  $11.3 \text{ km}^2$ , 如图 3 所示。

### 2.2 数据处理

1) 数据剪裁与配准。在生产实践中, 不同时期获取的 DEM 并不一定覆盖相同的地面范围, 即 DEM 的面积会不一致, 对应的地面范围也会不同, 但会有公共的区域, 如图 3 可以明显看出两期 DEM 并没有覆盖相同范围, 但是为了计算出同一个区域的冰雪消融量必须要对其进行剪裁且配准, 确保计算的科学性。首先在两期 DEM 中大致相同的位置提取相同面积的两块 DEM, 然后以最新的一个 DEM 为基准 DEM, 以 GPS 控制点为定向点进行配准, 控制点个数取 3~10 个左右可以确保 1~3 次多项式校正。如图 4 为经过剪裁与配准后的 1962 年和 1990 年 DEM, 分辨率

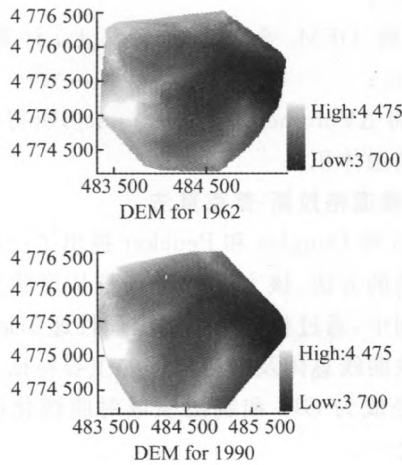


图3 两个时相的 DEM

Fig. 3 DEMs of Two Time Phases

为 10 m,大小为 150 像素×106 像素。规则格网 DEM 计算冰雪体量变化即可使用这两个时期 DEM,而利用不规则格网计算冰雪体量还需要分别对这两期 DEM 进行综合,减少离散点数量,从

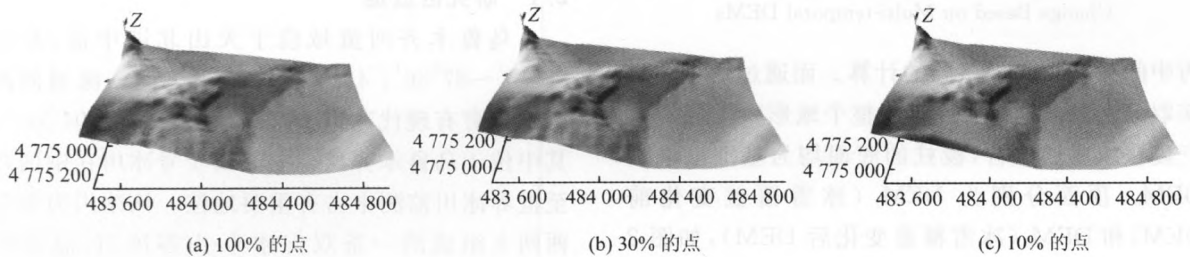


图5 1962年不同综合程度彩色晕渲对比图

Fig. 5 Comparison Among Coloured Hill Shadings Made of Points Before and After Generalization with Different Degrees from DEM for 1962

### 2.3 冰雪变化体量计算与分析

在获取两个相同范围不同时相 DEM 后,可根据 § 1 中规则格网和不规则格网方法分别计算两时期 DEM 差异。该地区 DEM 变化情况:一开始随着海拔的增加,高程的减少量递增,在海拔 4 200 m 左右减少最显著;此后随着海拔增加,高程的减少量递减,在海拔 4 440 m 左右几乎没有变化。这是由于在无地质灾害发生情况下,同一地区的 DEM 高程差异是由冰雪融化造成的,在初始 DEM 雪线以下区域由于没有冰雪覆盖,其高程是不会有变化的,在雪线以上部分则由于雪线抬升造成冰雪量减少,从而形成了对应地区高程下降。但在山顶或近山顶部分,由于气温较低,冰雪覆盖几乎没有变化,从而使得两个 DEM 的高程差异很小。

20 余年来,天山乌鲁木齐河流域该研究区域

而提高建立 TIN 网速度以及计算速度。

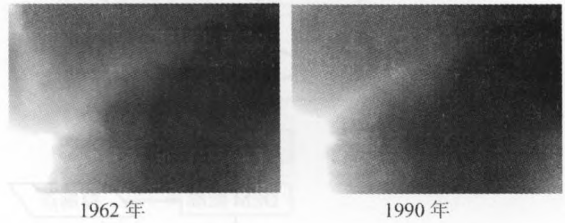


图4 剪裁配准后 DEM

Fig. 4 Clipped DEMs After Registration

2) 三维道格拉斯-普克综合。1962 年和 1990 年两期 DEM 均由 15 900 个离散点构成,为了不失一般性,暂把它们都看作是随机分布的三维离散点,通过三维道格拉斯-普克算法分别对其按照不同的压缩比进行综合,然后利用自然邻点方法进行插值生成地形表面图。如图 5 为 1962 年不同综合程度的彩色晕渲对比图,其中 Z 轴代表高程值。由此表明了本算法在多种压缩程度下,都能够将具有全局意义的主要地形特征点(或“塑形”点)提取出来。

高程变化如图 6 所示,计算出的该地区冰雪消融面积为 661 500 m<sup>2</sup>,采用两种方法计算出的冰雪消融量以及时间如表 1 所示。可以看出,在使用三维道格拉斯-普克算法综合 TIN 后,不管数据压缩比是 30% 也好,甚至 10% 也好,计算结果都

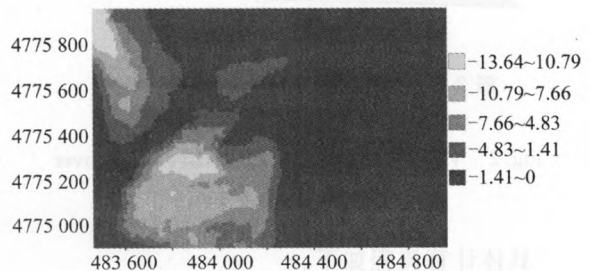


图6 高程变化图(较浅四色表示的为高程下降即冰雪消融区)

Fig. 6 Area of Elevation Change (Demonstrated in 4 Lighter Gray Classes)

很接近,但计算时间却大大降低了,这就体现了三维道格拉斯-普克算法确实去除的是相对无关紧要的点,也说明了计算结果的可靠度较高。

表 1 两种计算方法对比

Tab. 1 Comparison of Time Consumed and Results

计算方法	离散点数量		计算时间 /s	冰雪消融 量/ $\times 10^3 \text{ m}^3$
	1962 年	1990 年		
RSG	15 900	15 900	4.689 4	320 57
	15 900	15 900	27.551	317 17
TIN	4 711	4 801	2.620 4	315 49
	1 618	1 522	0.566 7	316 28

采用 RSG 和 TIN 两种表达形式的 DEM 计算的冰雪消融量相差为均值的 1% 左右,差异不大。在数据量相同的情况下,后者的计算时间却大大高于前者,这是由于 TIN 的计算过程相对复杂,当 TIN 的数据量减少到 30% 的时候,其效率已经高于 RSG 方法。所以,不管是何种形式的 DEM(RSG 还是 TIN,或者随机分布的三维离散点),按照本方法进行冰雪覆盖体量的变化计算都是可行的。随着 DEM 获取技术的发展,DEM 获取的效率、精度和时空分辨率也越来越高,使用不同时相、无发生重大地质灾害地区的 DEM 计算高程差异,从而获取冰雪体量变化值也更加方便和有效,可为流域高山带升温幅度的估算提供数据基础。同时,本文方法亦可以用来计算由泥石流或者滑坡带来的水土流失量。

## 参 考 文 献

- [1] 吴杨,张佳华,徐海明,等. 卫星反演积雪信息的研究进展[J]. 气象, 2007, 33(6):3-10
- [2] 刘艳. 基于 MODIS 数据的积雪深度反演研究[D]. 武汉:武汉大学,2005, 12-23
- [3] 陈楚江,王丽园,朱庆. 多源多时相数据空间分析及其在西藏墨脱地区的应用[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2005, 30(3):260-263
- [4] 邹学忠,黄健,赵小祥. DEM 数据的获取方法[C]. 全国测绘科技信息交流会,成都,2007
- [5] 李志林,朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉:武汉大学出版社,2001
- [6] 费立凡,何津,马晨燕,等. 3 维 Douglas-Peucker 算法及其在 DEM 自动综合中的应用研究[J]. 测绘学报, 2006, 35(3): 278-284
- [7] 何津,费立凡. 再论三维 Douglas-Peucker 算法及其在 DEM 综合中的应用[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2008, 33(2): 160-163
- [8] Fei Lifan, He Jin. A Three-dimensional Douglas-Peucker Algorithm and Its Application to Tutomat-ed Generalization of DEMs[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2009, 23(6): 703-718

第一作者简介:蓝秋萍,博士,主要研究方向为地图自动综合与 GIS 工程。

E-mail:lanqiuping@gmail.com

## An Approach on Calculating Firn Volume Change from Multi-temporal DEMs

LAN Qiuping<sup>1,2</sup> FEI Lifan<sup>1</sup> LIU Yining<sup>1</sup>

(1 School of Resource and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 School of Earth Science and Engineering, Hohai University, 1 Xikang Road, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** This paper firstly suggests a method of calculating the volume change of the firn based on the DEM data sets which are for the same area, acquired at the same season, but in different years, and during this period no obvious geological disasters occurred in the studying area. Secondly, two methods for calculating the volume change of the firn are introduced: one is based on the regular square grids (RSG), another uses the triangulated irregular network (TIN). The verification experiments calculated from the same original DEM data acquired in 1962 and 1990 respectively for the drainage area of Urumchi River Basin in Tianshan Mountain are introduced and have proved that it is feasible and accurate to calculate the firn's volume change in the study area using DEMs of different time phases where no obvious geological disasters have occurred.

**Key words:** volume change; generalization of DEM; 3D Douglas-Peucker algorithm