

遥感影像增量更新中影像块生成方法研究

黄文嘉,周晓光,文继超

(中南大学 地球科学与信息物理学院,长沙 410083)

摘要:传统的基于金字塔的影像增量更新方法中,变化区域的影像以金字塔的影像块形式存储。本文提出一种自动生成影像块的方法,将较为集中的变化区域合并为近似其外边界的最小凸多边形,以此为边界裁剪原始影像得到变化区域的影像块,一定程度上减少了数据的冗余。

关键词:遥感影像更新;增量更新;多边形群凸包;影像块

doi:10.3969/j.issn.1000-3177.2012.01.002

中图分类号:TP79 文献标识码:A 文章编号:1000-3177(2012)119-0004-05

Image Blocks Generation Method for Incremental Updating of Remote Sensing Image

HUANG Wen-jia, ZHOU Xiao-guang, WEN Ji-chao

(School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The traditional image incremental updating method is based on the Pyramid Model, it stores the changing images in form of the pyramid blocks. In this paper, a new automatic method of generating image blocks is presented. In this method, a set of changing area polygons are merged into a minimum convex hull, and then the original image is cut by bound of the hull, and the image blocks are generated. This method can reduce a certain degree of data redundancy.

Key words: remote sensing image updating; incremental updating; convex hull of polygon set; image blocks

1 引言

近年来,随着对地观测技术的不断发展,人类获取遥感影像的能力也迅速提高,各种分辨率的遥感卫星每天都在获取数以千兆计的地表影像,影像数据已经成为空间数据的重要组成部分和空间数据更新的主要数据来源。国内外进行空间数据更新方面的研究工作只有几年的时间,目前主要集中在矢量数据的更新研究,基于遥感影像的空间数据更新往往只是利用遥感影像数据提取变化信息,更新矢量数据。然而众所周知,遥感影像数据比矢量地图具有更丰富的视觉信息内容和更强的客观性,其获取新数据的速度很快,但新旧影像的区别往往只发生

在局部区域,且遥感影像的数据量非常庞大,动辄以千兆、亿兆计。因此遥感影像数据的增量组织与更新具有更为重要的应用前景,如何高效管理以及局部更新海量影像数据已成为迫切需要解决的问题。影像数据更新是空间信息领域较新的研究领域之一,目前还处于问题提出与初步研究阶段,因此这方面的研究成果相对较少。

目前较为主流的影像数据管理方法是采用金字塔模型来管理影像数据,影像金字塔传统的更新方法是利用新影像重新构建影像金字塔来实现数据的更新,然而大多数情况下,影像的变化不是整体性的变更,而仅仅局限在一个或者几个区域及其周围。针对此种情况,文献[1]给出过一种基于金字塔的影

收稿日期:2011-04-18

基金项目:国家高技术研究发展计划课题(2009AA122004)。

作者简介:黄文嘉(1986~),女,山东莱芜人,硕士研究生,主要从事遥感影像增量更新方面的研究。

E-mail:dahuangipge@163.com

— 4 —

像增量更新方法,将原影像的变化区域所在的金字塔影像块进行替换,这在影像变化区域较小且不集中的情况下仍然存在大量数据冗余。为了更精确地提取变化区域的边界,本文对影像的差值变化二值图进行了编辑,提出了一种新的影像块的生成方法。

将差值变化影像二值图矢量化,仅保留变化区域的多边形,其图像如图1所示(以2007年9月和2000年7月的陕西省某区域的Landsat-TM影像的差值影像为例)。其中多边形数量繁多,形状各异,有较大面积的变化多边形,也存在面积很小的零星多边形。要得到较为理想的变化影像块,需要考虑以下两个问题:

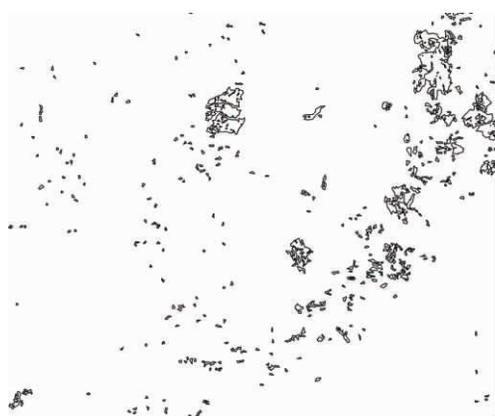


图1 影像变化区域矢量图

(1)影像块大小:不同分辨率的影像其精确度有不同的要求,面积过小的多边形所包含的变化信息很少,可以做适当的剔除;

(2)影像块边界:矢量化生成的变化多边形的边界大多并不规则,并且存在许多带岛的复杂多边形,不利于后期影像更新的处理,要尽量将影像块的边界简单化、规则化。

观察矢量化后的影像变化图可以发现,虽然变化区域的分布比较散乱,然而由于地物、地貌等原因,影像的变化往往局限在一个或几个区域及其周围,反应在图上则表现为多边形的分布在某些区域是相对集中的。考虑到影像块的大小问题,若将小块的影像进行合并,使其面积增大到精确度的要求之上,就可以较为完整地保留一部分变化信息。基于此,本文的设计思路为:确定一个合适的阈值 R ,将距离在该阈值范围内的一组多边形标记成群,从而将所有多边形分成若干多边形群,再将每一组的多边形进行合并。为了消除岛屿的影响,仅对每个多边形的外边界点进行处理,利用多边形边界点的有序性,采用多边形群的凸包算法计算出能够包围

多边形群的最小凸多边形,实现多边形群的合并。以合并后的边界切割原始影像得到最终的变化影像块文件。本文对此方法进行了编程实现,得到的影像块边界规则,较好地保证了变化区域的完整性,且在一定程度上减少了数据冗余。

2 多边形分组方法研究

多边形的距离是指两个多边形的边与边、顶点与顶点、顶点与边三者中最近距离的最小值^[2]。以 R 为阈值判断多边形间的距离,不必确切知道多边形间距离的具体数值,而仅需知道该距离的值是否小于所设阈值 R ,因此用多边形的外侧缓冲区进行判断。

多边形的外侧缓冲区是指以多边形的外边界线为轴线,以缓冲区距离 R 为平移量,向边界线的外侧做平行折线所形成的多边形。在多边形顶点处采用凸角圆弧法,在凸点一侧用以顶点为圆心、半径为 R 的圆弧将两条折线弥合,在凹点处用与该点关联的两缓冲区的交点为对应的缓冲点作连接。图2所示为凹多边形 A 及其半径为 R 的缓冲区,用凸角圆弧法处理缓冲区后,显然凹点处阴影区域的点与多边形 A 的距离大于 R 。在本文中对此处的偏移量忽略不计。因此提出:

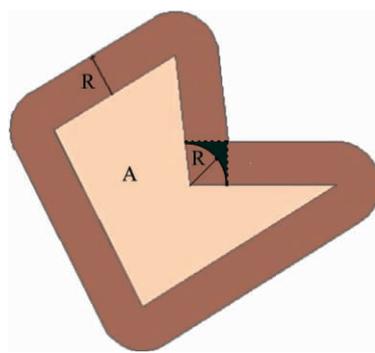


图2 凸角圆弧法做多边形的缓冲区

命题1:如果某个多边形的以 R 为半径的缓冲区与另一个多边形相交,则这两个多边形间的距离不大于 R (凹角处的偏移忽略不计)。

证明:如果一个多边形 M 与另一个多边形 N 的半径为 R 的缓冲区相交,则多边形 M 至少有一个顶点或一条边的部分线段落在缓冲区内或与缓冲区边界重合。若是 M 的顶点(设为 P)落在缓冲区内或缓冲区边界上,则根据缓冲区的定义,必然能找到多边形 N 的一个顶点或一条边,使点 P 到此点或边的距离不大于 R 。若是 M 的某条边的一部分线段落在缓冲区内或与缓冲区边界重合,则根据缓冲区的定义,也必然存在多边形 N 的一个顶点或一条

边到此线段的距离不大于 R 。由多边形间的距离定义可知,当以上两种情况任意一种满足时,都可以判定两个多边形间的距离不大于 R 。命题得证。

本实验要搜索距离不大于 R 的一组多边形,运用命题 1 的方法可以搜索到这样一群多边形,如图 3 所示。多边形 A 的半径为 R 的缓冲区仅与多边形 B 相交,继续搜索多边形 B,其半径为 R 的缓冲区仅与多边形 C 相交,而多边形 C 的半径为 R 的缓冲区没有与其他多边形相交,则多边形 A、B、C 为一组,多边形 D 为一组。

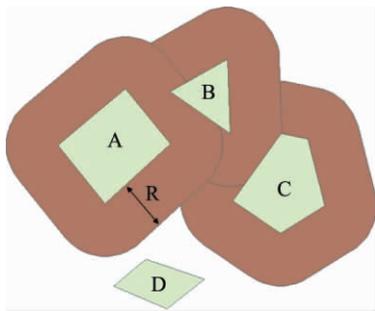


图 3 半径为 R 的缓冲区法进行多边形分组

然而若逐个判断多边形的缓冲区与其他多边形是否相交,计算量较大且效率不高,因此本文提出另一种思路:

命题 2:对两个多边形 M 、 N 分别以 $R/2$ 为半径做缓冲区,若两缓冲区有交,则两多边形间的距离不大于 R 。

证明:若是两个多边形顶点处的半径为 $R/2$ 的缓冲区相交,则根据缓冲区的定义,相应的两个顶点间的距离一定不大于 R ,根据多边形间的距离定义,此时多边形间的距离也不大于 R 。

若是两个多边形的边的缓冲区相交,存在两种情况:

①若两个多边形相邻的边平行,则根据缓冲区的定义,这两条边的缓冲区边界也平行,如果多边形的半径为 $R/2$ 的缓冲区相交,则根据平行线间的距离和缓冲区的定义可以很容易得出这两条平行边之间的距离不大于 R ,由多边形间的距离定义可知,这两个多边形间的距离也不大于 R 。

②若两个多边形相邻的边不平行且其半径为 $R/2$ 的缓冲区相交,则过其中一条边的一个顶点(假设为多边形 M 的顶点 P)作另一条边(假设为多边形 N 的边)的垂线段,垂足(设为 O)落在该边上,且该垂线段与此条边相应的缓冲区的边界也垂直,垂足设为 O' 。由于两条边的缓冲区相交,则多边形 N 的缓冲区在 M 的缓冲区之内,因此 M 的顶点到

N 的边的缓冲区边界的距离 PO' 一定不大于 $R/2$,而 OO' 为缓冲区的半径长 $R/2$,则 M 的顶点到 N 的边的距离 PO 一定不大于 R 。根据多边形间的距离定义可知,此时两个多边形间的距离不大于 R 。命题得证。

由于本文只对多边形的外边界进行缓冲区分析,因此当多边形为带岛的空洞多边形时,以上结论仍然适用。

用命题 2 的方法对图 3 中的多边形分组,分组情况如图 4 所示,统一做多边形 A、B、C、D 的半径为 $R/2$ 的缓冲区,其中 A、B、C 的缓冲区相交,可以分为一组,D 的缓冲区不与其他多边形的缓冲区相交,自己成一组。图 3 与图 4 对比可以发现,其分组的效果是一样的,且后者的视觉效果比前者更好。

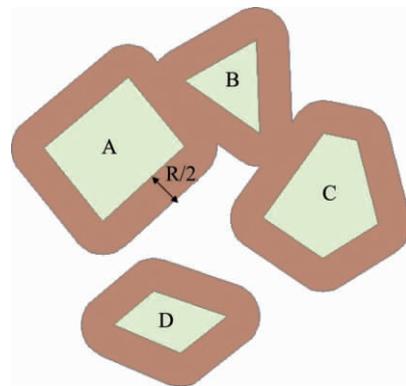


图 4 半径为 $R/2$ 的缓冲区法进行多边形分组

通过以上讨论,本文采用命题 2 的结论,寻找到合适的阈值 R 后,对所有变化多边形的外边界做半径为 $R/2$ 的外缓冲区,若多边形的缓冲区相交,则将这些多边形划为一个多边形群进行合并。

3 多边形群的合并算法研究

多边形群的凸包是指对于平面内两个及两个以上的多边形组成的多边形群,寻求一个最小凸多边形,使其能够把这个群中的所有多边形包围起来。多边形的凸包计算与点集的凸包计算最大的区别在于多边形顶点的有序性,利用该性质计算多边形群的凸包可以较大程度地降低算法的复杂性^[3]。

设一个多边形群里有 n 个多边形 P_1 、 P_2 、 \dots 、 P_n ,每个多边形的顶点以逆时针方向排列。首先应用简单多边形的凸包算法计算出每个多边形的凸包^[4],称为子凸包,设多边形 P_i 对应的子凸包为 CP_i ($i=1, 2, \dots, n$),则 CP_i 上的点有可能为多边形群凸包上的点。求出 n 个子凸包中横坐标最大、最小,纵坐标最大、最小的点,做出子凸包群的最小外

接矩形,以图 5 的子凸包群为例,矩形 ABCD 即为最小外接矩形,其中 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 为确定出该矩形的 4 个点。

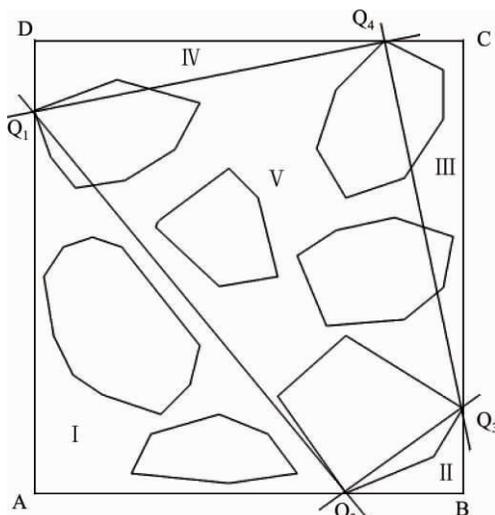


图 5 多边形群对应的子凸包群及其最小外接矩形

如图 5 所示顺次连接 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 , 将矩形 ABCD 划分为 5 个区域, 其中位于直线 Q_1Q_2 、 Q_2Q_3 、 Q_3Q_4 、 Q_4Q_1 左侧的区域 V 内的点肯定不在多边形群的凸包上, 因此只需分析落在 4 条直线右侧与矩形边界围成的 4 个三角形区域内的点即可。

在直线 Q_1Q_2 右侧存在若干个子凸包或子凸包上的点链, 对于其中一个子凸包 CP_i 而言, 分别连接点 Q_1 与 CP_i 上位于 Q_1Q_2 右侧的顶点得到若干向量, 找到这些向量中与向量 Q_1A 的夹角最小的向量所对应的顶点, 记为点 V_m ; 同样连接点 Q_2 与 CP_i 上位于 Q_1Q_2 右侧的顶点得到若干向量, 找到这些向量中与向量 Q_2A 的夹角最小的向量所对应的顶点, 记为点 V_n ; 如果存在夹角相同的向量, 则取模最大的向量所对应的顶点。经过以上处理, 可以得到子凸包 CP_i 上一条从点 V_m 到 V_n 的点链 $L_i = \{V_m, V_{m+1}, \dots, V_{n-1}, V_n\}$, 点链上的点按照逆时针排序, 且横坐标沿 X 轴方向递增。也可能出现 V_m 与 V_n 重合的现象, 此时 L_i 为一个点, 并不影响后面的处理。将 Q_1Q_2 右侧的每一个子凸包或子凸包上的点链做相同方式的处理, 可以得到相应的若干条点链 L 。如图 6 所示, 假设在 Q_1Q_2 右侧有 3 个点链, $L_1 = \{V_{11}, V_{12}\}$, $L_2 = \{V_{21}, V_{22}, V_{23}, V_{24}\}$, $L_3 = \{V_{31}, V_{32}\}$, 将所有点链中的点按照横坐标从小到大的顺序重新链接, 若有横坐标相同的点, 保留纵坐标最小的点, 链接完成后在首尾插入点 Q_1 、 Q_2 , 从而得到点链 $LQ_{12} = \{Q_1, V_{11}, V_{21}, V_{22}, V_{23}, V_{24}, V_{31}, V_{32}, Q_2\}$

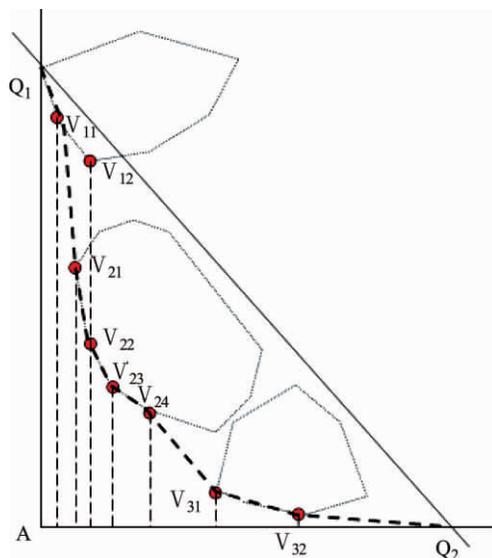
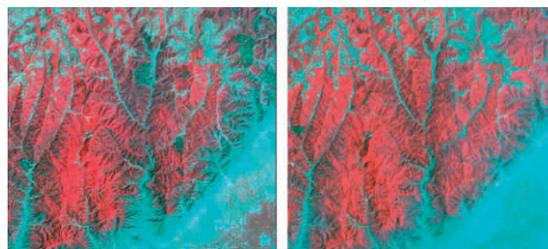


图 6 点链 LQ_{12} 的生成

用同样的方法处理图 5 中区域 II、III、IV 中的子凸包或子凸包上的点, 将区域 II 中点链上的点按照横坐标递增的顺序排列, 横坐标相同时保留纵坐标小的点, 在新点链首尾加入点 Q_2 、 Q_3 , 得到点链 LQ_{23} ; 将区域 III 中点链上的点按照横坐标递减的顺序排列, 横坐标相同时保留纵坐标大的点, 在新点链首尾加入点 Q_3 、 Q_4 , 得到点链 LQ_{34} ; 将区域 IV 中点链上的点按照横坐标递减的顺序排列, 横坐标相同时保留纵坐标大的点, 在新点链首尾加入点 Q_4 、 Q_1 , 得到点链 LQ_{41} ; 将 LQ_{12} 、 LQ_{23} 、 LQ_{34} 、 LQ_{41} 首尾相接, 可以得到一个新的简单多边形。对该多边形再用一次多边形的凸包算法, 所求出的凸包多边形即为多边形群的凸包。

4 实验与实现

本文采用 2000 年 7 月和 2007 年 9 月获取的陕西省某植被覆盖区域的 Landsat-TM 影像作为实验源数据, 截取其中一个相同范围的子区作为实验区域进行分析, 实验区影像如图 7 所示, 其中图 7(a) 为 2000 年影像, 图 7(b) 为 2007 年影像。由影像可以辨认出二者在某些区域有较为明显的区别。



(a) 2000 年实验区影像

(b) 2007 年实验区影像

图 7 两个时期的实验区影像

将两幅实验区影像分别进行预处理后做差值运算,寻找合适的阈值将差值影像二值化生成掩膜,再将该掩膜影像矢量化,去掉非变化区域的多边形,即为图 1 所示的变化区域矢量多边形图。

多边形分组的阈值 R 根据制图综合规范中的相关规定来确定:地图上的线划、几何图形、轮廓图形等基本图形都有其最小尺寸的要求,其中“相邻实心图形的间隔为 0.2mm”^[5]。本实验所用的 TM 影像空间分辨率为 30m,影像的空间分辨率与成图比例尺间存在式(1)所示的数学关系:

$$e \times m \times 10^{-3} = C \times P \quad (1)$$

式中 P 为遥感影像空间分辨率(m),m 为成图比例尺的分母,e 为人眼的分辨率,通常采用 0.2mm,C 为几何校正系数^[6]。利用式(1)可以算得 30m 分辨率的遥感影像比例尺近似为 1:500000。对于此比例尺的影像,0.2mm 相当于地面距离 100m,因此取阈值 R 为 100m,做所有多边形的 50m 的缓冲区,缓冲区相交的多边形则分为一组。

多边形群合并的算法基于 ArcEngine 与 Visual C# 开发实现。用户将缓冲区相连的多边形选中,这些多边形的顶点信息通过 IPointCollection 接口的 AddPoint 方法获取,并记入一个 Multipoint 点集对象,再通过循环语句将其读入一个 IPoint 类中再做处理,实现多边形凸包的自动生成,新生成的凸包以.shp 格式存入一个新的面图层。以图 1 右上角的部分影像为例,程序运行效果如图 8 所示,其中图 8(b)中新生成的凸包所在的图层位于原多边形图层的下方。



(a)多边形合并前 (b)多边形合并后
图 8 影像变化多边形处理前后效果图

因为多边形分布过于零散,即使合并之后,其面积也大小不一。在 1986 年遥感调查中,遥感信息源和工作底图比例尺为 1:500000 时,规定最小上图的图斑面积为 4mm²,相当于地面面积 10⁶m²^[7]。因此将合并完成后面积仍小于 10⁶m² 的多边形删除,剩余的多边形即为最终要被提取的增量影像块的边界。

用最终所得的多边形边界依次裁剪原始影像,可以得到每一块变化区域的多边形,图 9 所示为其中一块变化区域所对应的原始影像块。对比图 7 中两幅

影像的右上角区域可以发现,提取的变化影像与肉眼观察到的变化区域形状等相一致。将所有变化区域的影像块提取出来并将其黑色背景去除,全部覆盖在 2007 年新影像上形成 2000 年影像的快照如图 10 所示,虽然接边处存在较为明显的痕迹,但可以在后期通过影像镶嵌等技术加以修正。该影像仍然较为完整和清晰地呈现了 2000 年影像中的地物等特征。



图 9 裁剪得到的某变化影像块

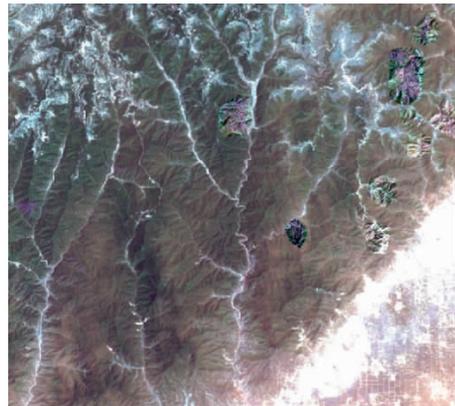


图 10 增量更新后的 2000 年影像快照

5 结束语

本文对遥感影像增量更新中影像块的生成方法进行了研究,不同于传统的金字塔影像块的存储方式,本文的方法将相对集中的变化区域合并为一个规则的凸多边形,作为整体提取出来。这种方法能够较大程度地保留变化信息和变化区域的形状,避免了部分不必要的数据冗余,实验结果表明该方法是可行的。用此方法配合遥感影像镶嵌等技术实现遥感影像的增量更新,用户可以仅保存当前最新时刻的遥感影像以及提取出的变化影像块,就可以还原旧时刻的完整影像,较大地减少了影像存储的容量,提高了存储器的存储效率,且能够保证影像变化信息的完整性,为海量影像数据的存储和管理开辟了新的途径,对利用遥感影像进行地籍图、地形图等矢量图的修正工作也具有较大的实际意义。(下转第 24 页)

参考文献

- [1] Massonnet D, Feigl K. Radar interferometric and its application to changes in the Earth's surface[J]. Review of Geophysics, 1998, 36(4): 441—500.
- [2] Tesauro M, Berardino P, Lanari R, et al. Urban subsidence inside the city of Napoli (Italy) observed by satellite radar interferometry[J]. Geophysics Research Letter, 2000, 27(13): 1961—1964.
- [3] Lu Zhong, Wicks C, Kwoun O, et al. Surface deformation associated with the March 1996 earthquake swarm at Akutan island, Alaska, revealed by C-band ERS and L-band JERS radar interferometry[J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 2005, 31(1): 7—20.
- [4] Zebker, H. A., Villasenor, J. Decorrelation in interferometric radar echoes[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1992, 30(5): 950—959.
- [5] Ferretti, A., Rocca, F., Prati, C. Permanent scatterers in SAR interferometry[C]//IGARSS1999, Hamburg, Germany, 1999.
- [6] Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., et al. A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2002, 40(11): 2375—2383.
- [7] Lanari, R., Mora, O., Manunta, M., et al. A small-baseline approach for investigating deformations on full-resolution differential SAR interferograms[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2004, 42(7): 1377—1386.
- [8] Hooper, A., Zebker, H., Segall, P., et al. A new method for measuring deformation on volcanoes and other natural terrains using InSAR persistent scatterers[J]. Geophysical Research Letters, 2004, 31(L23611): 1—5.
- [9] Hooper, A., Segall, P., Zebker, H. Persistent scatterer interferometric synthetic aperture radar for crustal deformation analysis, with application to Volcan Alcedo, Galapagos[J]. Journal of Geophysical Research, 2007, 112(B07407): 1—22.
- [10] Hooper, A. A multi-temporal InSAR method in incorporating both persistent scatterer and small baseline approaches[J]. Geophys. Res. Lett., 2008, 35(16): L16302.
- [11] Lyons, S., Sandwell, D. Fault creep along the southern San Andreas from interferometric synthetic aperture radar, permanent scatterers, and stacking[J]. Geophys. Res., 2003, 108(B1): 2047.
- [12] 张永红, 张继贤, 龚文瑜, Lu Z. 基于 SAR 干涉点目标分析技术的城市地表形变监测[J]. 测绘学报, 2009, 38(6): 482—487.
- [13] 张永红, 张继贤, 吴宏安, 孙广通. 时间序列 InSAR 形变监测中的若干问题探讨[C]//第六届海峡两岸测绘发展研讨会. 2010.
- [14] Hooper, A., Zebker, H. Phase unwrapping in three dimensions with application to InSAR time serieses[J]. J. Opt. Soc. Am. A, 2007, 24(9): 2737—2747.
- [15] Gernhardt S., Adam N., Eineder M., Bamler R. TerraSAR-X high resolution spotlight persistent scatterers interferometry[C]//Proceedings of the FRINGE 2009 workshop. ESA ESRIN, Frascati, Italy, 2009: 1130—1204.
- [16] Wegmüller U., Walter D., Spreckels V., Werner L. Nonuniform ground motion monitoring with TerraSAR-X persistent scatterer interferometry[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 2010, 48(1): 895—904.

.....

(上接第 8 页)

参考文献

- [1] 郑群英, 周晓光, 栾柱晓. 影像金字塔增量更新方法[J]. 地理空间信息, 2009, 7(5): 38—41.
- [2] 田洪军, 闫浩文, 王丹英, 张彦丽. 空间关系中两相邻实体间最近距离算法研究[J]. 测绘科学, 2008, 33(1): 200—201.
- [3] 毛定山. 基于计算几何的矢量数据叠加分析算法研究[D]. 山东科技大学, 2007(7): 35—43.
- [4] 周文科. 一种简单多边形凸包的快速算法及程序设计[J]. 广州大学学报, 2003, 2(6): 545—547.
- [5] 祝国瑞. 地图设计与编绘[M]. 湖北: 武汉大学出版社, 2005.
- [6] 潘家文, 朱德海, 严泰来, 孙丽. 遥感影像空间分辨率与成图比例尺的关系应用研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 124—127.
- [7] 刘建华, 苏大学, 钟华平. 黄土高原地区草地资源两次遥感调查比较研究[J]. 草地学报, 2005(13): 22—23.