

文章编号:1001-1595(2011)06-0790-06

影像增量动态更新与融合技术研究

张新长,唐 铁

中山大学 地理科学与规划学院,广东 广州 510275

Research on Incremental and Dynamic Image Update and Fusion Technology

ZHANG Xinchang, TANG Tie

School of Environment Science and Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract:Based on the analysis of the existing methods of image update, a new method for image update and fusion in an incremental and dynamic way is proposed. The method firstly locates the changing map sheets and areas with grid index maps and incrementally updates the local parts of original data with images of different phrases through mosaic technique. Then it conducts color balance manipulation to reduce color variation of different images. The image smooth process based on convolution and distance-inverse weighted method is also applied to solve the pixel mutation effects existed in the transition zone. The method with a case study and corresponding analysis is illustrated. The result shows that the method has high computational efficiency and good mosaic effect. The method exhibits satisfied practicability in local scope incremental image updating and successfully solves the dynamic update problems.

Key words: image; increment; dynamic updating

摘 要:在分析目前已有的一些影像数据更新方法的基础上,提出一种影像增量动态更新与融合的新方法,该方法首先利用图幅格网索引图和新影像数据定位更新变化图幅和范围,然后对不同时期的影像数据进行镶嵌式的增量更新。针对不同时相影像数据间的色彩差异进行色彩均衡处理,而对于不同时相影像数据镶嵌边缘存在像元突变效应进行了基于卷积和反距离加权的图像平滑融合处理。经试验论证,该方法在计算效率和镶嵌效果上具有优势,可用于局部地区的影像更新。

关键词:影像;增量;动态更新

中图分类号:P208 文献标识码:A

基金项目:国家自然科学基金(40971216;41071246)

1 引 言

随着遥感影像数据逐渐成为空间数据的主要来源,如何组织、管理及快速更新影像数据是一个值得深入研究的问题。为切实解决好影像数据库持续动态更新的关键技术问题,建立一套(半)自动化的数据库增量更新模式是研究的重要方向之一^[1-3]。近年来,有关矢量数据的增量动态更新已有一些研究成果,如文献[4]中提到的基于拓扑联动的地籍数据库增量更新,这是一种矢量数据库的更新;而有关影像数据库的增量更新方面的研究相对较少,文献[5]提出基于元数据管理的影像数据更新,以元数据为辅助机制,对影像存储更新进行组织管理。文献[6]提出基于影像金字塔的增量更新,通过影像金字塔管理检索影像实现增量替换更新。文献[7]提出的影像超分辨率重建中的动态数据更新是一种基于影像局部范围的更

新,利用 Delaunay 三角网在目标影像的数据源发生变化的情况下划定更新范围,然后针对变化范围重建结果直接进行更新。文献[8]提出通过卫星影像与车载照片图像融合的方法来解决高质量道路影像的更新。文献[9]提出一种在探测影像数据发生变化的基础上,计算各个波段相对于地物发生变化的敏感性系数,对变化敏感性强的波段和弱的波段采用不同策略实施影像更新。尽管国内外学者已经提出一些关于影像数据的更新方法,但是,目前有关影像更新的方法技术研究投入产出尚不足,难以应用于工程实践,影像数据库的增量动态更新仍是迫切需要解决的难题。

笔者在解决影像变化范围的基础上,引进影像镶嵌的方法理论,对原始影像和新影像进行镶嵌处理,大大降低影像更新的条件和成本,同时也确保了更新后的影像质量,该更新模式主要针对一些变化速率快的区域作增量式的更新处

理^[10-11]。所谓增量动态更新是指采集数据变化的部分,以增量的方式对原数据进行修正和补充等进行实时地更新处理,确保影像数据库的现势性。但是,不同时相的影像数据在色调、纹理乃至地物内容上的变化,会造成同一地区的不同时相的图像色调上的不统一和纹理上的不连续,致使它们在彼此镶嵌融合时,出现色调不匹配以及明显的拼接缝^[12]。鉴于此种情况,对原始影像和新影像作色彩均衡化处理,对于镶嵌边缘存在的像元突变效应进行基于卷积和距离加权的图像平滑融合处理。

2 增量动态更新与融合方法

2.1 基于图幅的更新影像检索

在输入新影像前提下,基于图幅的方式能快速简捷地找到数据库中需要更新的图幅。该方法相比于影像的自动变化检测方法,具有实现简单、快速等优点,而相比于一般的通过坐标运算定位更新范围则更加方便、准确。为了实现基于图幅的数据更新,需要在数据库中按影像分幅方式建立数据格网索引图(接图表),即按地形图分幅规则建立覆盖整个建库范围的索引格网。索引图在数据库中存储为一个面要素类,其中的每个面要素对应索引格网的一个单元,即每个面要素对应着一个图幅。索引图作为一个面要素类,对应一张属性表,应在入库时将图幅的相应属性存入属性表中。图幅序号记录了图幅的次序,可以以行或者列的方式排列所有图幅的次序,图幅序号的值是唯一的,每个图幅对应一个图幅序号。图号字段存储对应图幅的图号字段。

根据新影像的范围检索出影像数据库中发生变化的图幅,即被新影像范围覆盖或经过的图幅。根据新影像文件像素坐标左上角坐标,右下角坐标,换算出实际的地理坐标。通用图像格式存储的遥感影像数据,一般带有坐标信息文件。利用信息文件中的坐标信息,进行像素坐标与实际地理坐标值的转换。如果新影像文件坐标信息文件中与原影像坐标信息文件中具有不同的空间坐标信息,可以通过以下坐标转换方法获得:① 新影像和原始影像内找到三个以上相同的控制点计算坐标转换的参数;② 提取出图像坐标定位系数,计算出新的坐标定位系数与几何重采样的图像坐标转换公式;③ 根据重采样函数对图像作图像重采样,得到重采样后的图像;④ 将新的坐标定位

系数输出到坐标定位文件中,完成遥感图像的坐标转换工作。像素坐标与地理坐标转换公式为 $x_1 = Ax + By + C$, $y_1 = Dx + Ey + F$ 。其中 x 是像素所在列数; y 是像素所在行数; x_1 为像素对应的地理东坐标; y_1 为地理北坐标; A 是 x 方向比例参数; E 是 y 方向比例参数负值; B 和 D 为旋转参数,分别代表像素因旋转在东和北方向距离偏移值,一般为 0; C 和 F 是影像左上角像素的影像地理坐标^[13]。根据上式将影像像素坐标转换为地理空间坐标,得到新影像左上角地理坐标 $p_1(x_1, y_1)$ 、右下角 $p_2(x_2, y_2)$,原影像的左上角坐标 (x_0, y_0) 图幅的宽 R_x 、高 R_y ,且 $R_x = R_y = R_0$,则:

(1) 依据公式(1)、(2)计算得到变化区域左上角和右下角所对应的 2—2 的分幅号行列坐标 (W_{2-2}, H_{2-2}) 、4—4 的分幅号行列坐标 (W_{4-4}, H_{4-4})

$$\left. \begin{aligned} W_{2-2} &= INT(\frac{x_1 - x_0}{R_0}) + 1 \\ H_{2-2} &= INT(\frac{y_0 - y_1}{R_0}) + 1 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} W_{4-4} &= INT(\frac{x_2 - x_0}{R_0}) + 1 \\ H_{4-4} &= INT(\frac{y_0 - y_2}{R_0}) + 1 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

(2) 依据公式(3)、(4)可得到变化区域的左上角 $p_3(x_{P_3}, y_{P_3})$ 和右下角 $p_4(x_{P_4}, y_{P_4})$ 坐标

$$\left. \begin{aligned} x_{P_3} &= W_{2-2} \times R_0 + x_0 \\ y_{P_3} &= y_0 - H_{2-2} \times R_0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} x_{P_4} &= W_{4-4} \times R_0 + x_0 \\ y_{P_4} &= y_0 - H_{4-4} \times R_0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

变化区域以 P_1P_2 为对角的矩形区域如图 1 所示。

1-0	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6
2-0	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6
3-0	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6
4-0	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6
5-0	5-1	5-2	5-3	5-4	5-5	5-6

图 1 检索出需被更新的图幅数

Fig. 1 Detect the number of images that need update

2.2 确定更新变化范围

设给定新影像的左上角地理坐标 $p_1(x_1,$

y_1)、右下角 $p_2(x_2, y_2)$ 。每一个需要更新的分幅的左上角坐标 (x_{ul}, y_{ul}) ，右下角 (x_{rb}, y_{rb}) ，根据如下公式判断则获得每个分幅的变化区域左上角 (x_{ul}, y_{ul}) 和右下角 (x_{rb}, y_{rb}) 地理坐标：

(1) 每个分幅的变化区域左上角坐标求算公式

$$\begin{cases} x_{ul} = f(x_{ul}, x_1) = \begin{cases} x_{ul} (x_{ul} > x_1) \\ x_1 (x_{ul} \leq x_1) \end{cases} \\ y_{ul} = f(y_{ul}, y_1) = \begin{cases} y_1 (y_{ul} \geq y_1) \\ y_{ul} (y_{ul} < y_1) \end{cases} \end{cases} \quad (5)$$

(2) 每个分幅的变化区域右下角坐标求算公式

$$\begin{cases} x_{rb} = f(x_{rb}, x_2) = \begin{cases} x_2 (x_{rb} \geq x_2) \\ x_{rb} (x_{rb} < x_2) \end{cases} \\ y_{rb} = f(y_{rb}, y_2) = \begin{cases} y_2 (y_{rb} \leq y_2) \\ y_{rb} (y_{rb} > y_2) \end{cases} \end{cases} \quad (6)$$

根据上述公式可以判断出每个图幅的变化区域，如图 2 所示。

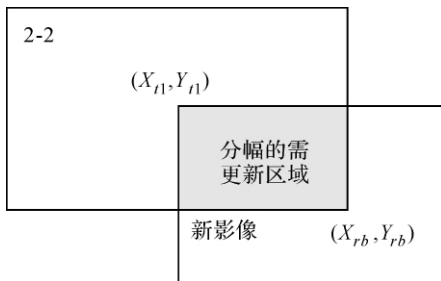


图 2 检索出图像的更新变化范围

Fig. 2 The detected change areas of the retrieved images

2.3 不同时相影像数据色彩均衡化处理

遥感图像色调无缝处理关键是解决遥感图像图幅之间的色彩一致性问题即消除特定区域范围内不同影像之间在色调、亮度、反差等方面存在的不同程度的差异，从而保证新遥感影像在更新后不出现人眼可分辨的图幅边界和色彩差异。

目前存在很多影像色调平衡算法主要包括：基于方差、均值的方法，基于信息熵的匹配算法，基于直方图规定化的匹配算法，基于一阶直方图平衡算法等。通过案例试验，采用基于影像信息熵的色调均衡方法^[11]对于调整新影像色调与被更新影像色调一致有较好的效果。

以信息熵映射的方法对其中的一景影像进行信息熵的转换，使新影像和被检索出影像存在的

色调差异趋于一致。假设被检索影像的最大、最小灰度值和信息熵分别为 g_{1max} 、 g_{1min} 和 H_1 ，新影像的最大、最小灰度值和信息熵分别为 g_{2max} 、 g_{2min} 和 H_2 。新影像和原始影像中的第 i 灰度级的百分率分别为 $P_2(i)$ 、 $P_1(i)$ ^[14-15]，则

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= - \sum_{g_{1min}}^{g_{1max}} P_1(i) \log_2 P_1(i) \\ H_2 &= - \sum_{g_{2min}}^{g_{2max}} P_2(i) \log_2 P_2(i) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

以原影像为参考，对新影像进行映射，则映射的计算公式如下

$$g_2(i, j) = \frac{H_1}{H_2} (g_2(i, j) - g_{2min}) + g_{1min} \quad (8)$$

式中， $g_2(i, j)$ 为映射后的结果； $g_2(i, j)$ 是新影像 (i, j) 的灰度值。这种处理方式的计算量较小，运算速度快。

2.4 影像融合及接边处理

通过求出分幅的变化区域左上角坐标 (x_{ul}, y_{ul}) 和右下角坐标 (x_{rb}, y_{rb}) ，然后把新影像的变化信息写到原影像的对应区域中。针对影像增量更新情况下的影像接边缝处理要求大致可以分为以下两点：① 影像更新后无明显的接边缝隙，即要求原始影像与新影像之间为平滑自然地过渡；② 在平滑过渡区域也要尽可能保证图像真实性，即过渡区域不能选择太大，而且平滑图像的模糊程度不能过高。在两幅影像的相交边缘处往往因为两幅影像突变的像元差异，产生一条明显的拼接缝，因此，如何消除这条拼接缝，并且使得新影像和原始影像之间实现自然平滑地过渡，消除像元突变效应即是影像镶嵌的关键问题所在^[14-16]。

如图 3 所示，在重叠区内选取长为 l 的区域作为过渡区域带，像点距离过渡区域左边缘越远则左边图像的距离权重越小，相应地，右边图像的距离权重越大。

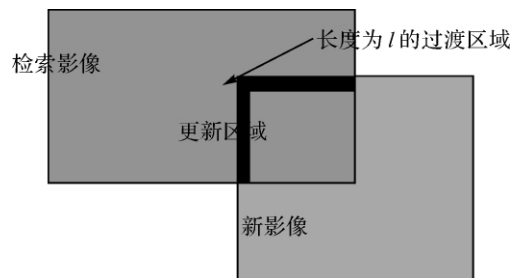


图 3 影像更新变化过渡范围示意

Fig. 3 The transition regions of images that need update

过渡区域带的像元值计算公式是

$$I = \omega_a \times I_a + \omega_b \times I_b = (1 - \frac{d}{l}) \times I_a + \frac{d}{l} \times I_b = I_a + \frac{d}{l}(I_b - I_a) \quad (9)$$

式中, d 是图像点距离过渡区域左边缘的长度, 单位为像素单元大小; ω_a 为原影像像元 I_a 的权重; ω_b 为新影像像元 I_b 的权重。

但是, 在新的影像叠加到原始影像的过程中, 往往因为实际地物地表的物理变化, 两幅影像镶嵌边缘处存在像元的突变效应。从信号频谱分析的知识得知, 信号的慢变部分在频率域属于低频部分, 而信号的快变部分在频率域是高频部分。对于图像来说, 它的边缘以及噪声干扰的频率分量都处于空间频率域较高的部分, 因此可以采用低通滤波的方法去除噪声, 而频域的滤波又很容易用空间域的卷积来实现, 为此只要适当地设计空间域系统的单位冲激响应矩阵就可以达到滤除噪声的效果。

$$G(x, y) = \sum_m \sum_n F(m, n) H(x - m + 1, y - n + 1) \quad (10)$$

式中, $F(m, n)$ 为 $m \times n$ 模板; $H(x - m + 1, y - n + 1)$ 为卷积模板; $G(x, y)$ 为平滑处理后中心像元的值。

根据空间自相关性定律, 距离越近的空间相关性越大, 距离越远的空间相关性越小。在空间域上对图像进行邻域检测, 选定一个卷积函数, 又称为模板, 实际上是在图像上开一个 $m \times n$ 的图像窗口, 窗口形状一般设置为奇数正方形, 如 $3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7$ 等。针对图像重叠区域, 利用卷积算法来处理两幅图像的重叠区域。考虑到实现效率, 本文采用 3×3 模板卷积运算消除因为两幅图像之间像元差异, 低通卷积掩模 $H =$

$$\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \text{故基于空间域低通滤波距离加权的函数为}$$

$$I_i = I_{ai} + \frac{d}{l} \begin{bmatrix} I_{i-1} - I_{ai-1} & I_{i-1} - I_{ai} & I_{i-1} - I_{ai+1} \\ I_{i-1} - I_{ai-1} & I_{i-1} - I_{ai} & I_{i-1} - I_{ai+1} \\ I_{i+1} - I_{ai-1} & I_{i+1} - I_{ai} & I_{i+1} - I_{ai+1} \end{bmatrix} \times \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

式中, I_i 为处理后的像元值; I_{ai} 为原始影像的像

元值; I_{bi} 为新影像的像元值; d 为当前点距新影像边缘的大小; l 为平滑过渡区域带。

为实现不同时相影像的自然平缓过渡, 过渡区域带的平滑算法是将卷积运算与距离加权运算相结合, 针对边缘处灰度差异大的问题, 采取低通滤波来消除灰度的突变效应, 采用像元距离加权来实现两者之间的无缝集成。但是, 低通滤波会造成边缘信息的损失, 而不采用这种方法又会由于某些差异较大的新旧像元影响而形成明显的接边缝, 所以这里采取损失一小部分边缘信息量, 以保证更新后影像的质量。同时, 低通滤波模板选取的也不是简单的平均值, 而是考虑临近像元效应, 对于距离中心像元不同长度的像元给予不同的权重。

综上所述, 变化区域像元的计算公式为

$$f(x, y) = \begin{cases} I_i & (\text{当 } x_{il} < x \leq x_{il} + l \text{ 且 } y_{rl} < y < y_{rl}) \\ I_{bi} & (\text{当 } x_{il} + l < x < x_{rb} \text{ 且 } y_{rl} < y < y_{rl} - l) \\ I_i & (\text{当 } x_{il} < x < x_{rb} \text{ 且 } y_{rl} - l < y \leq y_{rl}) \end{cases} \quad (12)$$

3 试验案例

本试验采用的数据是广州增城市高分辨率数据, 采用 VS2008 开发环境。数据包括 2003 年和 2008 年两个时期的彩色航片影像 ($3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$, 分辨率 0.4 m)。数据格式为经过坐标配准的航空摄影航片格式, 本试验根据算法的需要, 已将其转换为 TIFF 图像格式以供程序使用, 如果原始影像与新影像的分辨率不同, 更新前需要把新影像分辨率重采样和原影像分辨率相同, 本试验所用新影像数据与原影像分辨率相同。试验中对增城市多处地方进行增量动态更新, 下面的试验数据为增城市新塘镇某地区。

在用户输入新影像数据的情况下, 该算法通过坐标变换, 定位到原影像的变化区域, 在现势数据库中搜索出关联图幅, 然后对这些图幅的变换区域进行更新替换, 快速地实现了变化区域的增量更新, 并且针对不同时相影像数据之间存在的由于不同条件下获取所引起的色差以及由于镶嵌边缘处存在的像元突变效应作了有效的处理, 更新后的影像将保存至现势数据库中, 而原始影像也将移至历史数据库中。更新方法及过程如图 4 所示。

从试验结果可以看出: 基于图幅的增量动态更新实现了从输入一幅新影像到搜索匹配获取更

新数据及变化区域,影像色调一致性处理和新影像与原始影像的镶嵌融合处理,并且影像的更新处理结果达到了较好的效果,整个过程耗时短,运算便捷快速。由于影像管理存储是基于 ArcSDE 的,所以在影像的读写操作花费时间相对后面融合处理时间久,实例检索时间为 68.56 s,而更新处理时间为 45.16 s。更新后的影像,整体亮度均匀、色彩反差适中、纹理色彩信息丰富、地物分异明显;且没有出现重影或模糊不清,色调基本达到自然真彩色的效果。

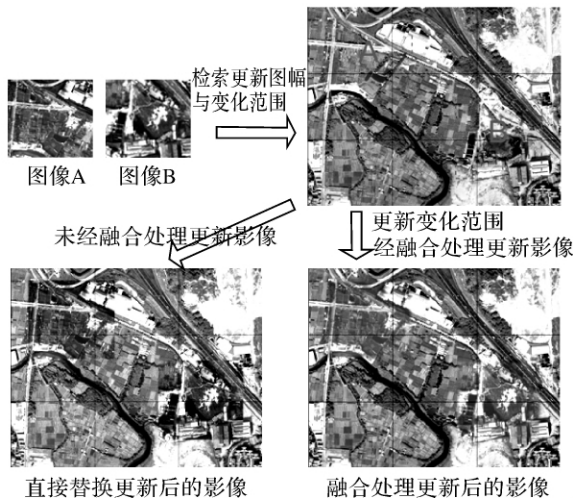


图4 基于图幅的影像增量动态更新与融合示意

Fig. 4 Schematic diagram of incremental dynamic image update and fusion based on map sheet system

4 结束语

在分析有关空间地理信息数据库更新的国内外已有研究成果基础之上,提出基于图幅模型的影像增量动态更新与融合方法,并实际应用于广东省增城市空间地理信息数据库影像数据的快速增量动态更新。该方法首先是利用图幅接合表,在用户输入新影像的前提下帮助用户快速定位找出原影像的变化范围与图幅,针对不同时期影像数据的色彩差异及接边问题,引入影像镶嵌理论,而非直接替换原始数据,通过对不同时期影像间的色差、像元突变效应的处理,提升影像更新后的数据质量,整个实现过程简洁明了。试验结果表明:本模型具有实现方法简单,处理速度快,局部增量动态更新的特点,而且影像更新后数据质量令人满意。

但对于不同时期遥感图像更新的主要困难

是:在获取时间不同的图像上,对季节变化十分敏感的植被、水体等地物的色调和形态都会有所不同,随着时间推移而发生自然变迁的地物以及人类活动造成的人文标志的变化,也都会造成同一地区图像在色调、纹理和地物内容上的变化。这一系列变化必然造成不同时相图像色调上的不统一和纹理上的不连续,致使在更新时,新影像与周边影像色调的不一致以及边缘地区会出现明显的接缝。虽然本文采用色彩均衡处理和距离加权的卷积运算将处理色调及接边缝,但是,从视觉效果上看,同样会存在少许差异,因此如何更好地解决或者减少因时相问题带来的色彩差异还值得深入研究与讨论,如可能通过针对各类分类地物实施数据的增量更新等;而且基于图幅方式的增量更新还是具有一定的局限性,对于普及适用有一定的限制,它是以需要图幅接合表索引以及分块存储影像为附加条件而提高搜索效率,所以,以上问题将是今后的研究重点。

参考文献:

- [1] CHEN Jun, LI Zhilin, JIANG Jie, et al. Key Issues of Continuous Updating of Geo-spatial Databases [J]. Geomatics World, 2004, 2(5): 1-5. (陈军,李志林,蒋捷,等. 基础地理数据库的持续更新问题[J]. 地理信息世界, 2004, 2(5): 1-5.)
- [2] JIANG Jie, CHEN Jun. Some Consideration for Update of Fundamental Geo-information Database [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2000(5): 1-3. (蒋捷,陈军. 基础地理信息数据库更新的若干思考[J]. 测绘通报, 2000(5): 1-3.)
- [3] COOPER A, PELED A. 2001, Incremental Updating and Versioning[C]//Proceedings of the 20th International Cartographic Conference. Beijing; [s. n.], 2001: 2806-2809.
- [4] CHEN Jun, ZHOU Xiaoguang. Incremental Updating of Spatial Database Based on Topological Linkage-taking Cadastral Database as an Example[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2008, 37(3): 323-329. (陈军,周晓光. 基于拓扑联动的增量更新方法研究:以地籍数据库为例[J]. 测绘学报, 2008, 37(3): 323-329.)
- [5] ZHENG Qunying, ZHOU Xiaoguang, LUAN Zhuxiao. Method for Incremental Organization and Updating of Image Pyramid[J]. Geospatial Information, 2009, 7(5): 38-41. (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.)
- [6] HAO Sibao. Research on the Key Technologies of Building Digital Orthophoto Map Database[D]. Nanjing: Nanjing Normal University. 2007. (郝思宝. 数字正射影像建库关键技术研究[D]. 南京:南京师范大学, 2007.)

- [7] TAN Bing, GUO Jianxing, XING Shuai, et al. Dynamic Data Updating Algorithm for Image Super Resolution[J]. Editorial Board of Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2005, 30(12): 1067-1070. (谭兵,郭建星,邢帅,等. 影像超分辨率重建中的动态数据更新算法[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2005,30(12):1067-1070.)
- [8] MASAFUMI NODA, TOMOKAZU TAKAHASHI, DAISUKE DEGUCHI, et al. Road Image Update Using in Vehicle Camera Images and Aerial Image [C]// Proceedings of 2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Baden-Baden:[s. n.], 2011:5-9.
- [9] MAMUN M A, JIA Xiuping, RYAN M. Adaptive Data Compression for Efficient Sequential Transmission and Change Updating of Remote Sensing Images [C]//Proceedings of 2009 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS. Cape Town:[s. n.], 2009: 12-17.
- [10] FAN Y T, YANG J Y, ZHANG C, et al. A Event-based Change Detection Method of Cadastral Database Incremental Updating[J]. Mathematical and Computer Modelling, 2010, 51: 1343-1350.
- [11] LIN Na, WANG Bin. Study on Incremental Updating Mechanism of Spatial Database[J]. Science of Surveying and Mapping, 2008, 33(3): 198-200. (林娜,王斌. 空间数据库增量式更新机制的研究[J]. 测绘科学,2008,33(3):198-200.)
- [12] CAPEL D. Image Mosaicing and Super-resolution [M]. New York: Springer-Verlag, 2004.
- [13] WANG Qiang, SHU Jiong, ZHANG Xiaohu. A Method of Coordinate Transformation of Remote Sensing Images [J]. Science of Surveying and Mapping, 2006, 31(4): 137-140. (王强,束炯,张晓沪. 一种遥感图像的坐标转换方法[J]. 测绘科学,2006,31(4):137-140.)
- [14] YANG Hongwei. Study on the Images Fusion, Mosaic and Map Based on the Remote Sensed Image with High Spatial Resolution and Multi-sources [D]. Lanzhou: Lanzhou University,2010. (杨红卫. 高分辨率多源遥感影像融合与镶嵌、制图研究[D]. 兰州:兰州大学,2010.)
- [15] JIANG Hongchen. A Study and Design on More Remote Sensing Images Mosaicing System[D]. Beijing: Institute of Remote Sensing Applications Chinese Academy of Sciences, 2004. (蒋红成. 多幅遥感图像自动裁剪镶嵌与色彩均衡研究[D]. 北京:中国科学院遥感应用研究所,2004.)
- [16] HUANG Wenli, ZHU Shulong, CHEN Hong. Seamline Removing in Mosaicked Image[J]. Journal of Insititute of Surveying and Mapping, 2000, 17(1): 31-33. (黄文莉,朱述龙,陈虹. 镶嵌图像上拼接缝的消除方法[J]. 测绘学院学报,2000,17(1):31-33.)

(责任编辑:宋启凡)

收稿日期:2011-07-12

修回日期:2011-09-08

第一作者简介:张新长(1957—),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为城市地理信息系统。

First author: ZHANG Xinchang (1957—), male, PhD, professor, PhD supervisor, majors in urban GIS.

E-mail: eeszxc@mail.sysu.edu

(上接第789页)

- [3] KIESTER R, SAHR K. Planar and Spherical Hierarchical, Multi-resolution Cellular Automata [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2008, 32(3):204-213.
- [4] HEIKES R, RANDALL D. Numerical Integration of the Shallow-water Equations on a Twisted Icosahedral Grid. Part I: Basic Design and Results of Tests[J]. Monthly Weather Review, 1995, 123(6):1862-1880.
- [5] GIBSON L, LUCAS D. Spatial Data Processing Using Generalized Balanced Ternary[C]//Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Pattern Recognition and Image Processing. Las Vegas:IEEE,1982:566-571.
- [6] SAHR K. Discrete Global Grid Systems: A New Class of Geospatial Data Structure [D]. Oregon: The Graduate School of the University of Oregon, 2005.
- [7] DONALD E K. The Art of Computer Programming: Semi-numerical Algorithms [M]. 3rd ed. Translated by SU Yunlin. Beijing: National Defence Industrial Press, 2002. (DONALD E K. 计算机程序设计艺术:半数值算法 [M]. 3版. 苏运霖,译. 北京:国防工业出版社,2002.)
- [8] VINCE A. Indexing the Aperture 3 Hexagonal Discrete Global Grid [J]. Journal of Visual Communicatin and Image Representation, 2006, 17(6):1227-1236.
- [9] ZHENG X Q. Efficient Fourier Transforms on Hexagonal Arrays[D]. Florida: University of Florida, 2007.
- [10] MATTHEW G. Triangulation of a Hierarchical Hexagon Mesh[D]. Kingston: Queen's University, 2009.
- [11] LIU Baihui, DU Li, YU Tao. A Method of Conversion between Decimal Number and Symmetrical Ternary Number[J]. Journal of Liaoning University, Natural Sciences Edition, 1985(4): 29-35. (刘百惠,杜荔,于涛. 十进制数与对称三进制数之间转换的一种算法[J]. 辽宁大学学报:自然科学版,1985(4):29-35.)

(责任编辑:宋启凡)

收稿日期:2010-04-26

修回日期:2010-10-18

第一作者简介:贲进(1977—),男,博士,副教授,主要从事空间数据模型、摄影测量方向的教学和研究。

First author: BEN Jin (1977—), male, PhD, associate professor, majors in geospatial data model, photogrammetry.

E-mail: benj@lreis.ac.cn