

利用嵌套金字塔模型进行瓦片地图数据组织

杜清运^{1,2} 虞昌彬^{1,2} 任福^{1,2}

(1 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(2 武汉大学地理信息系统教育部重点实验室, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘要:在分析了基于传统金字塔模型组织瓦片地图数据方法的基础上, 针对其在电子地图跨越尺度较小的情况下实时动态显示时出现画面内容显著跳跃及空间信息冗余的弊端, 提出了一种改进的嵌套金字塔模型, 并以双金字塔嵌套为例详细阐述了其设计原理及构建方法。实验证明, 该方案充分继承了金字塔模型通过多细节层次展现丰富空间信息的优势, 并有效提升了该模型在各尺度间切换时的连贯性, 一定程度上补充和优化了基于预生成技术的瓦片地图数据组织方法, 为金字塔模型的具体构建方式提供了一种新思路。

关键词:地图数据; 瓦片; 嵌套金字塔模型; 双金字塔模型

中图法分类号: P283.7; P208

利用金字塔模型来组织瓦片地图数据很早就应用于遥感领域, 众多学者对此进行了深入的研究, 并取得了许多重要的成果^[1,2]。此外, 该组织方式还广泛应用于各种公共服务领域, 从 2D 的 Google Map 等电子地图系统到 3D 的 E 都市等城市服务平台都有所涉及。但这些处理方法中的地图跨越尺度(比例)往往较大, 采用传统的基于 2 倍率^[3]的金字塔模型能较好地满足显示的需求。但当组织跨越比例较小的空间数据时, 如应用于各类专题多媒体电子地图, 传统金字塔模型显示出不足, 这体现在金字塔模型上部跨越尺度突变, 其结果是动态缩放显示时, 画面内容产生显著跳跃^[4]甚至断层; 同时, 金字塔模型下部层次因邻近 LOD 最详细的层次而往往出现由单纯图形改变(特别是几何比例缩放)^[5]等导致的空间信息的极大冗余, 从而直接影响显示效果和细节层次内容的表达。

对于传统金字塔模型中相邻级别的瓦片数目, 其横向及纵向的变化幅度都为 2, 图幅总体变化幅度为 4, 这使得每层瓦片矩阵的像素总数随着模型层次的逐级提升并不是呈简单的线性增长, 而是呈指数上升, 符合遥感影像数据跨越尺度大的特点(往往从小比例尺的全球影像数据过渡到大比例尺的社区影像数据), 较好地体现了多比

例尺下空间信息区域、景观、图斑单元的层次关系^[6], 故被广泛应用于遥感等领域。然而, 在多媒体电子地图的实际制作过程中, 地图跨越尺度(比例)往往不大, 2 倍率依然作为尺度变换的底数不再适宜, 该指数级增长趋势客观上往往造成地图上空间信息的各级详细程度与用户需求相悖。因此, 本文提出了一种改进的嵌套金字塔模型, 从而确保空间信息在各尺度上表达的合理性及连贯性。

1 嵌套金字塔模型

1.1 嵌套金字塔模型概念

基于传统金字塔模型各层次依次叠加的原理, 笔者基于原有的金字塔模型穿插额外的金字塔模型, 插入的金字塔模型与原有模型具备相同特征, 即保持各层瓦片列数与行数比例一定, 且各级间的变化比率相同, 从而构筑层叠状的多金字塔嵌套模型。值得注意的是, 插入模型与原有模型往往层数相同, 且各模型第一级与第二级的区间相交, 从而保证混合嵌套模型中瓦片列数(行数)每隔若干层次具有一致的数学关系。与传统金字塔模型相比, 这样的组合模型在级别数增加一倍的情况下跨越尺度变化不大, 尤其当模型级别数较大时, 跨越尺度几乎与传统金字塔模型相同。

1.2 嵌套金字塔模型的适用性分析

比例尺是空间尺度的重要组成内容^[7],地图内容描述详细程度的变化幅度可借助地图比例尺的改变大小来大致度量^[8]。设最概略层次的地图比例尺为 MinScale,最详尽层次的地图比例尺为 MaxScale(两者往往于数据组织之初便已约定),则采用基于 N 倍率瓦片数据组织的形式来表征空间数据时所产生的层次数目 K 与空间数据总体跨越尺度 P 的关系为:

$$P = \text{MaxScale}/\text{MinScale}, K = \lceil \log_N P \rceil + 1$$

式中, K 值由用户设定,一般 K 设置为 6~8 级(记为 K_0)符合使用习惯,可见 P 与 N 总体上呈正相关关系。2 倍率作为经典尺度变换底数应用广泛、研究成熟,故是否采用嵌套金字塔模型可通过与传统金字塔模型($N=2$)对比后确定。当 $P > 2^{K_0}$ 时,适宜采用 2 倍率或更大尺度的变换底数,因为当 P 较大时,用户将期望各层次间的尺度变换显著,以便于快速空间索引,如组织全球-中国-省-地级市-区/县-乡/镇如此庞大的尺度变换时,GoogleMap 就采用了 2 倍率($P=264\ 000, K=19$);反之,当 $P < 2^{K_0}$ 时,适宜采用嵌套金字塔模型,因为随着跨度 P 相对较小,用户希冀各层次间的尺度变换迟缓些,特别符合信息密度相对集中的全球 LOD 模型下部相邻层次间的切换将引起大量细节信息明显变动的特点,在多媒体电子地图制作中体现得尤为突出,如最概略的省级比例尺为 1:50 万,最详尽的区/县级比例尺为 1:5 万,若采用 2 倍率,则 $P=10, K=4$,其结果是相邻尺度变换过快、级别数过少,此时适宜采用嵌套金字塔模型,具体嵌套层数由所需的尺度变换速率决定,即用户希望尺度变换越迟缓,则嵌套层次数应设置越多。

2 双金字塔模型

2.1 双金字塔模型概念

基于嵌套金字塔组合模型的构建思想,本文提出了一种更为具体的实现模型——双金字塔模型。该双金字塔模型是由顶层 2 行 4 列、层次间变化率为 2 的金字塔模型与顶层 3 行 6 列、层次间变化率为 2 的金字塔模型相互穿插拼接组成。混合模型中,各层次的瓦片列数(行数)接近于前一层次的瓦片列数(行数)与后一层次的瓦片列数(行数)的比例中项,这一特点带来相邻级别间地图内容切换流畅、空间信息过渡自然的优势,也即通过更为细致和合理的图幅大小划分方式增加模

型上部空间数据的尺度分布密度,同时模型上部尺度变换速率的减缓为尺度下推^[9]后期预留了更多的跨度空间,以便细节变换,从而提升显示效果。此外,组合模型中相邻级别的横向(纵向)瓦片数目的变化率降低为 1.33 或 1.5,图幅大小的变化率降低为 1.78 或 2.25,与传统金字塔模型相比,除顶层以外的各层次瓦片数目随着层数的增长大大减少,有效地减轻了数据的存储负荷,同时各层次地物的详细程度设置也较为合理,满足用户的需求。

2.2 双金字塔模型数据组织

2.2.1 双金字塔模型构建的数学基础

双金字塔模型数学基础的构建方法如图 1 所示。图 1 中,顶层大级别实际上是由原有金字塔模型的第一级与插入金字塔模型的第一级共同构成,之后的各个层次瓦片数与该顶层构成一定的数学关系(等比数列),其中,Level 代表双金字塔模型中当前的级别数。

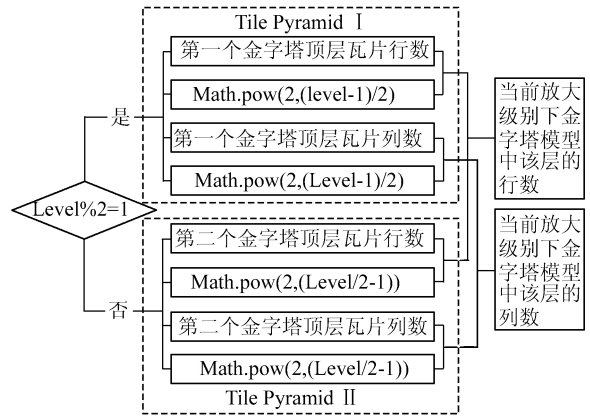


图 1 双金字塔模型数学基础构建方法

Fig. 1 Approach to Construct Mathematic Foundation of Double Pyramids Model

2.2.2 双金字塔模型中瓦片集的配置信息

每套瓦片地图数据在动态加载时,客户端都需要实时获取一系列格式相同的初始化参数,它们用于灵活定制该套瓦片集合在存储设备上的组织方法以及被调用时的呈现方式,包括上述嵌套模型中第一级与第二级的瓦片列数及行数、瓦片文件夹相对路径、最大及最小缩放级别、初始图面中心坐标等。这些配置信息可以记录于 XML 文件中,不仅存储结构简单,而且客户端读取便捷。

3 实例分析

基于上述的模型构建思想及数学基础,以深圳市在线动态地图集自然资源模块中的地质专题

图作为数据源,对比分析双金字塔模型与传统金字塔模型分别组织瓦片地图数据的显示效果(图2(a))和瓦片增长速率(图2(b))。

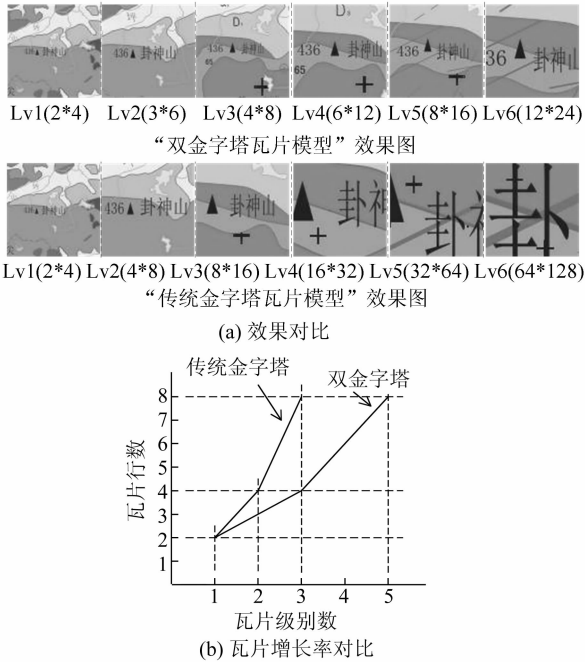


图2 双金字塔模型与传统金字塔模型的显示效果及瓦片增长率对比

Fig. 2 Display Effects of Double Pyramids and Traditional Pyramid Models and Tiles Growth Rates

通过对比分析,可得如下结论。

1) 通过瓦片数据组织跨越尺度较小的电子地图时,2倍率往往会造成由一个比例变焦到另一个比例时出现不协调的现象。由图2(a)可见,在传统金字塔模型中,部分地理要素在多尺度表达时连通性^[10]较差——1至3级变化过快,4至6级出现极大的冗余信息;而嵌套金字塔模型较之原来增加了地图层次数,其实质也即基于传统金字塔模型内插了更多的地图层次,降低了相邻层次的尺度变换大小。参照图2(b)可知,双金字塔模型通过将两座独立的金字塔互相穿插,使得改变相同图幅大小的层次级别差由一级延伸为二级,从而有效地延缓了模型层次变化前期地图要素的跳跃速率,遏制了变化后期过于详细的空间信息的出现,符合用户对于地图的阅读习惯及审美标准,效果较为理想。

2) 传统金字塔模型在组织跨越尺度较小的瓦片地图数据时,容易于较详细的模型层次上产生冗余信息,而嵌套金字塔模型针对这个情况削减了冗余层次,通过内插丰富了金字塔上部的尺度信息,且前者变化幅度大于后者。这样,虽然模型层次总数大致不变(以5级为例),但对于图幅

大小(图2(b)),除第一级相同外,双金字塔模型的第3级、第5级分别相当于传统金字塔模型的第2级、第3级,而每个瓦片数据的像素大小和平均存储空间是一定的,故双金字塔嵌套模型可近似看作是传统金字塔模型的压缩版,从而有效地减轻了瓦片数据的存储负荷。

3) 传统金字塔模型体现了2倍率的特性,而嵌套金字塔模型则是通过各个传统金字塔模型按照一定的排列规律相互穿插拼接而成,形成的嵌套模型各大连级同样具备清晰且统一的数学关系,即组合模型相隔若干层次呈现一致的等比数列规律,同样体现了较强的层次对应性与实现可行性。此外,通过各内插模型顶层瓦片数目和层次间统一倍率的合理设置,使得嵌套模型任意相邻层次间呈现渐变合理的尺度差值,提升了各尺度间过渡时的流畅性及思维连续性。

4 结 语

在电子地图集制作过程中,针对传统金字塔模型的诸多缺陷,本文提出了改进的嵌套金字塔组合模型,并以具体的双金字塔模型为例,阐释了其设计合理性和实现可行性。此外,XML配置数据的提出也极大地增强了瓦片形式组织地图数据的灵活性及健壮性。基于嵌套金字塔模型的瓦片地图数据组织方式希望能为WebGIS的实现提供一种优化的、合理的可行性方案,并为类似的理论研究及系统实现提供一定的参考。

参 考 文 献

- [1] 戴晨光,邓雪清,张永生.海量地形数据实时可视化技术研究[J].测绘信息与工程,2004,29(6):6-9
- [2] 杜莹,武玉国,王小明,等.全球多分辨率虚拟地形环境的金字塔模型研究[J].系统仿真学报,2006,18(4):955-958
- [3] 邓雪清.栅格型空间数据服务体系结构与算法研究[D].郑州:信息工程大学,2003
- [4] Timpf S, Frank A. A Multi-scale Data Structure for Cartographic Objects[C]. ICC'95, Barcelona, 1995
- [5] Timpf S. Hierarchical Structures in Map Series[D]. Vienna: Technical University Vienna, 1998
- [6] Beer S. Management Science [M]. London: Aldus-Books, 1967
- [7] 李霖,应申.空间尺度基础性问题研究[J].武汉大学学报·信息科学版,2005,30(3):199-203
- [8] 艾廷华,成建国.对空间数据多尺度表达有关问题的思考[J].武汉大学学报·信息科学版,2005,30

(5):377-382

2006,21(1):59-63

- [9] 刘凯,毋河海,艾廷华,等.地理信息尺度的三重概念及其变换[J].武汉大学学报·信息科学版,2008,33(11):1 178-1 181
- [10] 王艳慧,孟浩.GIS中地理要素多尺度表达间层次连通性的研究[J].湖南科技大学学报(自然科学版),

第一作者简介:杜清运,教授,博士,博士生导师,主要研究方向为多媒体制图、地理信息理论和地理信息服务技术。

E-mail:qydu@whu.edu.cn

Organization Tile Map Data Based on Nested Pyramids Model

DU Qingyun^{1,2} YU Changbin^{1,2} REN Fu^{1,2}

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

(2 Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: An improved nested pyramids model is proposed, and designing principles and constructing methods are elaborated while taking double pyramids nested as an example. The tests show that the program fully inherits the advantage that pyramid model demonstrates rich spatial information through multiple levels of details, and effectively enhances the coherence when switching among the scales in the model, also supplementing and optimizing the method in organizing tile map data based on pre-production technology to some extent, providing a new idea for a specific approach to construct pyramid model.

Key words: map data; tile; nested pyramids model; double pyramids model

About the first author: DU Qingyun, professor, Ph. D, Ph. D supervisor, majors in multimedia cartography, GIS theory and GIS service technologies.

E-mail: qydu@whu.edu.cn

(上接第 563 页)

Strategy of Web Map Services Based on User Event Model

KANG Mengjun¹ DU Qingyun¹ WENG Min¹

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

Abstract: We propose a new strategy of Web map service which bases on user's event status for promoting. This strategy focuses on users' visiting status and gives an expression. Users' events are checked and some specials will trigger the map rendering procedure. Server side and client side cache are also be used to promote users' experiences. The experimental results show that this strategy effectively shorten map response time.

Key words: user event model; tile map; map service; map cache; map pre-fetch

About the first author: KANG Mengjun, Ph. D candidate, majors in multimedia electronic map.

E-mail: mengjunk@gmail.com