

ROAM 算法的改进与实现

潘颖, 马劲松, 左天惠

(南京大学地理与海洋科学学院 地理信息科学)

摘要:地形模型简化和多分辨率表示是当前地形可视化研究的热, 化自适应网格算法以其简单性和可扩展性在三维地形可视化领域中被对其实现方法进行了局部的改进。利用隐式二叉树数据结构代替了二提出的分裂算法, 对该算法做出了 3 点修改, 然后提出了强制合并算法取代传统的合并算法, 最后引入地形分块策略对大规模地形进行实时渲染, 取得了很好的显示效果。

关键词:地形渲染; 隐式二叉树; 强制合并

中图分类号:P208 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3177(2009)106-0081-06

实时优
基础上,
4cNally

1 引言

地形模型简化和多分辨率表示是当前地形可视化的研究热点领域, 国内外已有大量相关的研究。在众多算法中, Duchaineau 提出的实时优化自适应网格算法(ROAM)以其简单性和可扩展性成为解决海量高程数据地形可视化的最常用方法, 在地形可视化领域中引起了广泛的关注^[1]。ROAM 算法能够根据视点的位置和地形的起伏动态的计算地形模型的细节层次, 减少每帧渲染多边形的数量, 具有较高的视觉质量。但是随着在实际项目中的开发应用, ROAM 算法暴露出诸多不足。当前对算法的改进主要集中于对于 ROAM 算法分块效率的改进上, 从而提高了在更大范围地形建模中的算法效率。文本主要从算法具体实现的角度对其进行局部的改进和优化, 并通过实验来验证其可行性。

2 ROAM 算法

ROAM 算法的基本思想是将地形以三角二叉树的数据结构表示, 通过组织分裂优先级队列(split queue)和合并优先级队列(merge queue)来控制对三角形的分裂操作和合并操作从而创建逼近真实地形的无缝无重叠的具有连续多层次细节的三角形地形网格^[2]。

三角二叉树作为算法的基本数据结构使得我们可以方便的选择三角形网格中的局部细节层次。如

果地形平坦或者距离视点较远, 则只需要少量三角形来简化一个大范围区域; 如果地形粗糙或者距离视点距离较近, 则为了达到地形简化的目的需要更多数量的三角形。

分裂操作和合并操作是 ROAM 算法的基本操作。通过对从较低细节层次的地形网格进行分裂操作可以获得较高细节层次的地形网格; 反之, 使用合并操作可以将较高层次的地形网格恢复到较低层次的地形网格。这种自底向上逐步细化互为可逆的算法非常容易通过递归调用来实现^[3]。而为了避免在分裂和合并过程中产生裂痕, ROAM 算法定义了三角形 3 种邻接关系: T_b 表示与等腰直角三角形 T 共享斜边的底邻居; T_l 表示与等腰直角三角形 T 共享左直角边的左邻居; T_r 表示与等腰直角三角形 T 共享右直角边的右邻居。 T_b 与 T 处在三角二叉树的同一层次形成的三角形对, 称之为钻石型(Diamond)。如果 T 被分裂, 为了避免产生地形裂缝和阴影不连续现象, T_b 也需要被分裂。在二叉树结构中当 T_b 比 T 低一个层次时, 分裂 T_b 会引起其他邻居被分裂, 最终会导致一系列递归分裂。这样的递归分裂称之为强制分裂(forced split)。因此只有当三角形对形成钻石型结构才能够被执行分裂操作, 否则就会引起强制分裂操作。 T 与 T_b 在二叉树中同处一个层次并且都被分裂过一次, 称之为可合并钻石型(Mergeable Diamond)。只有当三角形对形成可合并钻石型结构的

收稿日期: 2009-02-23 修订日期: 2009-04-07

作者简介: 潘颖(1985~), 男(汉族), 安徽省马鞍山人, 硕士研究生, 主要研究方向: 地形三维可视化 3D GIS。

E-mail: pphanson@126.com

时候才能被执行合并操作。

Duchaineau 分别设计了分裂算法和合并算法用以生成最优化三角形网格。其中分裂算法是一种非帧一致性算法,它通过一系列强制分裂操作对原始三角形网格进行细分,其中分裂优先级队列包含了三角形的单调优先级,这些优先级决定了三角形分裂的次序,而三角形优先级是由屏幕空间误差决定。该算法主要用于在建立初始地形的三角二叉树结构。

合并算法是一种帧一致性动态算法,它使用分裂操作和合并操作在前一帧的基础上生成当前帧的最优化三角形网格。通常情况下,合并算法的时间复杂度与分裂和合并操作数总和的最小值成正比。但当相邻两帧不连续时,此时的时间复杂度就是最坏时间复杂度。最坏时间复杂度与当前帧和前一帧的三角形总数成正比。Duchaineau 通过重新初始化原始三角形网格、分裂优先级队列和合并优先级队列,并调用分裂算法来加速三角形地形网格剖分的进程。

基于以上对 ROAM 算法基本原理的分析,我们将从算法实现角度对算法的基本数据结构、分裂算法以及合并算法进行改进与优化,从而减少渲染三角形的数量,提高显示效率。

3 改进的 ROAM 算法

3.1 分裂算法

McNally 在其开发的坦克射击类游戏 TreadMark 中实现了 ROAM 算法,也被称为 split-only 算法,可分为两个部分:

(1) 计算三角形二叉树中每个结点的误差度量。McNally 使用了一种称为 variance 的方法。对于三角形二叉树中的叶结点, variance 是等腰三角形斜边中点高度值插值与精确值的差值。如图所示 1 所示。

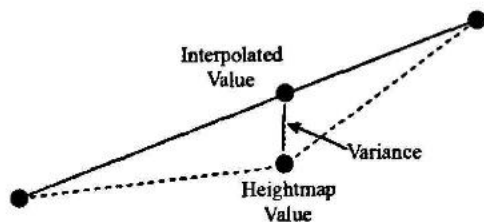


图 1 叶结点的 variance 值 = $\text{abs}(\text{centerZ} - ((\text{leftZ} + \text{rightZ})/2))$

对于非叶结点, variance 是通过遍历该结点的所有后继结点所得到的最大 variance 值。为了在构建和渲染地形网格中快速的访问三角形的 variance 值, McNally 采用了隐式二叉树来存储嵌套的 variance 值。

(2) 地形网格的构建。利用 variance 树所包含的误差信息来构建用于渲染的三角形二叉树结构的

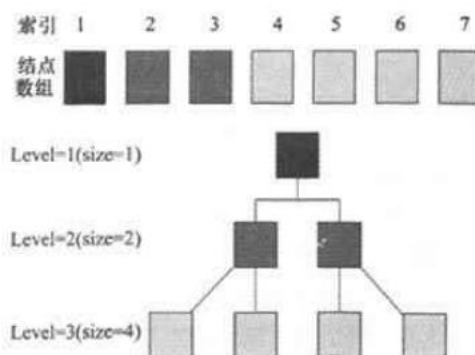
地形网格。在构网过程中,通过 variance 值结合视点距离组成的视相关误差度量来判断所建立的三角形二叉树的深度,如果生成的结点的误差度量值大于误差阈值,则执行分裂操作,并且为了避免裂缝的出现,利用第二节介绍的三角形之间的 3 种相邻关系执行相应的操作以确保生成的地形网格的连续性。如果程序结束。其中误差度量值在三角形条件下,需要满足的条件是,视点距离越远,误差阈值越小。具体而言,误差阈值与视点距离 (scale) 以及限定度 (limit) 成正比,用于判断三角形分裂与否。其中缩放比例因子,通过夸大或者缩小误差度量来增强对误差度量的控制,这个值越高,误差率就越大,那么三角形就越容易被分裂。判断公式如下:

$$\text{error} - \text{ratio} = (E \cdot S/D) > L$$

其中 error-ratio 表示误差率, E 表示误差度量, S 表示缩放比例, D 表示视点距离, L 表示限度。

对比原始 ROAM 算法, split-only 算法做出了以下改进:

(1) 为了降低内存开销,改进后的算法使用隐式二叉树的静态内存分配技术代替了显式二叉树的动态内存分配,不存储三角形的几何信息,只存储每个三角形与相邻三角形的邻接关系,通过位移运算快速定位需要计算的二叉树结点,从而加快二叉树遍历的速度。在隐式二叉树结点数据结构中,不再需要左右孩子指针,邻居指针将被数组索引所代替,遍历隐式二叉树比显式二叉树的速度更快。此外,在动态生成数据与压缩数据时内存不需要被分配或者回收,这将极大提高分裂操作和合并操作的速度。隐式二叉树的数据结构如图 2 所示。



当前结点与父结点、左孩子结点以及右孩子结点之间的定位运算:

```
ParentNodeIdx = CurNodeIdx >> 1
LeftChildIdx = CurNodeIdx << 1
RightChildIdx = CurNodeIdx << 1 + 1
```

图 2 隐式二叉树数据结构

(2)只有分裂操作,没有使用帧一致性,使得算法的实现更加简单。但是由于没有使用帧一致性,改进后的算法在速度和灵活性上较差^[4]。

(3)降低了对优先级队列的需要,减少了时间上的消耗。

(4)原始 ROAM 算法使用基于嵌套空间范围法(nested world- space bounds)来计算误差,这种方法虽然精确但是效率低下。相比, variance 误差度量方法计算速度非常快。

综合考虑 split-only 算法的优缺点之后,在其基础之上提出对分裂算法的 3 处改进。①增加了分裂

算法对合并操作的支持,使得两者可以结合起来使用。②在 split-only 算法中对三角形 T 的相邻关系做出了如下判断:三角形 T 的左(右)邻居的左(右)邻居是 T 本身,但是在实际应用中这种情况是不存在的,可以不予考虑。③split-only 算法使用独立的隐式二叉树结构来存储 variance 值,而我们将 variance 作为主树中。分裂算法在实现过程中强制分裂操作,然而其底边邻居

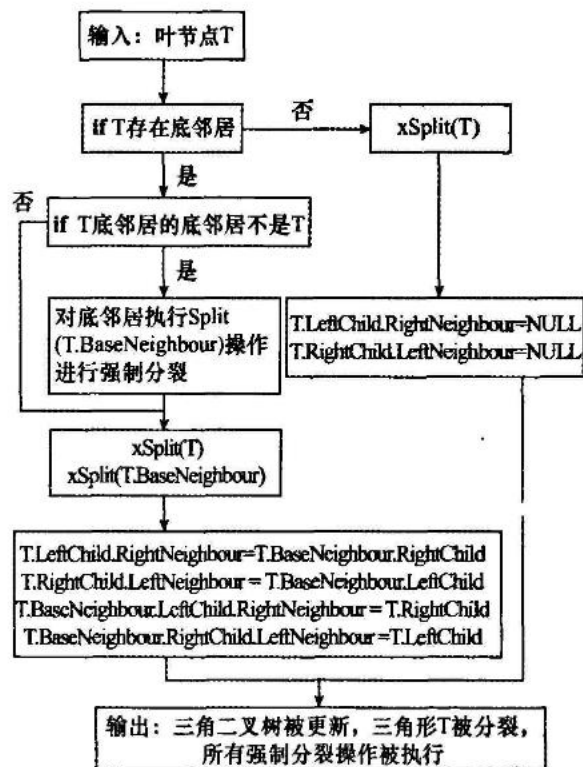


图3 Split 算法流程图

3.2 合并算法

在 ROAM 算法中,为了分裂三角形 T, T 必须与其底邻居 T_b 形成 Diamond 结构。如果 T 与 T_b 不在同一层次,则需要对 T_b 进行强制分裂操作。合并操作与分裂操作正好相反,只有 T 与 T_b 形成 Mergeable Diamond 结构时才能进行合并操作。如果满足 Mergeable Diamond 结构的三角形 T 与 T_b 被合并,则 T 与 T_b 中的孩子将被删除, Mergeable Diamond 结构将变成 Diamond 结构。

将分裂操作和合并操作分别限制在 Diamond 和 Mergeable Diamond 上是一个复杂的概念,我们需要在不考虑这个复杂概念的前提下重新定义合并算法。在新的合并算法中,任何曾经分裂过的三角形都可以

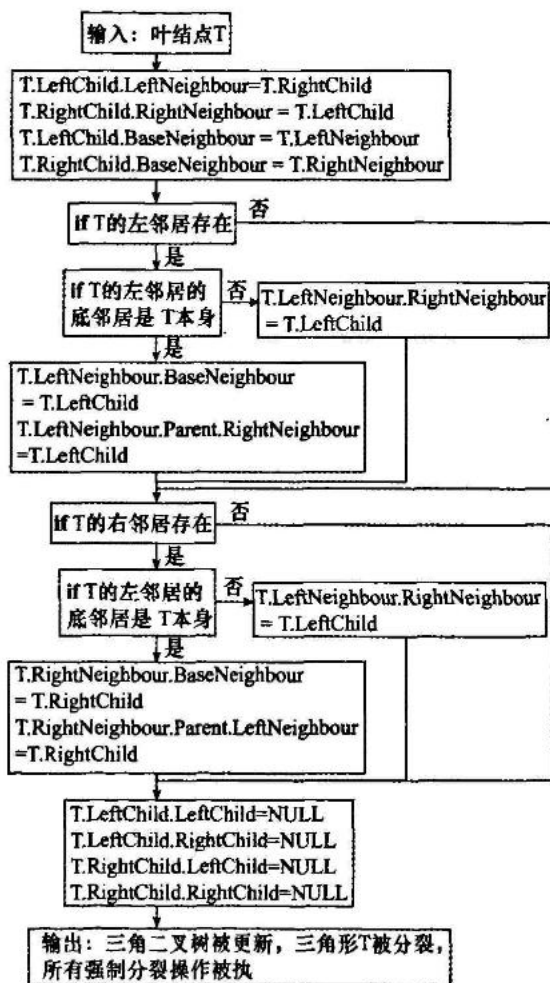


图4 xSplit 算法流程图

被合并,这使得三角形的所有孩子都被删除。为了保持地形的连续性和避免裂痕的出现,所有的邻居三角形都要被合并。因此我们提出了一种称之为强制合并(forced merge)的新合并算法,该算法不仅仅合并底邻居的三角形,所有邻居三角形都可以被合并。流程图6中反映了一个将被强制合并的三角形。图7表示该三角形所有孩子被删除以及它的邻居被强制合并。算法实现见图5。



图5 Merge算法流程图

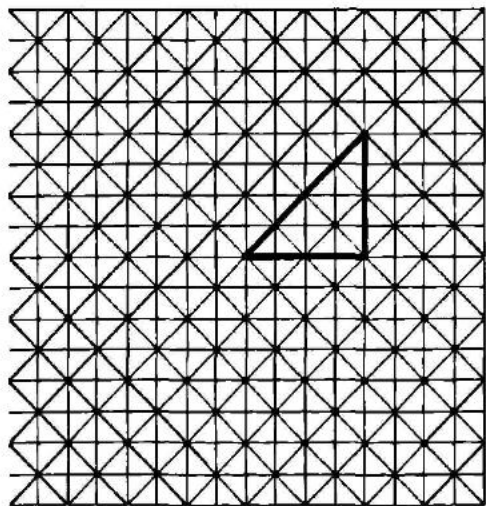


图6

相对于传统的合并算法,强制合并算法具有以下优点:

(1)强制合并算法无需引入Diamond和Mergeable Diamond复杂概念,因此易于理解和操作。

(2)在传统合并算法中只有当三角形T是Mergeable Diamond结构的一部分时才能够被合并,而强制合并操作能够合并三角二叉树中任意的非叶节点三角形。

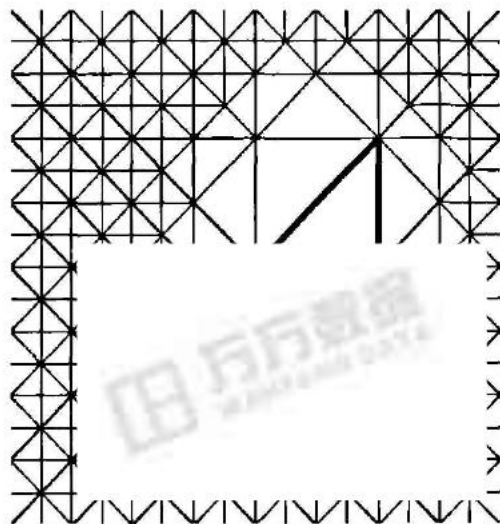


图7

(3)因为没有关于Diamond和Mergeable Diamond的信息存储,强制合并算法的执行速度更快。此外,以前需要几次合并操作所完成的任务现在只需要一个独立的操作就能完成了。

(4)当相邻帧一致性不高时帧连续性算法的运行速度会降低。为了加快三角形细分的速度,Duchaineau通过调用分裂算法解决了该问题。而强制合并算法不需要转换到这种帧非一致性的算法,并且运行速度可以接近分裂算法。

4 算法实现

我们使用的实验数据4098×2049的DEM数据。由于地形数据量大,首先需要对其进行分块处理,我们采用平均分块策略^[5]按矩形网格分为32×16个地形块,每一块含有129×129的DEM数据。

对于每一帧检测每一个地形块的可见性。如果地形块在当前帧和前一帧中完全被视锥体包含,则显示该地形块;如果地形块在当前帧和前一帧中完全在视锥体外面,则不对该地形块做任何处理;除以上两种情况之外,调用Tessellate()函数建立地形块的三角形地形网格。具体过程是通过遍历三角二叉树来判断每一个三角形T需要被合并还是被分裂:①如果三角形T没有分裂过,并且它的误差度量大于误差阈值,则分裂三角形T并且继续遍历三角形T的孩子;②如果三角形T被分裂过,并且它的误差度量小于误差阈值,则三角形T被合并并且遍历操作在三角形T处结束;③如果三角形T被分裂过,并且它的误差度量不小于误差阈值,则遍历三角形T的孩子。算法实现流程见图8。

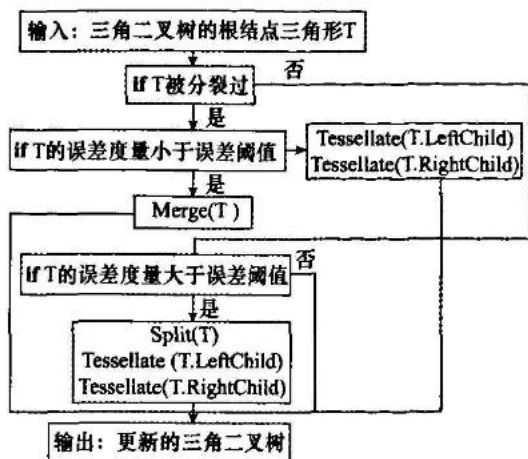


图 8 Tessellate

5 实验结果

我们在 Windows 平台下,使用 VS2005 与 OpenGL 作为开发工具,在 AMD Sempron(tm) Processor 300+, 512M 内存,ATI mobility radeon x2300 的配置条件下,以 4098×2049 的 DEM 数据为数据源,实现改进后的 ROAM 算法,取得了很好的显示效果。表 1 和图 9 表示在不同误差阈值下三角形的数量比较,当误差阈值在 0.00001 到 0.00005 范围内,三角形数量在 10000 左右,变化不大;当误差阈值在 0.00005 至 0.001 范围内,三角形数量呈现出明显的递减趋势。图 10 和图 11 是漫游到某一时刻地形场景的纹理图和线框图。

表 5 不同误差阈值下的三角形数量比较

误差阈值	三角形数量
0.00001	10003
0.00002	10000
0.00005	9996
0.0001	5614
0.0002	1829
0.0005	396
0.001	152

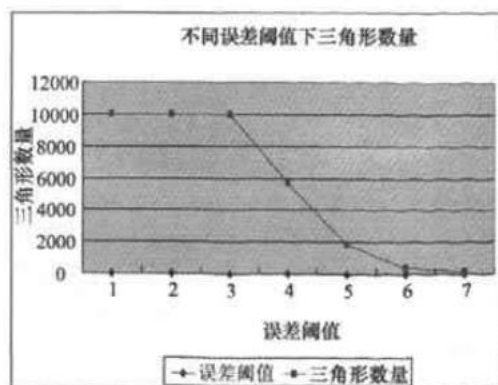


图 9 不同误差阈值下的三角形数量比较

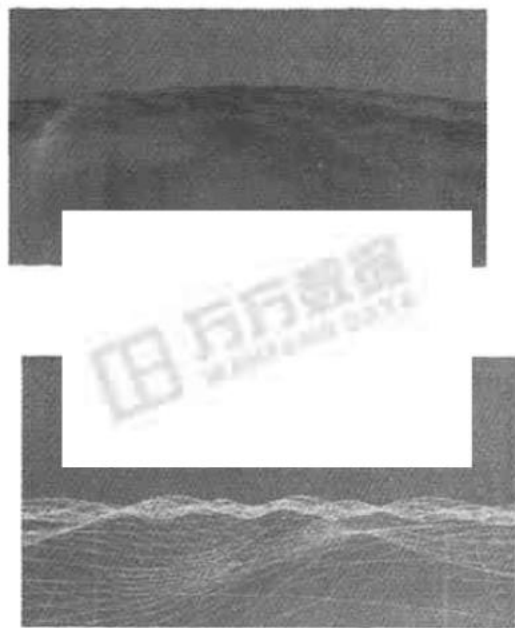


图 11 线框图

6 结束语

本文在 ROAM 算法的基础上,对其实现算法进行了局部的改进。

由于动态分配内存的效率很低,我们利用隐式二叉树数据结构代替了二叉树的链表存储结构。但是作为静态内存分配技术隐式二叉树存在的缺陷是需要预先分配大量内存。为了克服这个缺陷,我们可以在隐式二叉树的高效率与显式二叉树的低内存消耗之间获得折中的解决方案。对深度较低的树结构采用隐式二叉树结构预先分配内存,对于靠近叶节点的层次则动态的分配内存。

Duchaineau 的分裂算法与合并算法采用了递归的形式,为了避免回调函数的开销我们采用迭代形式。出于对时间限制的考虑分裂优先级队列和合并优先级队列没有被使用,改进后的合并算法降低了对优先级队列的需要。我们在 McNally 提出的分裂算法的基础上做出 3 处修改,使得它可以跟合并算法结合使用,同时,用强制合并算法取代传统的合并算法可以合并任意非叶节点。

使用地形平均分块策略对大规模地形进行分块处理,取得了很好的渲染效果。

随着“数字地球”和“全球信息网格”概念的相继提出,建立具有多分辨率、海量数据的全球多分辨率虚拟地形场景受到越来越多的关注。适合于局部地区的 ROAM 并不能胜任全球地形可视化。因此,在随后的研究中需要把 ROAM 算法扩展到全球范围。

参考文献

- 1 杜莹. 全球多分辨率虚拟地形环境关键技术的研究[D]. 解放军信息工程大学. 2005. 7~8.
- 2 M. Duchaineau, M. Wolinsky, D. E. Sigeti, M. C. Miller, C. Aldrich, M. B. Mineev-Weinstein. ROAMing terrain: real-time optimally adapting meshes[A]. Visualization'97[C]. 1997, 81~88.
- 3 魏楠, 江南. ROAM 算法及其在地形可视化中的应用[J]. 计算机工程与科学, 2007, 29(2): 66~68.
- 4 张荣华, 郑顺平. 高逼真动态地形实时绘制中碰撞检测的设计与实现[J]. 计算机应用, 2006, 26(11): 2772~2774.
- 5 芮小平, 杨崇俊, 张彦敏. 一种改进的 ROAM 算法[J]. 武汉大学学报(信息)

Improved ROAM Algorithm and I

PAN Ying, MA Jing-song, ZUO T

(Dept. of Geographical Information Science, School of Geographic and Oceanographic Sciences,
Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract: Terrain model simplification and multi-resolution representation are the hot area of research on terrain visualization, there are a large number of studies at home and abroad. The real-time optimization adaptive mesh algorithm for its simplicity and extensibility were widely used in the three-dimensional visualization of the terrain. In this article we try to achieve partial improvements on the basis of ROAM algorithm. We use implicit binary tree data structure in place of the list storage structure of the tree, learn the algorithm put forwarded by the McNally and make three changes of it, and propose a forced merge algorithm to replace the traditional method. Finally, through the introduction of terrain block strategy of large-scale terrain, we render terrain on real-time and obtain good results.

Key words: Terrain Rendering; implicit binary tree; forced merge

(上接第 80 页)

- 7 R. Fielding, J. Gettys, J. Mogul, H. Frystyk, L. Masinter, P. Leach, T. Berners-Lee. Hypertext Transfer Protocol — HTTP 1.1[EB/OL]. 1999. <http://citeseer.ist.psu.edu/article/fielding98hypertext.html>.
- 8 Jeff Harrison. Overview of OGC's Interoperability Program[EB/OL]. August 2002. http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=6196.
- 9 陈廷彬. WebServices 异步调用模型的研究与实现[D]. 东南大学. 2006.

Design and Implementation of Asynchronous
Web Processing Service in SIGZHANG Xiao-xi^①, LIU Ding-sheng^②, LI Guo-qing^②

① Center for Earth Observation and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100086;

② Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

Abstract: Currently, the image processing functions built on Spatial Information Grid (SIG) are published as web services. The main problem with such a method is the time-out of connection when some long-term processing tasks are executed. Besides, the existing processing services are almost based on the private protocols made by different providers and so that it is hardly to interoperate among them. Against the above problems, based on fully analysis of Web Processing Service, this paper proposed an asynchronous web processing service framework based on Open Geospatial Consortium (OGC) standards. The process services which conform to this framework can avoid the timeout caused by long-term computation. Also this framework has excellent extensibility so that the algorithm providers can integrate their algorithm into current services easily. As the results based on WPS standard, it also has the interoperative capability and shares resource with other standard process services.

Key words: spatial information; OGC; web processing service; asynchronous processing