平面散乱点三角剖分分治算法的实现

戴晓明[1,2],朱 萍[2]
(1.中国科学技术大学 研究生院,安徽 合肥 230035;
2.安徽省电力建设第一工程公司,安徽 合肥 230088)

摘 要:平面散乱点三角剖分在实践中有广泛应用。文中在分析已有算法的基础上,提出利用分治算法实现平面散乱点三角剖分。给出了算法实现流程并讨论了算法实现过程中几个重要问题。最终给出了实验结果。文中的研究对开展此类工作有借鉴和指导作用。

关键词:散乱点;三角剖分;分治算法
中图分类号:TP301.6 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-3751(2006)01-0011-02

Divide Algorithm Realization of Plane Scattered Data Triangulation

DAI Xiao-ming[1,2], ZHU Ping[2]
(1. China University of Science and Technology, Hefei 230035, China;
2. Anhui Province Power Building First Engineering Company, Hefei 230088, China)

Abstract: Plane scattered data triangulation has a wide application. In this paper, analyse the existed algorithms and put forward the method to make use of divide algorithm to realize plane scattered data triangulation. Give the algorithm flow chart and discuss several problems. Finally to give the experimental results. The work is significant for the similar research.

Key words: scattered data; triangulation; divide algorithm

0 引 言

在地理信息系统等领域[1],经常需要处理大量分布于地域内的离散数据。由于这些数据分布的不均匀性,就产生一个如何有效处理这些数据的问题。

一般的数字地表指的是以构成地表的特征点为基础,由描述地表的特征点、特征线和特征面共同构成的数字地形面,数字地表模型生成算法则用于将构成的数字地形面的特征点、特征线和特征面结合到一起来生成数字地表模型,而数字地表模型的关键是三角化算法。

生成不规则三角网的三角化方法中,又以 Delaunay 三角化算法最为简单、快速,Delaunay 三角化也因此成为普遍使用的三角化方法[2,3]。

1908年,G. Voronoi 首先在数学上限定了每个离散点数据的有效作用范围,即其有效反映区域信息的范围,并定义了二维平面上的 Voronoi 图。1934年,B. Delaunay 由 V-图演化出了更易于分析应用的 Delaunay 三角网(D-三角网)。从此,V-图和 D-三角网就成了被普遍接受和广泛采用的分析研究区域离散数据的有力工具。为了得到三角网而作的三角划分就是把平面区域内任意分布的 N 个散乱点用直线段连接起来,形成既不重叠又无间隙的紧邻三角形集的过程[4]。为了使三角化的结果达到整体优化和局部优化,曾提出过许多不同的判据。例如,Thiessen 区域准则、最小内角最大化准则、圆准则、ABN 准则、PLC 准则等。Sibaon 等证明了前三种准则的一致性,并指出符合这三个准则的三角化只有一个,即 Delaunay 三角化。Delaunay 三角化起源于计算几何学中 Voronoi 图方面的研究,发展至今已形成了多种三角化算法,但普遍采用的算法主要有三类:逐点插入法和三角网生长算法、分治算法(分割归并算法)。

收稿日期:2005-04-26
作者简介:戴晓明(1968—),男,安徽怀宁人,硕士研究生,高级工程师,研究方向为系统集成、软件系统开发。

1 Delaunay 三角化分治算法

分治算法[5]的思想由 Shamos 和 Hoey 首先提出,后应用于生成 D-三角网演化为分割归并算法。该思想是指递归地分割点集,直至子集中包含点数足够少,以利于对每个分割出来的点集进行 Delaunay 三角化,然后自下而上逐级合并相邻子集的凸壳,进而生成最终的整个点集三角网模型,如图1所示。它使算法上得到了改进,大大缩短程序运行时间。分割归并算法按分割方法的不同,可以分为条带分割方法、网格分割方法和四叉树分割方法。

2 基于四叉树结构 Delaunay 三角剖分

2.1 算法基本思想

基于四叉树结构[5,6]的 Delaunay 三角化基本思想是

首先利用四叉树结构来对离散点进行分割，然后对四叉树叶节点进行 Delaunay 三角化，再两两合并四叉树节点三角网的凸壳，以快速生成地表网格模型。

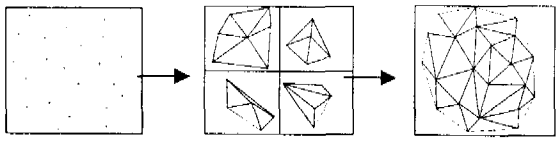

图 1 分割归并算法

三角网生长法简单、易实现，对于总点数较少的三角网生成比较实用，所以在局域范围内调用的三角网生成法采用三角网生长法；当需处理点集规模大到一定的程度，便引入了分割归并算法，利用四叉树结构的思想，进行逐级分割；在分割好的局部小区域内调用三角网生长算法进行三角化；最后依据 Delaunay 法则将各局部三角网自下而上逐级合并，进而生成最终的整个点集三角网模型。这样将两种三角化适当结合，提高了算法的效率[7]。

2.2 算法流程

分割过程和合并过程流程图如图 2 和图 3 所示。

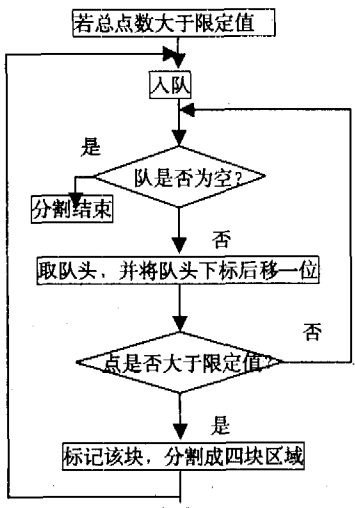

图 2 分割过程流程图

3 算法实验结果

在算法实现过程中，重点讨论了 3 个问题：

一是递归算法的实现问题。一般来说用到树结构，就会用到递归处理，而在数据量过大的时候，用到大量递归调用的程序运行效率是较低的。在程序实现中将递归调用转化为迭代，从而提高了算法效率[8,9]。

二是对四叉树结构的访问顺序问题。在程序中用队列而不是堆栈实现了对该四叉树结构的遍历。以堆栈遍历是深度优先，用队列则实现了层次遍历。但在这里并未定义一个队列，只是用队列先进先出的思想，用一个下标标示当前处理的块，即队头所在，再用一个很重要的全局变量 p 标示队尾所在，该 p 值在产生新的分割时会自动加 4，这样相当于将新生成的 4 个待处理的分块又加入了队尾。每次取队头判断其是否需要分割，直到队列为空，其中取队头就是按下标增长顺序处理各分块，队列为空就是没有新的分块产生，p 的值不再增加，下标等于 p 值时即到达队尾[10]。

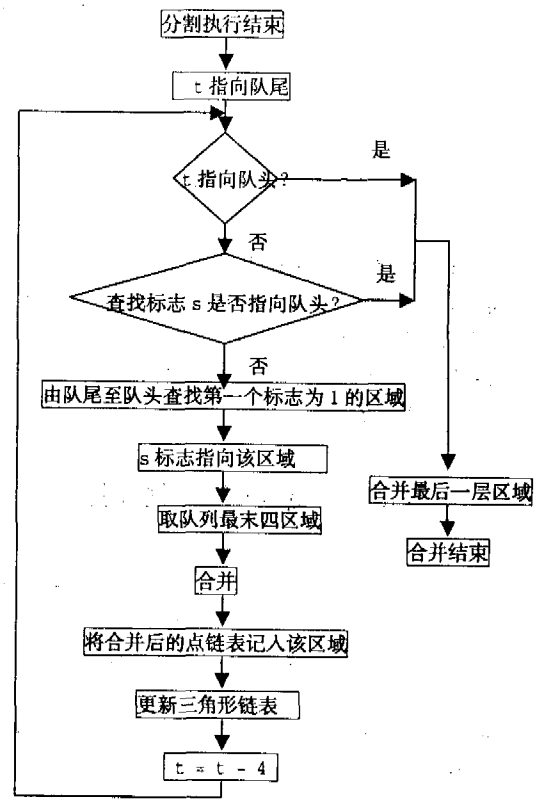

图 3 合并过程流程图

最后，在具体合并过程中尽量缩小寻找正确的扩展点的范围，从而节约逐点测试比较的时间。对于两局域三角网的合并，很明显，可扩展的边一定是在两局域三角网的凸壳上，再进一步讲，只可能是两凸壳相对的部分边上。将这些可扩展边分别整理出来，形成两条链表，则后来做合并工作时，所需用到的边和点就可直接取自这两条链表中的数据，而不需在该区域中所有点中逐一比较寻找了，从而避免了很多无用功。

利用 VC 平台[11]，限定区域最大点数为 5，总点数大于 5 的区域被逐级再次分割。实验结果如图 4 所示。

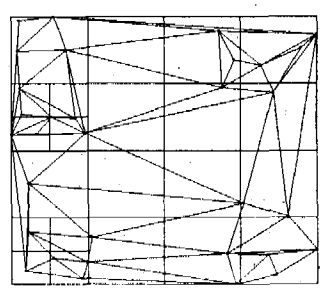

图 4 一个实验结果

参考文献：

[1] 武晓波，王世新，肖春生. Delaunay 三角网的生成算法研究[J]. 测绘学报，1999，28(1)：28－35.

[2] 朱 庆，陈楚江. 不规则三角网的快速建立及动态更新[J]. 武汉测绘科技大学学报，1998，23(3)：204－207.

(下转第 40 页)

以下是专家系统接受到的回复信息模型：

```
<XML Description>
  <messageID>消息 ID</messageID>
  <messageType>消息类型</messageType>
  <validateCode>验证码</validateCode>
  <respondCall>
  <methodName>方法名称</ methodName>
  <returnValues>
   <returnValue>
    <returnValueType>回复值</returnValueType>
   </returnValue>
   <returnValue>
    <returnValueType>回复值</returnValueType>
   </returnValue>
        ⋮
   </returnValues>
  </respondCall>
</XML Description>
```

表 1 说明

类型	描述
消息 ID	消息的标识
消息类型	4 种类型之一。分别是：请求、应答、接受回复、接受应答
验证码	保证接受到的回复消息和请求消息的对应。专家系统可能在某个时间内收到网络上多个回复消息，为了避免混淆，使用验证码，保持请求和回复之间的一一对应
方法名	专家系统的提供的调用方法名称
参数	请求方法调用时，传入的参数值
回复值	专家系统的回复结果

可以看出，用 XML 文档来表示请求或者回复信息，这个信息可以被网络上的专家系统识别。这样，可以不受专家系统运行的具体环境以及开发语言差异的影响，只要依照接口设计标准，开发出针对这个专家系统的 Web 接口模块，就可以实现网络上专家系统之间的交互。

2.4 交互方式的特点

借助 Web Service 提供的一套标准和技术，可以使得不同平台、不同编程语言的专家系统实现交互。这种专家系统间的交互方式具有以下特点：

(1)在不同专家系统之间的传输的消息是以 XML 格式来指定的，这些消息都是通过 HTTP 协议发送的。

(2)SOAP 负责远程的服务请求以及应答。服务请求的编码格式在 SOAP 中是指定的，SOAP 消息本身就是以 XML 格式编码的，它包含了对远程专家系统进行请求的方法和数据。

(3)WSDL 描述了专家系统提供服务的接口，即请求调用的方法和接受返回的参数，在 WSDL 文档中，可以确定提供服务专家系统的有效 SOAP 消息格式。

(4)使用 HTTP 协议作为底层的传输协议，可以轻松突破不同专家系统运行环境的防火墙，使得远程专家系统接受到 SOAP 消息。

(5)在交互的过程中，专家系统利用了来自网络上其他专家系统的回复内容，能够将产生的新的知识，通过知识获取系统即时更新、补充知识库。

3 结 论

Web Service 的出现，为构建专家系统之间的交互提供了一个新的平台。文中给出了一个网络上专家系统的交互模型，利用 Web Service 的技术特点实现了跨平台的交互。不同领域的专家系统之间的交互可以大大地弥补单一专家系统处理能力不充分、知识不足的弊端。

基于这种新的平台，可以独立于软件提供者制定的标准，构建专家系统之间的交互。只要某个专家系统经过注册，并且开放它的服务接口，网络上的其它专家系统就可以利用它所提供的服务。这样，位于 Web 上的多个专家系统之间可以互相协作，共同解决一个领域更广的问题。

参考文献：

[1] 蔡自兴，徐光佑. 人工智能及其应用(第 3 版)[M]. 北京：清华大学出版社，2004.

[2] 刘 刚，余 晖. 利用 WSDL 和 UDDI 为公共 Web Service 建立统一接口[J]. 计算机应用研究，2003(5)：150－152.

[3] 孙 凯，陈德人. 基于 UDDI 和 Web Service 的应用模型研究[J]. 计算机应用研究，2003(5)：133－134.

[4] 韩晓峰，徐良贤. 基于 Web 服务的多 Agent 系统的研究[J]. 计算机仿真，2004(1)：74－76.

[5] Laurent S S, Johnston J, Dumbill E. Programming Web Services with XML－RPC[M]. [s.l.]: O'Reilly, 2001.

(上接第 12 页)

[3] 丁永祥，夏 巨. Voronoi 图和 Delaunay 三角剖分的计算及应用[J]. 华中理工大学学报，1996，24(增刊 1)，67－72.

[4] 张宗华，彭 翔，史伟强，等. 平面域任意散乱点自动三角化的研究[J]. 工程图学学报，2000(2)：38－45.

[5] 谢传节，万洪涛. 基于四叉树结构的数字地表模型快速生成算法设计[J]. 中国图像图形学报，2002，7(4)：394－399.

[6] Thsesen A H. Precipitation Averages for Large Areas[J]. Monthly Weather Review, 1991, 11(39): 1082－1084.

[7] Sibson R. Locally Equiangular Triangulations[J]. Computer Journal, 1978, 21(3): 243－245.

[8] 朱战立，刘天时. 数据结构(第 2 版)[M]. 西安：西安交通大学出版社，1999.

[9] Piegl L A, Richard A M. Algorithm and data structure for triangulating multiply connected polygonal domains[J]. Computers & Graphics, 1993, 14(6): 23－35.

[10] 薛伟莲，王志强. 可视化的 C＋＋实现单调多边形三角剖分[J]. 大连海事大学学报，2002，28(2)：98－102.

[11] 童爱红. 深入编程内幕——可视化的 C＋＋[EB/OL]. http://202.113.13.168/netclass/computer/#，2002.