

# 基于网格数据图的自适应细分及边缘提取

李长河 秦欣 张二虎 石争浩

(西安理工大学计算机学院,西安 710048)

E-mail:chlmail@163.com

**摘要** 文章针对网格数据计算的可视化表达,给出了网格数据图有限元自适应细分方法;进而提出了网格计算与图形及数字图像处理的信息融合提取算法,实现了数据的自适应采样细分、图像分割与边缘提取。实验结果表明,该方法在不增加太多的计算及数据量情况下,可以很好地提高特征区域数据分辨率和网格数据计算的效率。

**关键词** 网格数据 图像分割 边缘提取 自适应细分 信息融合

文章编号 1002-8331-(2003)24-0094-03 文献标识码 A 中图分类号 O242;TP75;TP39

## Adaptive Subdivision & Area Graph Segmentation and Edge Detection Method Based on Grid Computation

Li Changhe Qin Xin Zhang Erhu Shi Zhenghao

(Computer Science College, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048)

**Abstract:** Aim at the visualization expression of grid data computation, a grid data map finite element adaptive subdivision method is presented. Then an information fusion edge detection algorithm based on grid computation and digital image processing is proposed. Using this method, the numerical computing is adjusted automatically to the character area. The experiment results show that the sample resolution of the grid computation can be greatly improved without increasing the numerical computation very much.

**Keywords:** Grid Data, Image Segmentation, Edge Detection, Adaptive Subdivision, Information Fusion

### 1 概述

网格,是指对连续空间数据信息所进行的离散采样、计算,并按照某种等值区域结构解剖划分而获得的一种网状数据的分布表示。例如对平面、曲面、三维空间或特定的连续区域,可依照某种规律或法则,如水文、地质勘探、网络与数据流计算、资源分布以及各种数学物理场的参数分布等,都可分别表示为互不相交的等值节点连接的多边形或多面体的数据集合,构成了数据网格。对应于这种划分所得的多边形或多面体又称为网格单元,网格数据是网格单元的典型值。由于网格可以是二维的,也可以是三维的空间结构,故相应的网格数据可分为二维网格数据、曲面网格数据及三维网格数据等。

在网格数据计算与可视化分析处理中,若给定的网格数据样本率太低,则无法从中得到详细的特征信息,这就需要提高数据的采样分辨率。这种情况尤其在数值计算中突出存在,如流体力学计算、高精度有限元网格数据的计算等。由于网格可以无限细分,而且网格数据是从连续空间计算或采样插值得到,理论上该类数据的分辨率存在无限提高的可能性。但是,对全部网格的加密细分将导致计算量近似几何级数的增长,这使得通过网格直接加密来实现数据的分辨率提高,这在复杂的数值计算中过于烦琐,效率太低,不容易实现。因此,该文利用网格计算与数字图像处理的技术融合,提出了数据的自适应采样细分和图像分割与图形表达特征区域相结合的提取算法,较好

地解决了数据分辨率与网格计算量以及计算效率之间的矛盾。

### 2 网格数据及其分类

网格数据是离散数据,数据的采样依赖于网格结构。在二维网格中,网格单元的主要类型为三角形、四边形,且所有网格单元的顶点分布在同一平面上;而在曲面网格中,虽然网格单元的主要类型也是三角形、四边形,但所有网格单元的顶点却分布在某一曲面上。

在大规模科学计算中得到的数据大多是网格数据。此外,在实际测量中,还经常得到另一类离散数据,即散乱数据。这类数据的特点是数据采样点在平面、曲面、或空间区域任意分布,数据之间没有联结关系,例如在特定区域范围各个测量点所检测到的温度即为此类型数据。散乱点数据可使用一些数学模型对它们进行网格化,得到网格数据。例如,利用 Delaunay 的三角剖分法就可将散乱点集合转化为三角形网格。

按照网格单元形状及邻接关系上存在的差异,网格可被进一步细分为不同的子类型。

二维网格可分为规则网格与不规则网格两大类。笛卡儿网格、规整网格属于规则网格,它的特点是数据沿 X 轴、Y 轴均匀采样,网格结构整齐一致;不规则网格结构往往很复杂,有多种类型。在网格自适应剖分算法中,三角形网格或某些结构型网格单元还可被进一步细分为非结构网格。

基金项目:教育部重点实验室基金资助(编号:TKLJ0107);陕西省教育基金资助(编号:02JK093)

作者简介:李长河(1945-),男,湖北蕲春人,硕士,研究生导师。目前主要研究方向:计算机视觉与智能信息处理;网格数据及网络计算新技术。

秦欣,女,日前在美国攻读博士。张二虎、石争浩,均为西安理工大学在职博士研究生。目前主要研究方向为数字图像处理以及计算机应用新技术等。

三维网格可分为三角形网格、非结构网格、曲线网格、块结构网格、混合结构网格及散乱点等。

其中,各类网格的特点简述如下。

笛卡儿网格:在X、Y轴方向上的采样间隔相等。

规整网格:相同轴向上的网格线间隔相同,而不同轴向上的网格线间隔值可能不相同。

结构网格:网格单元为四边形。每个内部点都有相同数目的近邻。网格点之间的联结关系通过增加或减少坐标数据域中的索引来显式描述。结构网格中每个网格点的坐标都需要显式保存。

非结构网格:网格单元可以既有三角形,又有四边形,而且每个内部点可以有不同数目的近邻。非结构网格中,每个网格点的坐标都显式保存,还要保存网格点之间的联结关系。有限元方法中,对网格的局部优化会导致这类网格的出现。

曲线网格:网格单元为四边形。网格单元的分布环绕一个物体,或用于填充一个环形区域;在计算流体力学(CFD)中常用到此类网格。

三角形网格:每一网格单元为一三角形,而且网格中的任一条边至多属于两个三角形。三角形网格中每个网格点的坐标一般都采用显式存储方式,而且每个内部点可以有不同数目的近邻。其次,对于散乱点数据,可利用Delaunay三角剖分法,将散乱点集转化为三角形网格。

### 3 数值计算中网格的自适应细分方法

数值仿真计算是网格数据的一个主要来源,其计算过程一般分为两步。第一步,进行有限元网格剖分,将连续区域分割为互不相交的网格单元集合。第二步,在所有的网格单元的顶点进行数值计算。第一步得到的数据是网格数据中的几何数据,它决定了第二步中属性数据的采样方式。数值仿真计算是一个复杂的过程,计算量非常大,对于随时间变化的流体计算尤其如此。因此,网格的剖分不能太密。然而,数值计算的目的是用计算得到的离散数据反映连续空间某些特性的分布特点,因此,数据采样分辨率又不能太低,否则将难于反映连续空间特性的分布状况。如何在数据分辨率与数据计算量之间求得平衡是一个复杂的问题。

事实上,在网格数据的分析和计算中,人们并非对所有的网格数据都给以同样的注意,往往只是对网格数据中的特征区域感兴趣。诸如数据中某些属性的分布状况;某些特性随时间的变化情况;某一属性区域发生较大变化等。显然,在网格加密时,如果将所有网格单元都加以细分,不仅增加了计算量和计算成本,而且也是一种投入资源的浪费。该文采用如下的方法进行网格细分:首先在剖分较粗的网格中提取特征区域,然后单独将特征区域的网格加细,其他区域的网格则可以保持不变,这就是网格的一种自适应加细方法。这样,既提高了特征区域的采样(计算)分辨率,计算量也不会增加很多。如图1所示。

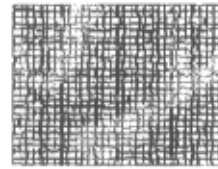
在数值计算过程中引入网格的自适应加细方法,利用计算得到的结果自动调整网格结构,使得网格在特征区域加密,而其他区域保持不变。这是一种将数值计算的焦点自动调整在特征区域的优化算法,从而实现数据的自适应采样,可以在不增加计算及数据量太多的情况下,很好地提高特征区域的数据分辨率。

一般,网格的自适应细分的步骤描述如下:

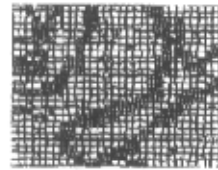
(1)生成初始的网格,并计算属性数据;

(2)在初始的网格数据中进行特征区域提取,得到特征区域内的网格单元集合;

(3)将特征区域内网格单元进行细分,并在新的网格点进行数值计算。



(a)结构网格及属性数据分布



(b)网格边缘检测的自适应局部加密细分

图1 结构网格自适应细分方法示意图

由于网格单元有不同类型,因此网格的细分方式也不同。在平面网格中,网格细分方法比较简单。三角形网格的细分主要有两种方法,见图2。方法一通过将三角形的某一顶点与对边的中点相连将一个三角形分为两个三角形;方法二通过将三角形三边的中点相连把一个三角形分为四个三角形。四边形的细分方法一般采用将对边连起来的方法,见图3;一个四边形被分为了四个四边形。



图2 平面三角形的两类细分方法

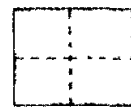


图3 四边形的细分方法

曲面网格的细分方法相对复杂。设网格数据的采样曲面是一个双参量曲面,记作:

$$S(u,v)=\{x(u,v),y(u,v),z(u,v)\},0\leq u\leq 1,0\leq v\leq 1$$

对于曲面网格中给定的三角形 $v_1 v_2 v_3$ ,记其三个顶点分别为:

$$V_1=S(u_1,v_1),V_2=S(u_2,v_2),V_3=S(u_3,v_3)$$

三角形 $V_1V_2V_3$ 细分时,不再采用将各边的中点连接起来的方法,因为各边的中点一般不在曲面上,误差较大。由三角形的三条边的端点可以另外确定曲线上的三个网格点,分别如下:

$$V_{12}=S\left[\frac{u_1+u_2}{2},\frac{v_1+v_2}{2}\right]$$

$$V_{13}=S\left[\frac{u_1+u_3}{2},\frac{v_1+v_3}{2}\right]$$

$$V_{23} = S \left[ \frac{u_2 + u_3}{2}, \frac{v_2 + v_3}{2} \right]$$

这时, 三角形  $V_1V_2V_3$  可以被细分为四个三角形, 即  $V_1V_2V_{12}$ ;  $V_1V_2V_{23}$ ;  $V_1V_3V_{23}$ ;  $V_2V_3V_{23}$ 。

如图 4 所示, 这一细分方法保证所有三角形的顶点依然在曲面上, 曲面网格中的四边形可以同理细分。

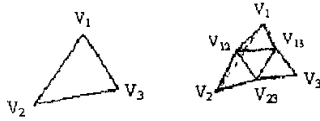


图 4 三角形曲面网格的细分方法

#### 4 基于数字图像处理的网格数据区域分割及边缘提取

在应用领域中, 数据发生较大变化的区域是人们比较关心的特征区域。网格自适应加细方法的关键就是如何从初始计算得到的网格数据中提取特征区域。人们希望通过提高网格数据在这些区域的数据采样率, 以便于更好地观察和分析这些区域的特点。数据发生较大变化的区域亦即网格数据中的边缘曲线或边缘曲面, 它们往往反映了对应物理场的等值或等值边缘曲线或曲面。可以利用网格数据与图像灰度或色度所具有的相对关系, 利用信息融合技术, 把网格数据变换为数字图像, 再通过网格数据计算与图像区域分割及边缘检测处理相结合的方法, 获得网格数据兴趣区的边缘曲线或边缘曲面。

在数字图像处理中, 有许多方法可用来进行边缘检测与分割。其中大多数是用基于方向导数的边缘检测算子来构造掩模, 并用以完成卷积运算。诸如 Roberts 算子、Sober 算子、Kirsch 算子和 Prewitt 算子等。实验证明, 基于  $3 \times 3$  窗口的 Sober、Kirsch 和 Prewitt 等算子对离散度大的图像处理效果好; 具有  $2 \times 2$  窗口的 Roberts 算子则对灰度突变的低噪声边缘检测更敏感。

这里采用的 Roberts 为非线性交叉运算。其算子式可表达为:

$$G_R(u, v) = \{ [F(u, v) - F(u+1, v+1)]^2 + [F(u, v+1) - F(u+1, v)]^2 \}^{\frac{1}{2}}$$

一种基于 Roberts 算子的简化算式为:

$$G'_R(u, v) = |F(u, v) - F(u+1, v+1)| + |F(u, v+1) - F(u+1, v)|$$

使用边缘检测算子并结合边界自适应阈值的选择, 可完成特征兴趣区的图像分割。这样, 针对前述图 1(a) 平面结构的网格数据, 利用反映该网格数据的等值区域交界线或灰度图, 结合图像边缘检测算法, 就可将边缘网格单元集合及边缘曲线检测出来。其中, 图 1(b) 是基于图 1(a) 边缘检测上网格的自适应局部细分; 图 5 是相对图 1(b) 的结构网格边缘检测分割及抽取的骨架曲线 (缩小比例为 70%)。通过将边缘网格单元细分并在这些加密的网格单元中计算, 可以得到边缘网格单元内的细微结构或更为精确地定位边缘曲线。通过观察可以注意到, 被细分的网格基本上分布在属性数据发生较大变化的区域。

图 6(a) 为三角形网格及其上的数据分布, 图 6(b) 是按照图 6(a) 的数据分布, 实施图像灰度变换的结果; 图 7 在图 6(b) 的基础上, 有适量的放大。图 7(a) 对图 6(b) 的灰度图像完成了边缘检测跟踪; 图 7(b) 为三角形网格依据边缘检测跟踪进行

自适应局部加密细分的结果。这里, 三角形细分时, 采用了将各边中点相连接的方法。



(a) 边缘网格单元集合



(b) 边缘检测曲线

图 5 对图 1 的结构网格边缘检测及曲线分割



(a) 三角形网格及数据分布

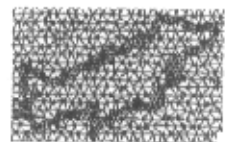


(b) 对(a)网格数据实施图像灰度变换

图 6 三角形网格及实施图像灰度变换的结果



(a)  $\sigma = 5$ ; (b) 灰度图像边缘检测跟踪



(b) 自适应局部细分

图 7 三角形网格自适应局部细分结果

在该网格数据中, 利用边缘检测算子检测出的边缘网格单元集合及边缘曲线见图 8。

#### 5 结论

研究结果表明: 对于网格计算的可视化表达, 该文所给出的网格数据有限元自适应细分方法能有效地提高特征区域数

(下转 109 页)

询帮助的途径上。待使用一段时间后,系统重新设置在无人工咨询服务的途径上。(若希望更准确地确定调整时间,可通过统计使用人工引导的次数进行判断)。

(2)在资源配置上,不仅需要强调在长期性的关键位置上的配置,而且需要强调在阶段性的关键位置上的配置。在该实例中,系统运行初期对电话应答人员和线路带宽的需求就是一个在阶段性的关键位置上的配置要求。所以,如果需要缩短新系统平稳使用的过渡时间,减少客户的抱怨率和投诉率,该企业需要在初期适当增加电话应答人员和线路带宽,至少不能够显著地减少。

通过添加路径选择功能模块,以及为支持初期的“引导帮助式”服务机制而维持适当的电话应答人员和线路带宽,可以显著地减少新系统使用带来的各种问题,适应外部客户在系统变更和各个运行阶段的需求变化情况。在该实例中,采用了传统的“Heavyweight”软件需求分析和实现方法,达到了固定用户需求的良好目标,把一些不确定性的需求转化成明确的需求。相反,如果采用“Lightweight”的“适应性”方法,其各个方面的成本是很高的,而且其效果也不会更加突出<sup>[5,6]</sup>。

#### 4 结束语

随着企业信息化建设的深入,其复杂程度会越来越高,相应地各种需求的明示难度会越来越困难,甚至变成不可能实现的任务。因此现有的许多观点都认为:与其花费大量的精力和时间去实现一个不可能达到的目标,还不如选择适宜的方法去“适应”需求的变化<sup>[6]</sup>。

经过研究,笔者认为在企业信息化浪潮中,应该把握如下的观点:

(1)无论是技术人员还是企业自身的管理人员,都是不可能完整勾勒出清晰明了的企业管理信息流程图的,即使设计出来的也是一厢情愿的东西;

(2)许多带有不确定性的需求本身具有不可调和的矛盾,如管理、技术手段不可能完全解决这种矛盾;

(3)部分的不确定性的需求是表现在需求的有规律的变化,其痕迹可以追踪,这种情况下,不能过分强调系统的“适应性”,而应该通过需求进一步细化来分解,如文中外部客户需求的阶段性变化;

(4)企业信息化系统无论如何先进,还只是一种辅助管理的手段,高效的企业运转模式还是需要首先强调“以人为本”的原则。那么对提高信息化项目的成功率是有现实意义的

(收稿日期:2002年7月)

#### 参考文献

- 1.Chris Britton.IT Architectures and Middleware:Strategies for Building Large,Integrated Systems[M],Published by Addison Wesley Professional, 2000-12
- 2.Chris Britton.Lightweight Methodologies for New Interfaces.http://www.informit.com/isapi/,2001-11
- 3.Mike Beedle,Martine Devos et al.SCRUM:An Extension Pattern Language for Hyperproductive Software Development.http://www.controlchaos.com/
- 4.Ken Schwaber, Mike Beedle.Agile Software Development with SCRUM[M]. Published by Prentice Hall,2001-10
- 5.Larry L Constantine, Lucy A D Lockwood.Usage-Centered Engineering for Web Applications[J].IEEE Software,2002,19(2):42-50
- 6.Software Project Management Plans[S].on the IEEE Standard 1058.1, 1987
- 7.杨根兴等.软件需求的不确定性与解决途径[J].计算机应用与软件, 2002;19:17-19
- 8.何新贵等.软件能力成熟度模型[M].清华大学出版社,2000-11
- 9.Holland C,Light B.A Critical Success Factors Model For ERP Implementation[J].IEEE Software,1999:30-36

(上接 96 页)

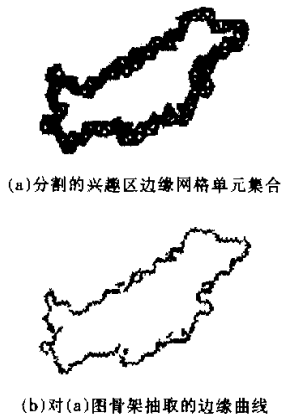


图8 三角形网格边缘曲线检测示意图

据分辨率;尤其文中提出的网格计算与数字图形图像处理相结合的信息融合提取算法,实现了网格数据的自适应采样细分、网格图的分割及边缘提取。可以料想,由于图像信息具有直观鉴赏性,计算机视觉与图像信息处理领域所具有的前导发展,都为把网格数据有限元计算和计算机视觉信息、图像处理相融合的研究提供了科学技术平台。因此,这种思路与方案极具应

用前景。实验证明,该文方法在不增加太多的计算及数据量情况下,可以很好地提高特征区域数据分辨率和网格数据计算的效率。

其次,网格的自适应细分方法与信号处理中采样理论相一致。根据信号处理的采样理论可知,特征区域的边缘数据由于变化大,一般属于高频部分,因此,该部分数据的采样分辨率应相对取高;而对于其它区域和低频部分,采样分辨率可以降低。(收稿日期:2003年2月)

#### 参考文献

- 1.Zhang Hong-xin,Wang Guo-jin.Semi-stationary Push-back Subdivision Schemes[C].In:Conference Chinagraph,2002
- 2.Yang Xiaosong,Tang Zesheng,Pheng Ann Heng.Virtual Arthroscopic Knee Surgery Training System[C].In:Conference On Award for Computer Graphics Outstanding Contribution Award & Computer Graphics Achievement Award,2002
- 3.Foster I,Kesselman C,Nick J et al.The Physiology of the Grid:An Open Grid Services Architecture for Distributed Systems Integration. Citation,PDF:10-24,http://www.globus.org/research/#OGSA,2002
- 4.Wang L,Tan Z.The Algorithm for Extracting Region Containing Features[J].3D Data SPIE,1998:474-478
- 5.杨晓松,顾元亮,李云鹏等.有限元网格体绘制中的剖切算法[J].中国图像图形学报,2002;7(1)