

二维空间多点动态目标 Voronoi 图生成算法研究

司海飞^{1,2}, 史 震², 王宏健², 施 健²

(1. 金陵科技学院智能科学与控制工程学院, 江苏 南京 211169;

2. 哈尔滨工程大学自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要:提出了一种多点动态目标 Voronoi 图构建方法,在二维空间内实现随机分布 100 个以上的动态目标,根据目标分布动态生成其 Voronoi 图,并用代码实现给出动态目标完整的图形化表示及坐标表达。实验结果表明,算法构建的 Voronoi 图能适应目标点动态变化、精度更高,具有更符合真实空间状态的数据建模能力,可为 Voronoi 图相关应用研究提供借鉴。

关键词: Voronoi 图; 分割; 动态目标; Delaunay 三角剖分法

中图分类号: TP242.6; TP319

文献标识码: A

文章编号: 1672-755X(2020)01-0001-05

Research on Voronoi Diagrams Generation Algorithm for Multi-point Dynamic Objects in Two-dimensional Space

SI Hai-fei^{1,2}, SHI Zhen², WANG Hong-jian², SHI Jian²

(1. Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China;

2. Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: This paper proposes a method to construct the Voronoi diagrams of multi-point dynamic objects; more than 100 dynamic objects are randomly distributed in two-dimensional space, the Voronoi diagrams is dynamically generated according to the object distribution, and the complete graphical representation and coordinate representation of the dynamic objects are given by code realization. The experimental results show that the Voronoi diagrams constructed by the algorithm can adapt to the dynamic change and accuracy of the object points. It can be used for reference in the application research of Voronoi diagrams.

Key words: Voronoi diagrams; segmentation; dynamic object; Delaunay-triangle method

Voronoi 图(以下简称“V 图”)又叫泰森多边形,它是一组由连接两邻点线段的垂直平分线组成的连续多边形组成。一个泰森多边形内的任一点到构成该多边形的控制点的距离小于到其他多边形控制点的距离^[1]。V 图在计算几何学科中具有重要地位,由于其根据点集划分的区域到点的距离最近的特点,其在机器人路径规划、图像处理和复杂空间关系表示^[2]、智能交通路网分割与查询、空间聚类分析、地理信息系统等领域具有广泛的应用^[3]。

V 图的生成方法主要有矢量法和栅格法^[3],进一步可细分为分治法、并行法、增量法、间接法(如利用 Delaunay 三角网)、近似构造法、栅格距离变换法等^[3-6]。这些方法被应用到图像处理、空间定位和空间数

收稿日期:2020-01-06

基金项目:江苏省自然科学基金面上项目(BK20171114)

作者简介:司海飞(1978—),男,江苏阜宁人,副教授、高级工程师,博士研究生,主要从事模式识别与智能系统、计算机应用技术研究。

据挖掘等领域^[7-8],具有一定的应用价值。然而,传统方法生成的常规 Voronoi 图仅适于理想条件^[9],难以模拟真实空间状态和动态过程。为此,本文提出了一种多点动态目标 Voronoi 图构建方法。

1 Voronoi 图的生成

本文所要解决的问题为:在二维空间内随机分布 100 个以上的目标,点目标的刷新频率为 0.2 Hz,根据目标分布动态生成其 Voronoi 图分割,并给出其完整的图形化表示及坐标表达,能够生成点目标的凸包图。

1.1 目标点的动态生成

首次生成时采用随机数生成 n 个(n 为实际输入值)平面点坐标值,并将点坐标记录在列表框中。根据点坐标画出对应的图形化点,按照点的刷新频率为 0.2 Hz,5 s 更新一次列表和图形化点,更新时按照新生成的点不能重复原则,比较平面点坐标是否相同,如相同则剔除,重新生成 n 个平面点坐标后,刷新坐标列表框,并刷新显示图形点。

1.2 Voronoi 图的生成

生成 V 图常见的方法有分治法、Delaunay 三角剖分法和扫描线法^[10-12]。根据 V 图有着按距离划分邻近区域的普遍特性,本文采用的是 Delaunay 三角剖分法。Delaunay 剖分法是一种三角剖分的标准,实现它有三角网生成法、分治算法、逐点插入法等多种算法。其中,三角网生成法的时间效率最低,分治算法的时间效率最高,逐点插入法效率居中。由于三角网生成法本质的缺陷,导致其效率受限,这种方法在 20 世纪 80 年代中期以后已经很少使用^[13]。分治算法时间效率相对较高,但是由于其递归执行,所以需要较大的内存空间,导致其空间效率较低。此外,分治法的数据处理及结果的优化需要的工作量也比较大^[14]。逐点插入算法实现简单,时间效率比较高,而运行占用的空间也较小,从时间效率和空间效率综合考虑,性价比最高,因而应用广泛。本文采用改进后的逐点插入法 Bowyer-Watson 算法,算法的基本步骤如下:

1) 构造一个超级三角形,包含所有散点,放入三角形链表。

2) 将点集中的散点依次插入,在三角形链表中找出其外接圆包含插入点的三角形(称为该点的影响三角形),删除影响三角形的公共边,将插入点同影响三角形的全部顶点连接起来,从而完成一个点在 Delaunay 三角形链表中的插入。如图 1 所示。

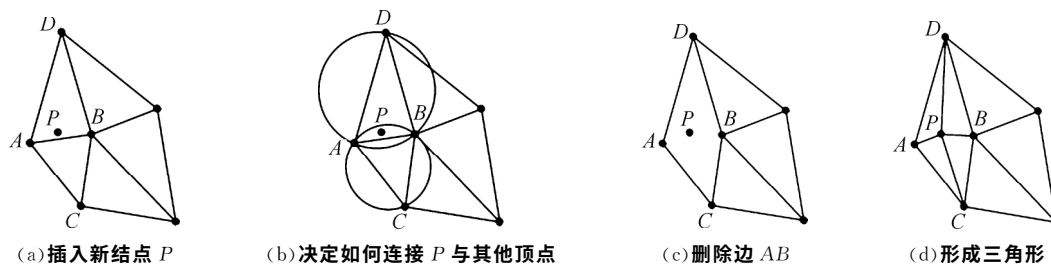


图1 Bowyer-Watson 算法完成散点插入的方法

3) 根据优化准则对局部新形成的三角形进行优化。将形成的三角形放入 Delaunay 三角形链表。

① 对新形成的三角形进行优化,将两个具有共同边的三角形合成一个多边形。

② 以最大空圆准则作检查,看其第四个顶点是否在三角形的外接圆之内。

③ 如果在,修正对角线即将对角线对调,即完成局部优化过程的处理。

4) 循环执行上述第 2 步,直到所有散点插入完毕。

基于以上论述,进一步给出 Voronoi 图生成算法,详细算法步骤如下:

begin

{ S1, S2, S3, ..., Sk } ← STri(S); // 将离散点构成三角网,并编号

for i = 1 to k do

```

create_Tubao(ST); //创建凸包
构建三角形链表;
利用逐点插入法生成 ST 的 Delannay 三角网 STri;
for i = 1 to k do
ST ← Combine(STri); //合并三角网
确定 Delannay 三角形集合 ST;
for j = 1 to |ST| do
Circle(STrj);
确定每个 STrj 的圆心 Cj;
连接 Cj,生成 Voronoi 图 VG;
return VG;
if 生成点发生变化 then
动态更新 VG;
return VG;
end

```

首先,将离散点自动构建三角网,对离散点和形成的三角形编号,记录每个三角形是由哪三个离散点构成的。然后,计算每个三角形的外接圆圆心,并记录之。通过遍历三角形链表,寻找与当前三角形 STri 三边共边的相邻三角形 ATri、BTri 和 CTri。如果找到,则把寻找到的三角形的外心与 STri 的外心连接,存入维诺边链表中。如果找不到,则求出最外边的中垂线射线存入维诺边链表中。遍历结束,所有 Voronoi 边被找到,根据边画出 V 图。

2 运行实例与仿真结果

与现有 V 图设计研究相比,本文所涉及的内容,增加了点目标的动态性。此外,通过 V 图的图形化,点目标的坐标显示,V 图边端点的坐标显示和图形化突出显示,增加了可读和可感知性。以下为设置为 160 个动态点目标的相关运行实例情况。

1) 随机生成点。如图 2 所示,本文运行实例设置为 160 个目标点,目标点的刷新时间间隔为 5 s,即刷新频率为 0.2 Hz。图中,左侧框图中为生成的 160 个点的随机布置情况,中间列表为 160 个点的详细坐标值情况,最右侧为目标点个数设置,以及点的刷新时间间隔设置输入框,以秒为单位。

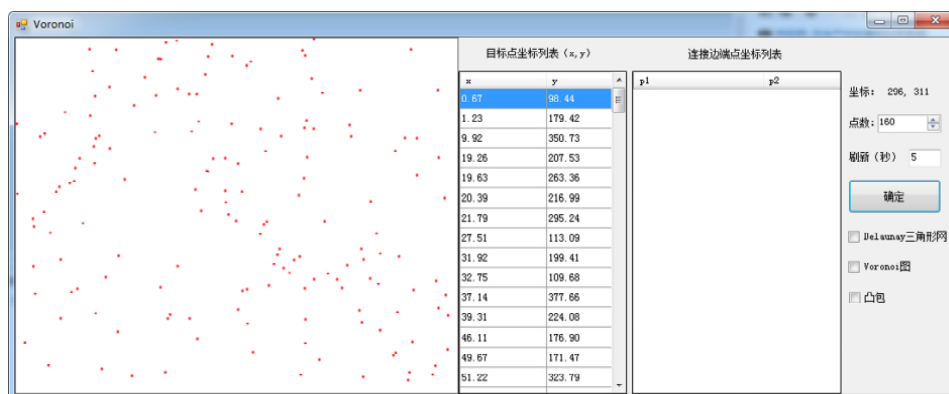


图 2 点目标随机布置图

3 结 语

本文通过分析和算法研究,实现了在二维空间内人工设置点目标个数,并实现其随机分布和动态变化,算法可实现根据目标分布动态生成其 Delaunay 三角形网和 Voronoi 图分割。算法构建的 Voronoi 图能适应目标点动态变化、精度更高,具有更符合真实空间状态的数据建模能力,研究达到了预期目标,可为在障碍物点集中场合,智能机器人、无人船等如何规避障碍,规划路径等应用提供借鉴,也可为 Voronoi 图其他相关应用研究提供参考。

参考文献:

- [1] 高贞,艾廷华,李成名. 基于正六边形格网的异质空间 Voronoi 图生成[J]. 地理与地理信息科学,2019,35(5):52-59
- [2] Boissonnat J D,Rouxel-LABBÉ M. Anisotropic triangulations via discrete riemannian voronoi diagrams[J]. SIAM Journal on Computing,2019,48(3):1046-1097
- [3] 李松,张丽平,孙冬璞. 空间关系查询与分析[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2011
- [4] Sacl J R,Urrutia J. Voronoi diagrams, handbook on computational geometry[M]. Ottawa:Elsevier Science,2006:201-290
- [5] Shiriaev P,Makeev M. Theoretical study of electromagnetic and optical properties of periodic conductive networks based on Voronoi diagrams[J]. Materials Today Proceedings,2019,128:56-64
- [6] 卢嘉豪,熊鹏文,闵卫东,等. 平面上可相交凸多边形的 Voronoi 图[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2019,31(9):1609-1616
- [7] Hug D,Kiderlen M,Svane A M. Voronoi-based estimation of Minkowski tensors from finite point samples[J]. Discrete & Computational Geometry,2017,57(3):545-570
- [8] 李佳田,罗富丽,余莉,等. 梯度 Voronoi 图及其构建算法[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2016,41(2):163-170
- [9] Eder G,Held M. Weighted voronoi diagrams in the maximum norm[J]. International Journal of Computational Geometry & Applications,2019,29(3):239-250
- [10] Barba T,Luis S. Optimal algorithm for geodesic farthest-point Voronoi diagrams[J]. Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik,2019(5):1102-1110
- [11] Song C,Cha J. Dynamic voronoi diagram for moving disks[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics,2019,125:999-115
- [12] 张娟,杜全叶. 增删点后的 Voronoi 图生成算法[J]. 图学学报,2013,34(1):46-49
- [13] 周婷,彭正洪,密新武. Delaunay 三角网生长算法改进与实现[J]. 图学学报,2013,34(5):12-15
- [14] 谢增广. 平面点集 Delaunay 三角剖分的分治算法[J]. 计算机工程与设计,2012,33(7):2652-2658

(责任编辑:谭彩霞)