

基于 Voronoi 图的点群移位算法效率优化研究

王孟和¹, 杨 帅^{2,3}, 张彭涛^{2,3}, 沈 婕^{2,3}

(1.南京市测绘勘察研究院有限公司, 江苏 南京 210019)

(2.南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210023)

(3.南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210023)

[摘要] 点群移位算法是点综合算法中一个重要的方法,可以解决因比例尺缩放和符号化后引起的要素空间冲突,但由于目前点群移位算法效率较低,难以满足快速地图成图的要求.本文在分析已有有点群移位算法效率的基础上,选择了基于 Voronoi 图的点群移位算法,并从算法级和代码级两方面对其进行了效率优化.实验表明,本文提出的优化方法,在保持点群移位结果可用性的前提下,可以提高点群移位算法的效率.

[关键词] 移位算法,算法优化,点群,Voronoi

[中图分类号] P208 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2016)04-0052-05

Study on Efficiency Optimization of Point-Cluster Displacement Algorithm Based on Voronoi Diagram

Wang Menghe¹, Yang Shuai^{2,3}, Zhang Pengtao^{2,3}, Shen Jie^{2,3}

(1.Nanjing Institute of Surveying, Mapping & Geotechnical Investigation, Co., Ltd., Nanjing 210019, China)

(2.School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(3.Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Point-cluster displacement algorithms are significant parts of map generalization algorithms and they can solve the spatial conflicts caused by scaling and symbolization among features. However, due to the low efficiency of the existing point-cluster displacement algorithms, it is difficult to meet the requirement of fast mapping. In this paper, based on the analysis of the efficiency of the existing point-cluster displacement algorithms, we choose the point-cluster displacement algorithm based on Voronoi diagram and optimize its efficiency from the aspects of algorithm level and code level. Experimental results show that the proposed optimization method can improve the efficiency of the point-cluster displacement algorithm based on Voronoi diagram while maintaining the availability of the result by displacement algorithm.

Key words: displacement algorithm, algorithm optimization, point-cluster, Voronoi

移位是地图综合中的一种重要手段,为解决地图综合中因比例尺缩放和符号化后引起的要素空间冲突提供了重要的方法.在地图表达中点群目标有很多,例如呈点状分布的散列式居民地、密集分布的用点表示的小岛屿群及小湖泊群等^[1],这些点群目标的移位可简称为点群移位.国内外有很多学者对点群移位进行过深入研究,提出了很多较为可行的移位算法^[2-10],但这些移位算法普遍存在计算效率较低的问题.为此,本文首先对两个常用的点群移位算法进行效率对比分析,从中选取了计算效率相对较高的基于 Voronoi 图的点群移位算法,并在此基础上对其进行了效率优化.

1 点群移位算法效率对比

目前关于移位算法的思想体系已较为成熟和丰富,但通过分析发现,这些移位算法普遍具有较高的时间复杂度.本文选取了两个常用的点群移位算法进行效率的对比分析:

(1) 基于比例射线的移位算法^[6]:该算法的主要思想是首先利用层次聚类算法确定潜在的空间冲突

收稿日期:2016-11-09.

基金项目:国家自然科学基金(41371433)、国土资源部地质信息技术重点实验室开放基金(2016305).

通讯联系人:沈婕,博士,副教授,研究方向:地图自动综合并行计算、电子地图与网络地图设计. E-mail:shenjiejie@njnu.edu.cn

区域,找出产生空间冲突的对象群,将对象群看成一个整体,以对象群中的某一个点作为中心点.冲突区域中每一个对象的移位距离都与其距离移位中心距离成函数关系,移位方向就是移位中心到每一个对象的射线方向.

该算法首先需要判断点之间是否产生冲突,这部分是通过判断两点之间的距离来实现的,包含两层循环,其复杂度为 $O(n^2)$;然后对产生冲突的点进行聚类,该部分的时间复杂度为 $O(n^2)$;最后计算移位量,进行移位. 综上,该算法的时间复杂度为 $O(n^2)$.

(2) 基于 Voronoi 图的移位算法^[7]:该算法的主要思想是给定一组点要素,在符号化以后,为保持一定的位置精度,每个点必须在相应的地图符号内. 由于点要素的密集性,符号之间会产生重叠压盖,一般用重叠面积的大小和多少来衡量地图的质量. 为保证点要素表达的清晰性和有效性,需要对点要素的位置进行重新放置,给每一个点划分一个不同的区域,且符号之间不会产生重叠. 该算法采用 Voronoi 图作为辅助结构,经反复迭代来实现上述目的.

该算法首先需要对点群生成 Voronoi 图,之后借助 Voronoi 数据结构判断空间冲突,并对冲突区域根据选择的移位方向进行移位操作. 该算法在 Voronoi 图的基础上来实现,可借助计算几何中的方法将算法的时间复杂度提升到 $O(n \log n)$.

对以上所分析的两种移位算法的时间复杂度对比如表 1 所示.

表 1 点群移位算法时间复杂度

Table 1 Time complexities of point cluster displacement algorithms

算法	时间复杂度
基于比例射线的点群移位算法	$O(n^2)$
基于 Voronoi 图的点群移位算法	$O(n \log n)$

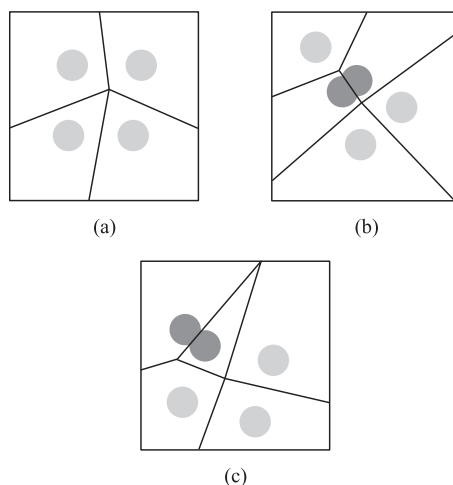


图 1 基于点群的位置坐标生成 Voronoi 图

Fig. 1 Generating voronoi diagram based on the position coordinates of the point cluster

2 基于 Voronoi 图的点群移位算法计算流程

基于 Voronoi 图的点群移位算法是 Tauscher 等人提出的. 该算法首先根据点群的位置坐标生成 Voronoi 图,会产生如下 3 种情况,如图 1 所示:(a)点群在 Voronoi 单元内;(b)点群之间产生重叠,但各自的 Voronoi 单元足够大;(c)点群之间产生重叠,但各自的 Voronoi 单元很小以至于不能放下点符号. (a)情况下不需要进行移位,(b)和(c)情况下的点群就需要进行移位以消除空间冲突.

针对具有空间冲突的点群进行移位,移位方向可以是向各自 Voronoi 单元的形心(移位过程如图 2(a)所示)或向 Voronoi 单元的最大外接圆圆心(移位过程如图 2(b)所示),进行反复迭代直至所有的空间冲突都被解决为止.

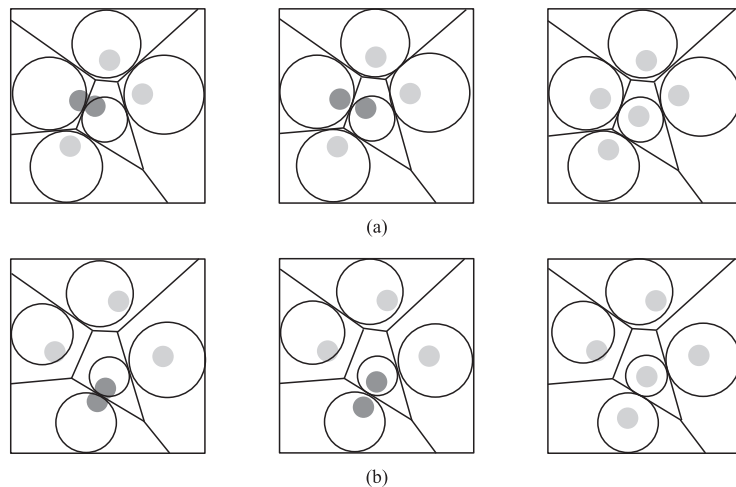


图 2 移位方向

Fig. 2 The direction of the displacement process

基于 Voronoi 图的点群移位算法的计算流程如图 3 所示,其伪代码为:

```
输入:Input、Radius、Maxiter
输出:Output
1 Temp=∅
2 Output=Input
3 Iter=0
4 While( Output ≠ Temp && Iter<Maxiter) do
5     Iter=Iter+1
6     Temp=Output
7     Output=∅
8     VD=GenerateVoronoiDiagram( Temp)
9     For( each p ∈ Temp) do
10         if( symbol( p) inside VD.cell( p) ) then
11             Output = Output ∪ { p}
12         else
13             Output = Output ∪ { displace( p, Radius) }
14         end
15     end
16 end
17 Return Output
```

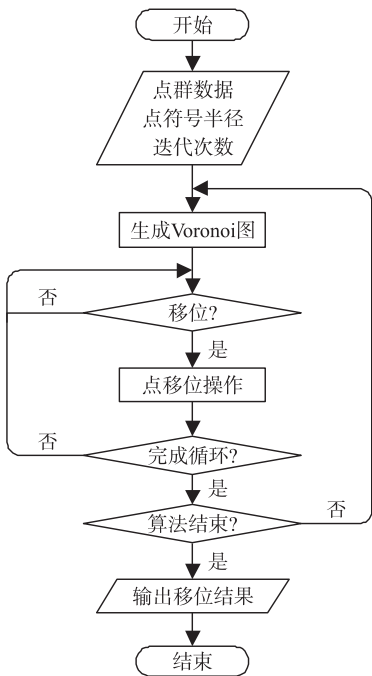


图 3 基于 Voronoi 图的点群移位算法计算流程
Fig. 3 The calculation flow of point cluster displacement algorithm based on voronoi diagram

3 基于 Voronoi 图的点群移位算法效率优化

算法的性能优化有多种方式,大致可划分为 3 个级别,如表 2 所示^[11]. 根据上节分析,可发现该算法的执行效率主要是由 Voronoi 图的构建和外层循环次数决定,此外考虑到 Voronoi 图与 Delaunay 三角网的特殊关系,本文将从这一角度对该算法从算法和代码级别进行优化,提高其执行效率.

表 2 算法优化级别及其优化特点
Table 2 Levels of algorithm optimization

优化等级	优化特点
系统级优化	控制流和数据流优化为主,通过减少消息传递个数、平衡系统负载和发挥硬件最大性能等方式来进行优化
算法级优化	以算法选择、算法自身的时间空间优化为主,还有并行化和数据结构优化等
代码级优化	代码优化为主,主要是缓存相关的优化,通过函数调用方法、编译优化选项等来进行优化

3.1 算法级优化

算法级优化方面,本文主要是针对数据结构进行优化. 例如在生成 Voronoi 图,并根据其来判断点群是否需要移位的时候,首先是根据 Delaunay 三角网和 Voronoi 图的对偶性,由原始的点群数据生成 Delaunay 三角网,优化算法中对 Delaunay 三角网中三角形的数据结构进行了修改,如下所示:

```
struct Triangle
{
    int vertex[3];    //三角形顶点
    int id;           //三角形的编号
    int idEdge[3];    //三角形的边
    int idnb[3];      //与三角形的三边相邻的三角形
    double fCC[2];    //三角形外接圆的圆心坐标
    double fRadius;   //三角形外接圆的圆半径
};
```

通过优化后的三角形数据结构,可快速地根据 Delaunay 三角网计算出对应的 Voronoi 图及其拓扑结构,提高后续判断点群移位和计算点群的移位方向的效率.

3.2 代码级优化

代码级优化方面,主要是通过减少循环访问的次数来进行优化。例如,在原始算法中将循环地对所有点群数据判断其是否需要移位,但是在实际中并不是所有的点群数据都需要进行位移,在经过第一次遍历之后,可通过添加一个链表(如下所示),用以维护需要进行移位点群数据的 ID 号,在下次遍历的只需要对链表中的点群数据进行判断即可:

```
LinkList * pointsId; //链表
```

3.3 实验与讨论

本实验是在单机环境下进行的,计算机的配置为:Inter[®]酷睿 i7-4790 四核,处理器频率 3.60 GHz,内存 8GB。实验数据是 Shapefile 格式的点数数据文件。编译环境为 Visual Studio 2010、GDAL2.0.1。使用 C++ 编程语言,并建立 MFC 项目,实现了基于 Voronoi 图的点群移位算法优化,且在不同的点群数量下,进行了算法优化前后的耗时对比实验,实验结果如表 3 和图 4 所示。

表 3 算法优化前后耗时对比

点群数据量/个	优化前耗时/s	优化后耗时/s
489	0.6	0.2
974	1.9	0.6
1 962	6.9	2.1
4 912	38.5	12.6
9 817	144.7	50.3
19 647	565.6	200.5
49 148	4 011.9	1 276.8

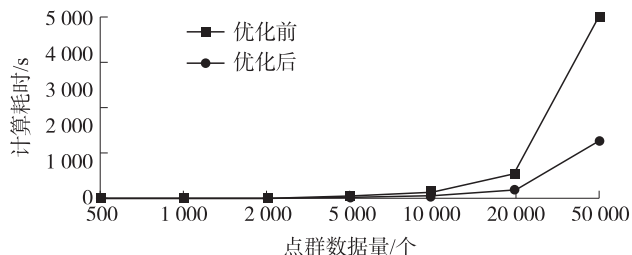


图 4 算法优化前后耗时对比

Fig. 4 Comparison of the time-consuming results

从图 4 可以看出,随着处理点群数据量的增加,优化后的算法较优化前的算法,效率有所提升。这是由于优化后的算法减少了 Voronoi 图构建的过程,且点群与对应的 Voronoi 单元关系明确,能够直接确定需要移位的点群所属的 Voronoi 单元,减少了算法的循环遍历次数,进而提高了算法的效率。

为验证优化后的算法处理结果的可靠性,选择了两种不同类型的点群分布数据进行实验验证:一种是随机分布,另一种是沿道路分布,实验结果如图 5 所示(其中黑色圆圈为原始数据,白色圆圈为移位结果;a、b 分别代表随机分布的点群算法优化前后的处理结果;c、d 分别代表沿道路分布的点群算法优化前后的处理结果)。

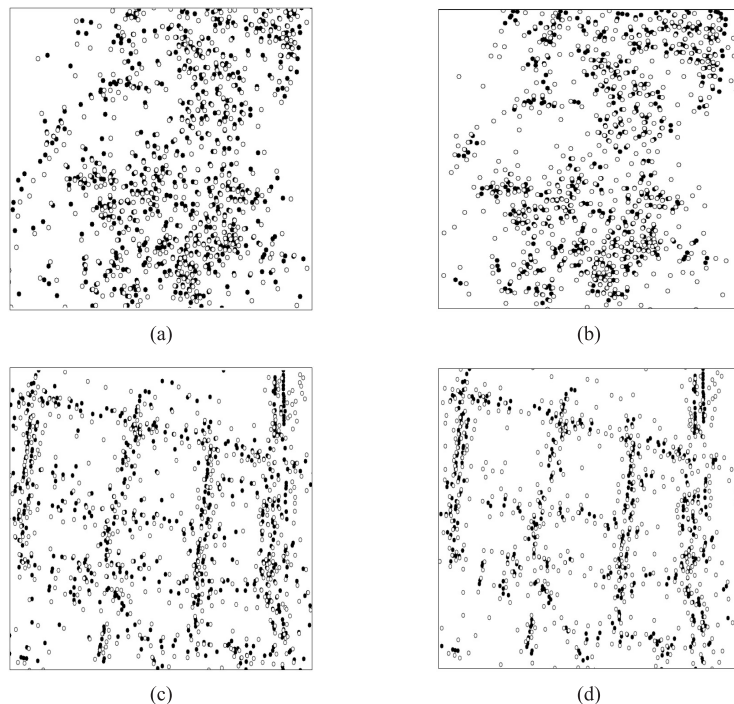


图 5 不同点群分布的算法优化前后移位结果对比

Fig. 5 Comparison of results by different patterns using the algorithms

从实验结果的对比图中可以得出:(1)在基于 Voronoi 图的点群移位优化算法中,由于数据点仅进行一次迭代运算,在效率上较优化前好,但是在边缘区域会出现点要素偏移较大的情况;在点密度较大的区域,算法在优化前后处理结果近似一致;(2)在随机分布的点群数据中,算法优化前后的处理结果与原始数据相比在空间结构保持方面近似一致;(3)在沿道路网分布的点群数据中,算法优化前后的处理结果与原始数据相比在空间结构保持方面均有偏差。

综上,基于 Voronoi 图的点群移位效率优化算法与效率优化之前的算法相比,在移位结果方面两者近似一致,但优化后的算法效率有明显提升。

4 结语

本文对点群移位算法进行了调研与分析,针对现有点群移位算法效率较低的问题,对两个常用的点群移位算法进行了时间复杂度分析.在此基础上对基于 Voronoi 图的点群移位算法的效率优化进行了研究,从算法级和代码级两方面对算法进行了算法效率的优化,采用随机分布及沿路网分布的点群数据进行移位算法的实验.研究表明,基于 Voronoi 图的点群移位效率优化算法在保持移位结果可用性的前提下,提高了算法的执行效率.但由于点群数据的多样性和算法优化的复杂性,本文仅仅是初步的探索.随着高性能计算技术的发展,点群移位算法及其优化还可进一步探索和研究.

[参考文献](References)

- [1] 王家耀,范亦爱,韩同春,等.普通地图制图综合原理[M].北京:测绘出版社,1992:1-15.
WANG J Y, FAN Y A, HAN T C. Theory of general map generalization[M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 1992: 1-15. (in Chinese)
- [2] 艾廷华.基于场论分析的建筑物群的移位[J].测绘学报,2004,33(1):89-94.
AI T H. A displacement of building cluster based on field analysis[J]. Acta geodaetica et cartographica sinica, 2004, 33(1): 89-94. (in Chinese)
- [3] 熊枝艳,刘远刚,郭庆胜,等.一种改进的点群移位算法及其应用[J].测绘与空间地理信息,2014,37(10):71-74.
XIONG Z Y, LIU Y G, GUO Q S, et al. An improved point group displacement algorithm and its application[J]. Geomatics & spatial information technology, 2014, 37(10): 71-74. (in Chinese)
- [4] 侯璇,武芳,刘芳,等.基于弹性力学思想的居民地点群目标位移模型[J].测绘科学,2005,30(2):44-47.
HOU X, WU F, LIU F, et al. A model for point cluster displacement in automated generalization[J]. Science of surveying and mapping, 2005, 30(2): 44-47. (in Chinese)
- [5] 刘晴,郭庆胜,龙毅.比例射线移位算法的改进及其应用[J].测绘工程,2015,24(12):68-71.
LIU Q, GUO Q S, LONG Y. The improvement and application of proportional radial displacement[J]. Engineering of surveying and mapping, 2015, 24(12): 68-71. (in Chinese)
- [6] MACKANESS W A. An algorithm for conflict identification and feature displacement in automated map generalization[J]. Cartography and geographic information systems, 1994, 21(4): 219-232.
- [7] TAUSCHER S, NEUMANN K. A displacement method for maps showing dense sets of points of interest[C]//GARTNER G, JOBST M, HUANG H S. Progress in cartography. Switzerland: Springer International Publishing, 2016: 3-16.
- [8] BEREUTER P, WEIBEL R. Real-time generalization of point data in mobile and web mapping using quadrees[J]. Cartography and geographic information science, 2013, 40(4): 271-281.
- [9] AHUJA N. Dot pattern processing using Voronoi neighborhoods[J]. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 1982, 4(2): 336-343.
- [10] EDWARDES A, BURGHARDT D, WEIBEL R. Portrayal and generalisation of point maps for mobile information[C]//MENG L, ZIPF A, REICHENBACHER T. Map-based mobile services-theories, methods and implementations. Berlin: Springer-Verlag, 2005: 11-30.
- [11] 严浩,沈婕,朱伟.线光滑算法效率优化方法研究[J].南京师范大学学报(工程技术版),2012,12(2):87-92.
YAN H, SHEN J, ZHU W. Research on efficiency optimization of curve smoothing algorithms[J]. Journal of Nanjing normal university (engineering and technology edition), 2012, 12(2): 87-92. (in Chinese)

[责任编辑:严海琳]