

文章编号:1001-9081(2006)05-1202-03

Voronoi 分割模式下连锁企业物流配送系统的设计与实现

严洁云, 石松, 肖桂荣

(福州大学 福建省空间信息工程研究中心 数据挖掘与信息共享教育部重点实验室,福建福州 350002)

(fuzzy. xyz@163. com)

摘要:综合考虑城市连锁企业物流配送的特点和 Voronoi 多边形的几何特性,提出 Voronoi 分割模式下连锁商店市场域划分的计算几何的方法,从而实现连锁商店配送区域的自动划分,以此为基础,对传统的运输巡回路线算法进行了优化,并将二者集成到城市连锁企业物流配送系统中。阐述了该系统的组织框架,并以福建省福州市为研究背景,以福州市著名仓储式连锁企业(某超市)为研究对象,列举了该系统的应用。结果表明,该系统对连锁企业的经营决策有较大的应用价值。

关键词:Voronoi 多边形;连锁企业;物流配送;市场域;旅行商问题;插队算法

中图分类号: TP311.52 文献标识码:A

Design and implementation of chain enterprise logistics distribution system based on voronoi tessellation

YAN Jie-yun, SHI Song, XIAO Gui-rong

(Key laboratory of Data Mining & Information Sharing of Ministry of Education,
Spatial Information Research Center of Fujian Province, Fuzhou University, Fuzhou Fujian 350002, China)

Abstract: Analyzing the characteristics of logistics distribution in city chain stores and the geometrical characteristics of Voronoi polygon, an approach of computational geometry for plotting market area of the chain stores was developed based on Voronoi tessellation so as to realize plotting distribution area automatically, the algorithm of traditional transport routing was optimized and then they were integrated into the logistics distribution system of city chain stores. The organization framework of the system was introduced particularly with the application to a Supermarket, which is a famous storage chain store in Fuzhou. It is showed that the system has much practical value for the management of chain stores.

Key words: Voronoi polygon; chain enterprise; logistics distribution; market area; TSP; nested queue-jumping algorithm

0 引言

设计高效实用的物流配送策略,以最低的成本、最快的速度完成配送任务是现代每个物流企业的核心目标。近几年来,连锁经营在我国得到迅速发展。其特点表现为网点数量多,分布比较分散,需求量一般较小,但更注重实时性。传统的物流配送模型没有充分考虑到供货点和需求点的空间布局,这对于连锁企业的商品送货过程存在严重缺陷。

物流实质上是实体在时间和空间上的位移,具有空间尺度和空间特征的性质^[1],GIS 作为解决涉及地理空间问题相关数据的采集、储存、检索、分析和应用的计算机系统^[2],因此将 GIS 技术与物流技术进行整合,并针对连锁企业中客户分布、商店分布、送货路径等重要信息与地理空间有较强依赖性的特点,则可在技术层面上形成强大合力从而实现对连锁商业企业配送体系进行分析及管理。

Voronoi 图是计算几何中一种几何结构,在 GIS 中常作为城市空间影响范围界定、气象观测、公共服务设施选址等领域的分析工具,它能对整个二维空间实施完全划分,分割后形成了若干互不重合的子区域,每个区域有且对应唯一一个控制点。在本文中,这些控制点将视为连锁企业体系中的供货点,而每个 Voronoi 多边形区域可视为该多边形内供货点的市场域,其商品配送任务集合起来形成一个任务组。作者基于上述思想,将 GIS 空间分析技术与连锁物流配送体系分析和管理相结合,采用 VC++ 6.0 为开发平台,设计了基于 Voronoi

分割模式的城市连锁企业物流配送系统。

1 系统体系结构

1.1 系统逻辑结构

本系统设计为三层结构,自底向上依次为数据资源层、业务逻辑层、可视化表达层。其逻辑层次结构如图 1 所示。

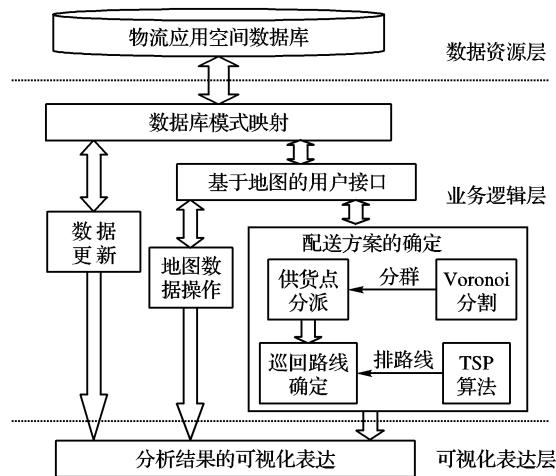


图 1 系统逻辑结构

1.2 系统功能结构

系统的功能结构是系统逻辑视图在用户视图上的体现。图 2 是采用统一建模语言 (UML) 中的用例图来描述的系统

收稿日期:2005-11-24;修订日期:2006-01-04 基金项目:城市物流空间信息服务项目建设项目(JA04153)

作者简介:严洁云(1980-),女,福建福州人,硕士研究生,主要研究方向:现代物流工程与移动定位服务;石松(1976-),男,博士研究生,主要研究方向:三维 GIS、虚拟地理环境、空间分析;肖桂荣(1972-),男,博士研究生,主要研究方向:网络信息共享、物流空间信息服务。

功能结构。

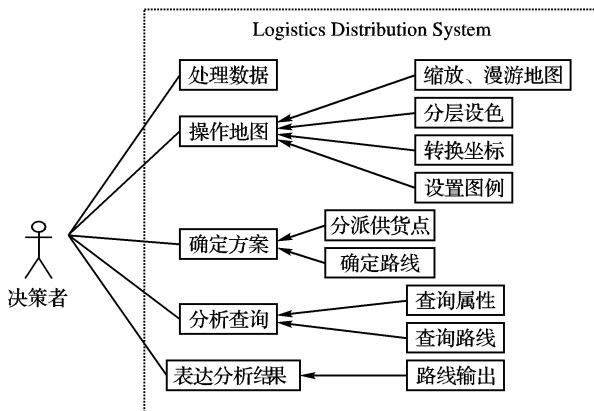


图2 系统功能结构

2 核心子系统的设计与实现

车辆路径问题(Vehicle Routing Problem, VRP)是目前连锁业物流配送中亟待解决的难点,是组合优化领域中著名的NP难题,而组合优化问题的一个重要特征就是其NP完备性(nondeterministic polynomial time complete),即对问题进行求解的时间复杂度与优化变量的个数成指数关系^[3]。许多学者从不同的层面对该问题进行了研究,其中比较典型的是扫描法(Sweep Method)的思想,即先分群再排路线(Cluster First-Route Second)^[4],该思想为解决城市连锁物流配送问题提供了范式。本文沿用其思想,把城市连锁物流配送分析和求解分两个步骤实现:供货点分派和巡回路线确定。

2.1 基于Voronoi多边形空间查询的供货点分派设计

供货点分派问题的实质是根据需求点所在的空间位置,从空间上分布的n家连锁商店中快速准确地确定配送商品的最佳送货商店。这属于地理学和区域经济学中区位理论的研究范畴,因此,我们可以根据地理区位理论,利用GIS空间分析中的梯森分割(Thiessen Tessellation)理论,以空间距离最短为原则导出Voronoi多边形结构的市场域,从而把多个在地理上分散的需求点对每个供货点进行分派,确定每个供货点负责供货的需求点集合。

2.1.1 Voronoi图的定义及相关特性

定义^[5] 设平面上的一个控制点集 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, 其中任意两点都不共位, 即 $p_i \neq p_j$ ($i \neq j, 1 \leq i, j \leq n$), 且任意四点不共圆。则任意点 p_i 的Voronoi多边形为:

$$T_i = \{x : d(x, p_i) < d(x, p_j) \mid p_i, p_j \in P, p_i \neq p_j\}$$

在此, d 为欧氏距离。各点的Voronoi多边形共同组成Voronoi图,其示意图如图3所示。

Voronoi图又称梯森多边形(Thiessen Polygons)或梯森分割,其与本文讨论问题相关的几个重要特性如下^[6]:

(1) 势力范围特性

每一个空间控制点唯一对应一个Voronoi多边形。对一个控制点而言,凡落在其Voronoi多边形范围内的离散点均距其最近。因此,该Voronoi多边形在一定程度上反映了其空间影响范围,或称势力范围(Gold, Nantel and Yang, 1996)。若某个控制点被删除,其相应的影响范围(Voronoi多边形)也随之消失。而对二维空间中的任意一个离散点来说,除非其位于公共边上,否则必然落在一个Voronoi多边形内,即处于一个控制点的势力范围之中。

(2) 侧向邻近特性

在实际的地理空间中,两个侧向相邻的空间实体 p_i 和 p_j 不一定相连,由于 p_i 和 p_j 之间不存在任何其他实体(即直接相邻)时,它们的Voronoi多边形必有一条公共的边,因此只

要根据 p_i 和 p_j 是否具有公共的Voronoi边,即可判断两者之间是否侧向相邻。除了公共边之外,Voronoi图中的诸Voronoi多边形互不重合,且构成对整个二维空间的完全划分。

(3) 局域动态特性

删除或增加一个空间控制点,一般只影响6个左右的相邻空间控制点。换言之,对Voronoi图的修改只影响局部范围,这一特性使得Voronoi图的构建具有局域动态特性。

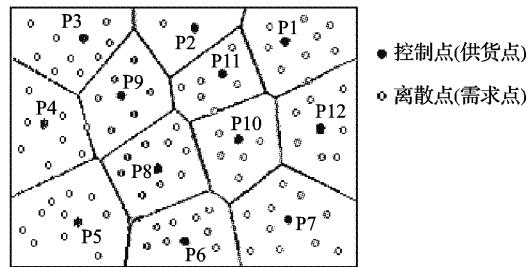


图3 Voronoi多边形示意图

2.1.2 Voronoi多边形市场域划分

据前所述,Voronoi多边形可以理解为对空间的一种无缝分割方式,即一个Voronoi多边形内的任意一点到该多边形内控制点的距离都小于到其他Voronoi多边形内控制点的距离。距离是影响配送成本的重要要素之一,为了使配送成本达到最小,需求点应该由距其最近的供货点供货才是合理的。因此,可以将Voronoi多边形内的控制点和离散点分别理解为分布在地理空间上的供货点和需求点,Voronoi多边形即可理解为供货点的空间影响(服务)范围或称市场域,如图3所示。

对于分布在地理空间上的n个商店,对任意相邻的商店计算市场域分界线,这些分界线的连接就构成了连锁商店的市场域划分。此时,Voronoi多边形是最短空间距离意义上供货点的市场域,在对某一供货点 p_i 分派供货时,只要是落入以 p_i 为控制点的Voronoi多边形内的需求点,就是该供货点的送货对象。

将福建省福州市的交通道路图层与某连锁商店的空间分布数据图层叠加,利用Voronoi多边形工具,就能快速确定每个连锁商店的市场域,进而求解每个供货点所负责送货的需求点的集合问题,以实现物流配送对象的优化选择(如图4)。

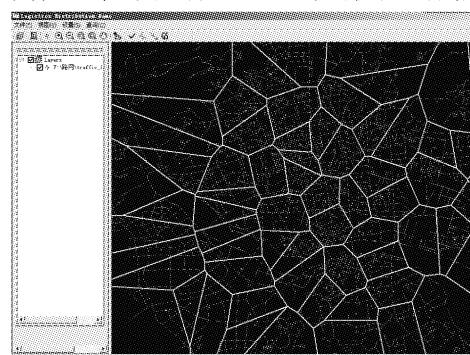


图4 交通道路图层与Voronoi多边形市场域的叠加

Voronoi多边形的建立不需要在线进行,当有连锁商店新建或拆除时,只需利用该系统重新计算Voronoi多边形的市场域,并更新需求点所属的配送商店的属性值,这样就显著提高了系统的运行效率。

以此为基础,可进一步在每个配送分区确定优化的巡回路线来送货。

2.2 巡回路线确定的算法设计

运输巡回路线问题本质是典型的旅行商问题(TSP),是VRP问题的基本问题,其重要特征是其NP完全性。所以一般很难精确地求出其最优解,因此在求解该问题时首先寻求

可行解,然后进行适度优化,以达到逼近最优解的目的。

许多学者都对 TSP 问题进行了深入的研究,其中,翟东海在 2003 年提出一种求解 TSP 问题的近似算法——插队算法^[7],结合了启发式算法和随机化算法以及局部寻优的思想,算法原理是以插入线路后增加的里程数最少为原则,逐步把需求点连接在一起,直到形成一条完整的运输线路。本文沿用其思想,并在此基础上加以改进,将其应用于对划分好的每个 Voronoi 多边形内的车辆巡回路线优化问题的求解,以使其能更好地适用于城市连锁商店的商品送货上门服务。

改进的插队算法描述如下:假设用二维数组 $C[n][n]$ 来构造带权无向图的邻接矩阵, $C[i][j] (i, j \in N)$ 表示弧 $< i, j >$ 上的权值(这里为两个需求点 i 和 j 之间的实际距离)。把需求点 $k (k \in N)$ 插入队列后增加的里程数为 ΔL ,若插在需求点 i 和 j 之间,则:

$$\Delta L = C[i][k] + C[k][j] - C[i][j]$$

若 k 插到 j 后,则

$$\Delta L = C[j][k] + C[0][k] - C[j][0]$$

0 为线路起点。

第 1 步:生成配送分区内所有需求点的一个随机全排列,用它来构造初始行车队列,选取供货点 0 作为线路起点;

第 2 步:初始行车队列中的起点(供货点 0)和前两个需求点 i, j 的次序固定,用它们来构造一个新的小循环队列,作为优化行车队列的雏形,记为 $0-i-j$;

第 3 步:把初始行车队列中的第 4 个需求点 k 插入这个新队列,不同的插入位置会导致不同的里程增量,最终的插入位置必须使得插入以后的里程增量最小,即 ΔL 最小;

第 4 步:重复执行上一步,把初始行车队列中剩下的需求点插入新队列,插入过程与上一步类似,直到所有需求点都插入行车队列中为止,最终得到的队列就是从供货点 0 出发到各个需求点的一条可行路线,记录下该条路线并计算相应的总里程;

第 5 步:从不同的随机全排列开始,进行多次计算,比较所得到的若干条备选配送路线的行驶距离,取其中的最小值,作为本模型的近优解或满意解。

与其他求解 TSP 问题的算法相比,该算法具有时间复杂度低,解的质量稳定,算法结构清楚,实现简单的优点,其思想方法给求解其他 NP 难题的组合优化问题具有参考价值。

3 应用示例

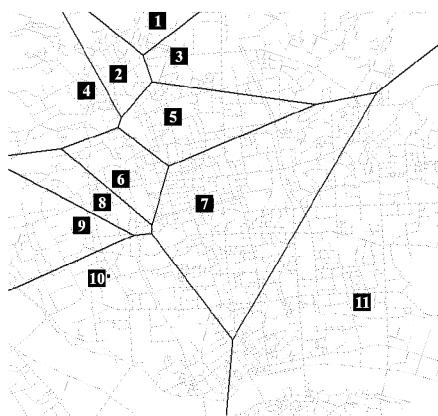


图 5 以福州某超市为应用示范的 Voronoi 分割情形

以福州市著名仓储式连锁企业(某超市)为例,根据所收集的空间数据和属性数据,建立关于该超市的地理信息数据库。利用 Voronoi 分割对该超市进行任务分派,以空间距离最短为原则导出了分布在平面地理空间上的 11 个超市各自的市

场域,如图 5 所示(为便于阅读,对图 5 和图 7 进行了反色处理)。现以图 5 中的 Voronoi 多边形 7 为市场域为例来讨论该市场域中的巡回路径。以其中的生鲜超市为供货点(用 0 表示),向其周围的几个客户 1,2,⋯,8 送货。图 6 中的邻接矩阵用以表示配送网络内任意两个物流设施(供货点和需求点)之间的距离关系(单位:公里),图右边为用插队算法计算 12 次所得结果,并在其中选出一条最短的路径作为已知最优解,程序运行界面如图 6 所示。图 7 和图 8 分别是图 5 中 Voronoi 多边形 7 的市场域在矢量图层和电子地图中的显示,即以津泰路连锁店为供货点,向周围的客户送货的路径优化图。

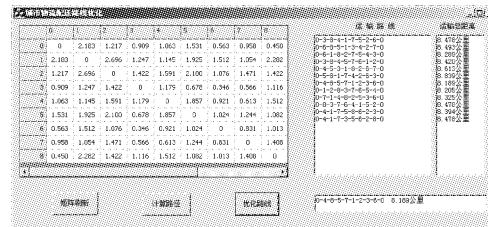


图 6 配送系统插队算法求解程序运行界面

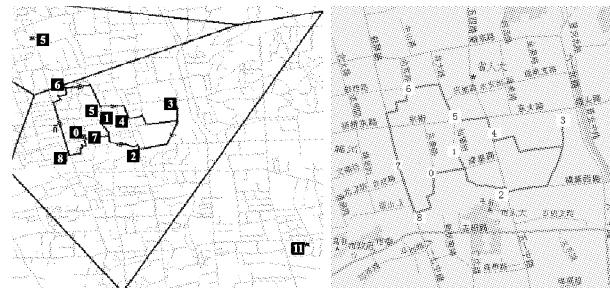


图 7 以矢量图层为背景



图 8 以电子地图为背景

4 结语

本文把城市连锁企业物流配送系统中的商品配送问题分解为两个步骤,即供货点分派和巡回路线的确定。在 GIS 中空间分析技术的支持下,引入计算几何中的 Voronoi 图,利用其相关特性,实现基于 Voronoi 多边形空间查询的连锁商店市场域的自动划分,Voronoi 多边形不仅能确定最短空间距离意义上连锁商店的市场域,而且确定了由距离需求点最近的供货点提供配送服务的方案;同时改进用于求解 TSP 问题的插队算法,实现了算法的优化。

该系统是建立在最短距离意义上的物流配送应用系统,避免了大量的在线计算,提升了系统的效率,较好地实现了合理路径运输,从而节约了运输成本,为连锁配送类型的企业经营决策提供了新的技术方法。

参考文献:

- [1] 霍亮. 3G 技术与现代物流管理技术的集成及应用研究[D]. 武汉: 武汉大学博士学位论文, 2002.
- [2] 周成虎. 地理信息系统的透视[J]. 地理学报, 1995, 50(增刊): 1-14.
- [3] 王耀臣. 基于 ITS 的物流配送方案智能决策支持系统的仿真设计与实现[D]. 北京: 北京邮电大学硕士学位论文, 2003.
- [4] WU XY. A Study on Selecting the Shortest Routes by Voronoi Diagram in Route Networks of GIS[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2000, 8(2): 184-190.
- [5] 郭仁忠. 空间分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [6] 陈军. Voronoi 动态空间数据模型[M]. 北京: 测绘出版社, 2002.
- [7] ZHAI DH. Nested Queue-Jumping Algorithm for Solving TSP[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications, 2003, 15(3): 51-56.