

基于 GIS 的城市生活垃圾收运管理系统

刘炳凯¹, 何其昌¹, 范秀敏¹, 朱明华¹, 刘 益²

(1. 上海交通大学计算机集成制造研究所, 上海 200030; 2. 上海市浦东新区固体废弃物管理署, 上海 200135)

摘 要: 针对城市生活垃圾快速增长所带来的收运成本增加以及居民生活环境恶化等问题, 提出基于地理信息系统(GIS)的垃圾收运管理系统设计方案, 包括系统结构、数据库模型等, 采用扫描与分支定界相结合的算法实现垃圾收运的调度优化。选择某地区的一部分收运线路进行实验, 结果表明, 系统能方便有效地进行垃圾管理并减少收运成本。

关键词: 地理信息系统; 垃圾管理; 优化调度

Municipal Waste Collection and Transportation Management System Based on GIS

LIU Bing-kai¹, HE Qi-chang¹, FAN Xiu-min¹, ZHU Ming-hua¹, LIU Yi²

(1. Computer Integrated Manufacture Institute, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030;

2. Shanghai Pudong Solid Waste Administrator Office, Shanghai 200135)

【Abstract】 Aiming at the problems that a rapid increase of municipal waste results in an enlargement of collection and transportation fee and pollution in people's surrounding, a waste collection and transportation management system based on GIS is studied and designed in terms of system structure and database models. An algorithm combining the scanning algorithm and the branching and bounding algorithm is applied for optimizing routines of waste trucks in the system. Experimental results in some area demonstrate that the system is effective and practical for waste management and decreases the fee of waste disposal.

【Key words】 Geographic Information System(GIS); waste management; optimized regulation

1 概述

随着城市人口的急剧膨胀和城市规模的不断扩张, 城市生活垃圾数量迅速增长, 分布持续扩散。我国城市生活垃圾产生量大, 不少城市陷入生活垃圾的包围之中, 阻碍了城市的发展, 对周围环境造成严重污染和破坏^[1]。迅速增长的城市生活垃圾带来了诸多问题, 包括因收集不及时而造成的垃圾堆积、储运过程的不严格造成的间接污染, 以及终端处理后可能造成的二次污染。

地理信息系统(Geographic Information System, GIS)技术在城市生活垃圾处理领域的研究和应用主要有以下几种: 文献[2]使用 GIS 技术决策系统帮助政府更加合理有效地对填埋厂进行选址; 文献[3]将 GIS 作为决策支持工具来规划垃圾管理, 主要是用来决定垃圾桶的位置; 文献[4]基于 GIS 系统优化大城市生活垃圾中转站的选址过程。这些 GIS 技术的使用和扩展主要聚焦于诸如垃圾收集点、中转站、填埋厂等垃圾相关设施的选址辅助决策。

然而, 城市环境问题是人工物流过程与自然物流循环过程的不协调而产生的, 环境的改善要靠协调两者矛盾的行动^[5]。因此, 为减少不必要的生活垃圾污染、改善城市生活环境, 应综合考虑城市生活垃圾收运过程中收集、运输、中转和处置等各个阶段和方面, 获取这些阶段和方面的相关信息, 综合分析和处理从而使垃圾收运过程中的信息得以整合, 达到资源优化配置和垃圾的高效、经济处理。基于 GIS 的系统可以利用其大数据处理和快速可视化的能力, 以方便、直观和易理解的方式管理城市生活垃圾收运过程涉及的各个阶

段和各个方面的信息。

2 城市生活垃圾收运管理系统分析与设计

2.1 系统需求分析

城市生活垃圾收运流程涉及收集、运输、中转和处置 4 个过程。系统涵盖这 4 个过程中的各个环节, 研究成为集垃圾处理设施管理、收运作业任务管理、运输车辆监控及优化调度、垃圾处置量统计等功能于一体的信息化管理系统, 并充分利用 GIS 大数据处理和数据快速可视化能力, 实现通用地理信息系统功能、生活垃圾专用属性查询、运输车辆实时跟踪、运输车优化调度、优化路径可视化分析。

从实物(垃圾)流向看, 垃圾产生后经运输系统到达 3 种处理方式站点, 分别为焚烧处理厂、生化处理厂和卫生填埋厂, 中转过程包含在运输系统中。从信息流向看, 该系统根据历史垃圾数据所预测的近段时间垃圾产生量、各处理厂实际处理垃圾的能力、城市道路路况信息以及运输系统车辆状况等数据, 经统计、分析、优化产生运输车辆的最优作业路径并以此调度运输系统。另外, 该系统使用 GPS 和无线通信技术实现运输系统的监控, 以规范和优化运输系统作业。

基金项目: 中意合作大区域垃圾处理系统智能管理基金资助项目(C/II/S/07/025)

作者简介: 刘炳凯(1982—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 系统仿真, 虚拟现实; 何其昌, 讲师、博士; 范秀敏, 教授、博士生导师; 朱明华, 博士研究生; 刘 益, 硕士

收稿日期: 2008-09-12 **E-mail:** liubing kai@gmail.com

城市生活垃圾收运管理系统模型如图 1 所示。

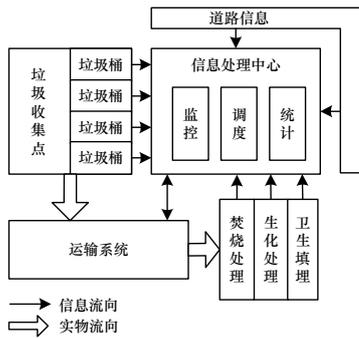


图 1 城市生活垃圾收运管理系统模型

2.2 系统结构

城市生活垃圾收运管理系统采用层次化设计方案，系统层次结构如图 2 所示。

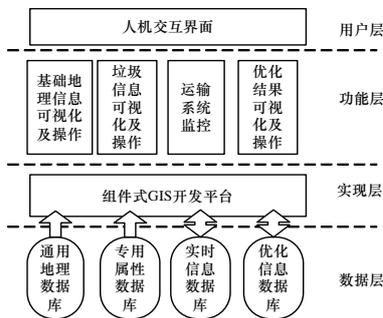


图 2 系统层次结构

按逻辑分为 4 层：数据层，实现层，功能层和用户层。

数据层为系统提供数据支持，是系统运行的基础，包含 4 个数据库：

(1)通用地理数据库存储基于 GIS 的系统所使用的地理元素空间位置信息，采用文件数据库的形式存储，并以此为地图可视化和运输系统的优化调度提供地理数据支持。

(2)专用属性数据库提供诸如垃圾收集点、中转站、处置厂、运输系统数据等垃圾直接相关数据的存储。

(3)实时信息数据库接收来自运输系统的运输车辆 GPS 坐标，并向系统提供此类数据服务。

(4)优化信息数据库接受系统根据历史相关垃圾产生以及各垃圾处置相关单位处理能力数据得出的运输系统优化信息，并反馈此类信息。实现层使用 GIS 组件式开发工具实现数据服务功能。功能层具体表述 4 大功能：基础地理信息可视化及操作，垃圾信息可视化及操作，运输系统监控和优化结果可视化及操作。用户层为人机交互界面，为用户提供友好交互接口。

3 城市生活垃圾收运管理系统的实现

3.1 数据建模

城市生活垃圾收运管理系统的数据库管理包括预处理和一般处理 2 部分。预处理是指系统运行之前的数据准备工作，其包括对地理信息基础数据(Shapefiles 格式文件)的检查和修复、道路网络拓扑结构生成以及处理设施(停车场、收集点、中转站、处理厂等垃圾运输相关设施)间的最短路径搜索。预处理的结果数据按一定的数据模型存储在数据库中，作为后

续处理，包括优化调度、可视化等的基础数据。针对某一地区的垃圾处理系统数据，预处理通常只须处理 1 次，只有在垃圾处理系统数据发生变化时，如道路重建、新建处理设施等时，才需要重新计算。一般处理指专用属性数据可视化、优化模型校核、动态模拟演示等，这些需要实时处理，数据只是暂时使用，系统基于 GIS 组件来实现这些功能。

预处理生成的数据存储于数据库中，设计的数据库模型如图 3 所示。垃圾收集点、中转站、停车场、处置厂等因其均被垃圾运输车不间断访问的性质抽象为处理设施，具有空间位置属性。但是，因为地理数据按属性层存储，层层之间的地理几何数据存在偏差，垃圾处理设施为点状结构图层，而道路为线状结构图层，所以在数据层面上处理设施往往偏离道路，即无通往处理设施的道路。另外，许多处理设施(尤其是垃圾收集点)在地理位置上比较接近，并且在实际中也是由运输车辆一次到达的。因此，系统经过预处理部分提取道路上合适点作为运输车辆访问点，建立访问点和处理设施间的一对多关系，即一个处理设施能且只能属于一个访问点，一个访问点可关联多个垃圾处置对象。基于访问点概念，预处理计算两两处理设施对应访问点间的最短路径，从而减轻了优化模型的处理复杂度，满足运输车辆实时优化调度的要求。

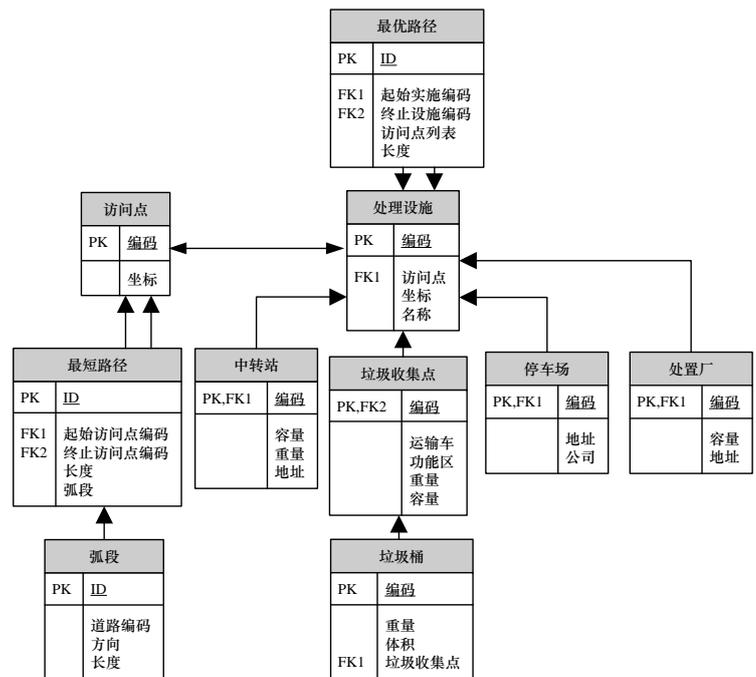


图 3 系统数据库模型

3.2 垃圾收运调度优化

在城市生活垃圾收运管理系统中，运输系统是其核心实施单位，也是收运过程成本花费所在。城市生活垃圾收运管理系统通过预处理部分生成两两处理设施对应访问点间的最短路径并存储入数据库(见图 3)。最短路径以起始访问点和终止访问点为特征属性，即起始和终止访问点均相同的最短路径只存在一条。并且弧段(最短路径的中间路段)采用道路编码和方向 2 个属性表达其在某条最短路径中的形状和连接顺序，道路编码对应道路图层 shapefiles 文件内部编码，方向指其所属最短路径的顺序。

系统建立了垃圾收运优化调度的多目标优化模型，并采用扫描算法与分枝限界法^[6]结合的 2 阶段算法进行求解。首

先由扫描算法将大区域垃圾收运路线优化问题分为满足约束条件的小组，再通过分枝限界法对各组进行优化，以获得组内最优路线，间接得到大区域垃圾收运的较优路线。

扫描算法示意图如图 4 所示。

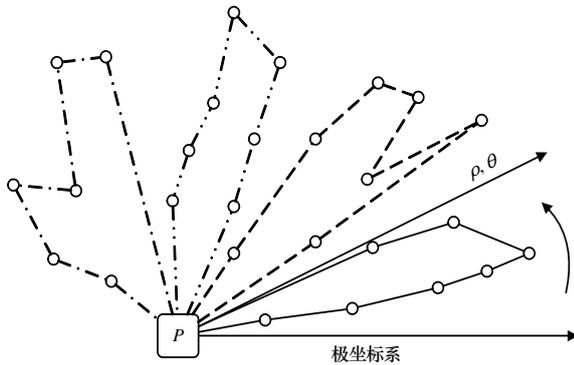


图 4 扫描算法示意图

扫描算法(Sweep Algorithm)的求解过程如下：

- (1)以起始点为原点建立极坐标系；
- (2)计算每个点与极轴构成的角度；
- (3)从最小角度的点开始并兼顾约束条件，按逆时针方向将客户逐个加入到当前组中，直到不满足约束条件后建立 1 个新组；
- (4)重复(3)，直到将全部收集点都加入到组中。

分枝限界法指采用广度优先产生状态空间树的节点，并使用剪枝函数的方法。按照广度优先的原则，一个活节点一旦成为扩展节点(E-节点) R 后，算法将依次生成它的全部孩子节点，并将它们一一加入活节点表，此时 R 自身成为死节点。算法从活节点表中另选一个活节点作为 E-节点。

4 原型系统开发

4.1 系统功能

系统以上海市浦东新区近几年某地垃圾产生量的记录数据为基础，使用 GIS 组件式开发工具 MapObjects^[7]，通过对地理数据的编辑和处理以及与属性数据的捆绑连接实现其功能，从而以最直观的方式满足数据查询、分析建模、垃圾收集分析区划、优化结果可视分析、垃圾信息显示和运输车辆的实时监控等要求。

系统最终实现的功能主要包括：

(1)基础地理数据操作

实现地理信息系统的图层操作、查询操作，包括点查询、线查询、矩形查询、多边形查询和表达式查询，以达成信息的方便视图和简易管理。

(2)垃圾信息属性管理及操作

以可视化的方式实现特定位置点、特定区域垃圾相关设施的查询，统计查询区域内记录垃圾产生量，设定运输车辆运输范围。

(3)垃圾收运调度优化

提供给优化模型 2 个垃圾处置对象间的最短路径以及所要求的车辆运输范围和垃圾收集点，直观展示优化模型得出的车辆路径。

(4)运输车辆实时跟踪

作为一套管理系统，应规范运输车辆在作业过程中的行为，不能跨区作业，不能遗漏垃圾收集点，做到日产日清。通过 GPS 和远程无线通信技术，车辆实时跟踪可以有效监管车辆，保证车辆规范作业。

这些功能的实现为管理者从全局的角度分析垃圾产生分布、规划垃圾收集设施、分配垃圾运输能力、均化垃圾终端处置量等的实现提供了可能。

4.2 应用实例

本文以上海市浦东新区作为试点区域对基于 GIS 的城市生活垃圾收运管理系统进行了验证，其支持的各项功能大大方便了垃圾的收集和流向管理，尤其是为垃圾信息的整合和分析提供了高效平台。

图 5 为该系统的人机界面。背景图层显示浦东区地理形状，道路图层显示浦东道路分布，它们属于通用属性数据。功能区、垃圾收集站、焚烧厂、停车场和小压站等图层属于专用属性数据。

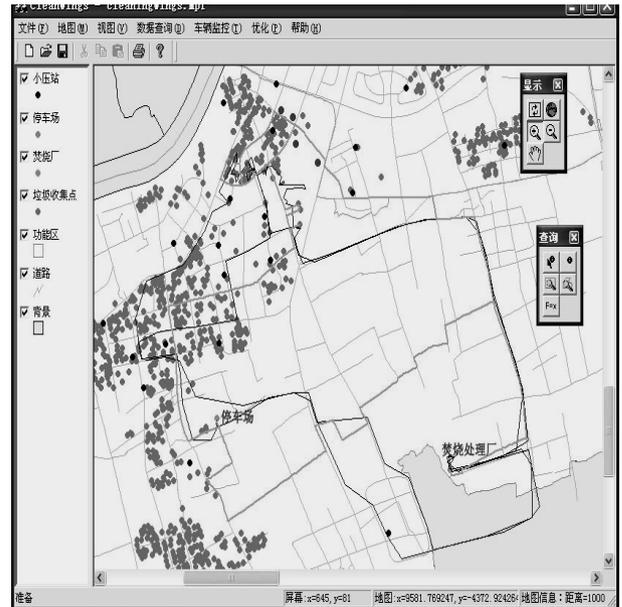


图 5 垃圾收运调度优化路径

该管理系统使管理者能直观地查看垃圾管理的分区状况(功能区划分)、垃圾收集点分布、运输车辆的运输状态，诸如焚烧厂、中转站、停车场等垃圾处置设施的分布状况等。图 5 界面左栏以图层的方式管理上述数据，并能以不同的图层状态和标签形式显示。同时，该管理系统为管理者直观展示运输车辆的实时位置信息，以实现垃圾运输车按规定路线、规定时间运行，而不能跨区作业、违章操作等，即垃圾运输的规范操作。该管理系统调用优化模型产生最优路线并可与运输车实际运营路线进行比对。因此，可根据不同的优化目标直观方便地校核、调整优化目标，并提供给运输车辆相应的作业路线。优化线路严格地与实际地图道路重合，而实际线路因 GPS 设备误差不可避免存在不重合现象。图 5 中运输车从焚烧处理厂回停车场实际路线与优化路线有较大差异，这是因为所获得的地理基础数据不完备。

5 结束语

本文以上海市浦东新区垃圾收运管理系统为例，讨论了基于 GIS 的城市生活垃圾收运管理系统的设计及关键技术，将通用地理数据和垃圾专用数据进行预处理，提供给优化模型，同时对优化模型的结果进行可视化。城市生活垃圾收运管理系统对 GIS 技术应用在生活垃圾处理行业进行了实践性探索。下一步可以考虑在城市生活垃圾收运管理系统中采用 WebGIS 技术，更方便管理者使用，提高管理效率。

(下转第 279 页)