

文章编号:1005-0523(2016)03-0074-05

基于 ArcEngine 的交通运行监测系统设计与实现

党倩, 王维锋, 丁闪闪, 刁含楼

(江苏省交通规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210014)

摘要:路网交通运行状况的实时动态监测对交通管理部门实施交通管理及诱导具有重要意义。通过进行道路交通运行监测的需求分析及架构设计,基于 ArcEngine 开发平台,采用 C#.NET 语言开发了城市路网交通运行监测系统。结合路网浮动车基础数据,借助 ArcEngine 强大的空间分析技术,实现浮动车辆的跟踪诱导、路况识别、路况预测及历史分析等功能,促进城市交通管理的可视化、信息化。

关键词:城市路网;交通运行状态;动态监测;ArcEngine

中图分类号:U491 文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2016.03.012

随着城市机动车辆保有量的持续增长及出行需求的不断增加,交通供需矛盾日益突出,交通拥堵逐渐成为制约城市社会发展的重要瓶颈,如何实施科学有效的交通管理,缓解城市交通的拥堵态势是交通管理部门的工作重点。在智能交通系统中,交通运行监测是减少城市拥堵、改善城市交通状况的重要途径,其关注的重点及难点是针对城市复杂的道路环境,实时动态地对交通状况进行判别及预测分析。近年来,随着 GIS(geographic information system,地理信息系统)技术的逐渐发展,交通地理信息系统的发展越来越受到关注^[1-5]。借助于 GIS 技术强大的地理数据可视化功能、空间数据库管理功能及空间分析功能,基于 GIS 的交通运行监测研究已成为城市交通的研究热点。

ArcEngine 是 ESRI 公司推出的包含完整类库的高级 GIS 组件^[6],其支持多语言、多应用程序的 API 接口,通过对类库、接口的扩展或定制开发,可实现自定义地理信息系统的开发,以满足对地图数据的管理、存储及空间分析等操作。基于 ArcEngine 开发出的 GIS 应用系统最大的特点就是能够完全脱离 ArcGIS 软件系统而独立运行^[7]。借助 ArcEngine 完善的 API 接口及其二次开发的多应用程序兼容性,以南京市路网结构为例,通过对道路浮动车辆的数据采集及挖掘,结合路网结构的空分析,提出一种基于 ArcEngine 的交通运行监测系统。该系统能够实现城市道路交通运行状态的实时判别、动态预测及历史态势分析,为交通管理部门实施交通诱导与控制提供重要依据。

1 交通运行监测系统设计

1.1 系统功能需求分析

通过结合道路基础数据,交通运行监测系统可实现道路交通运行状况的实时判别及预测。系统基础数据包括路网地图数据、浮动车数据、视频数据等,以城市交管部门为主要服务对象,结合其实际业务应用,从车辆管理、路况管理及决策分析 3 个层面分析展开需求分析,主要包括:

收稿日期:2015-12-02

基金项目:江苏省交通科学研究计划项目(2012X07-1);江苏省交通规划设计院博士后基金(KY2013022)

作者简介:党倩(1989—),女,工程师,硕士,主要研究方向为智能交通技术研发及应用。

通讯作者:王维锋(1979—),男,高级工程师,博士,研究方向为智能交通系统工程。

1) 车辆管理需求。实现车辆的地图搜索及定位、历史行驶轨迹的重绘及实时跟踪、调度指挥的路径规划及道路车辆密度的实时监控,且以图形符号化展示的形式实现车辆的可视化管理。

2) 路况监测需求。以浮动车、视频数据为基础,实现道路交通实时通行状况的等级划分、道路路况短时预测及区域交通运行状况的实时监测,且以颜色等级区分道路交通状况,针对视频监控路段,可实时观测路段监控视频图像,实现路况的直观监测。

3) 决策分析需求。针对系统采集的基础数据,挖掘分析道路、区域总体交通运行状态,并借助于图表形式为管理决策提供依据。

兼顾道路基础数据及交通状况监测的管理需求,交通运行监测系统在功能上主要实现浮动车辆管理、路况管理及决策分析等内容,实现对城市路网交通状况的可视化管理及控制。

1.2 数据库设计

交通运行监测系统的核心功能是对道路交通运行状况的实时监测,道路交通数据作为交通运行监测的基础依据,多种数据源的数据对接及空间融合对系统整体的稳定性及准确性具有重要意义。根据基础数据的变化状态,系统基础数据可分为动态数据和静态数据。

动态交通数据是指数据内容随时间发生变化的基础交通数据,主要包括道路浮动车数据及视频监控数据,由交管部门基础数据存储系统提供。由于不同数据源获取的基础数据格式存在差异性,且随着时间的变动,获取的基础数据量较大,因此动态数据库创建应兼顾不同数据源数据的兼容性及存储性能。SQL Server 数据库是具有 C/S 架构、稳定的数据仓库功能及良好的可伸缩性的数据库解决方案,系统采用 SQL Server 2008 R2 建立动态交通数据库,各基础数据表结构如表 1 所示。

表 1 动态交通数据表结构
Tab.1 Structure of dynamic traffic data

浮动车数据表结构			视频监控数据表结构		
字段名	数据类型	说明	字段名	数据类型	说明
VehicleID	nvarchar(20)	车牌号	RoadName	nvarchar(20)	道路名称
ComName	nvarchar(50)	车队名称	VideoName	nvarchar(20)	视频名称
Speed	float	车辆速度	VideoSavePath	nvarchar(100)	视频存储位置
Direction	float	行驶方向	TimeFlag	Date	时间
Longitude	float	经度			
Latitude	float	纬度			
TimeFlag	Date	时间			

静态数据即是路网空间数据,主要包括与空间信息密切相关的地理特征信息和描述信息,如城市路网空间结构数据、道路属性数据等,数据格式为二维静态电子地图。Geodatabase 数据库是存储和管理地理空间数据的地理要素数据集,实现了严格意义上的地理空间数据、连续空间要素的无缝存储以及对对象属性的整体约束^[8]。Geodatabase 数据库主要实现了对系统道路属性信息的存储和管理,其数据结构表 2 所示。

表 2 静态空间数据表结构
Tab.2 Structure of static space data

字段名	类型	说明
RoadID	整数型	道路编号
Shape	字符型	形状描述
Name	字符型	道路名称
CompassA	双精度型	道路方向

2 基础数据

2.1 数据采集及获取

交通运行监测系统数据工程主要包括浮动车数据和视频图像数据的采集及获取,其数据采集及传输方案如图 1 所示。其中,浮动车数据主要由道路浮动车车载定位终端实时上传其位置及速度信息至交管部门数据中心数据库服务器,本系统通过数据同步订阅的方式实现浮动车基础数据的同步获取。视频图像数据主要来自交管部门的道路监控,系统根据视频图像调用协议以接口调用的方式实现视频图像的获取。

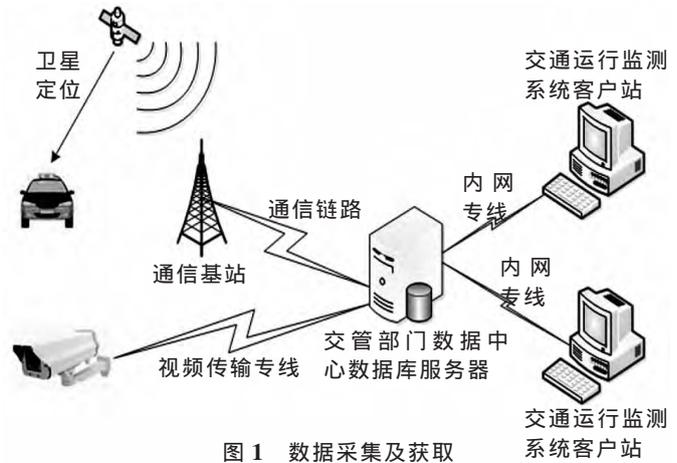


图 1 数据采集及获取
Fig.1 Data collection and acquisition

2.2 数据有效性分析

数据有效性分析是提升数据质量的重要手段。由于浮动车数据采集的周期、频率及数据质量受通信网络延迟、设备异常及信号遮挡等问题的影响,因此存在着一定误差,为提升基础数据的质量及精度,本系统首先进行了数据有效性检验,主要包括浮动车数据的冗余剔除和缺失修补两部分,具体步骤如下:

Step1:对浮动车数据的速度及方向的合理性判定,浮动车辆瞬时速度和车头方向合理范围应满足下式

$$0 \leq v_{in} \leq f_v \times v_{max} \tag{1}$$

$$0^\circ \leq \theta_c \leq 360^\circ \tag{2}$$

式中: v_{in} 为浮动车瞬时速度, $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$; v_{max} 为城市快速路限行最大速度,本文取 $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$; f_v 为修正系数,一般取 $1.3 \sim 1.5$,本文取上限值 1.5 ; θ_c 为浮动车车头方向。

Step2:时间连续性有效检验,通过对浮动车相邻数据采集时间及采集频率的对比分析,针对采集过程中的数据提前、数据延迟等异常情况进行判别处理。设相邻两次数据采集的时间间隔为 Δt , T 为 GPS 浮动车数据设定上传周期; ξ 为上传时间允许误差,当 $0 \leq \Delta t \leq T - \xi$ 时,认为数据冗余,当 $T - \xi \leq \Delta t \leq 2T + \xi$ 时,认为数据正常,当 $\Delta t \geq 2T + \xi$ 时,认为数据缺失。通过对数据时间连续性的有效检验,剔除冗余数据,修补缺失数据。数据有效性检验的整体流程如图 2 中所示。

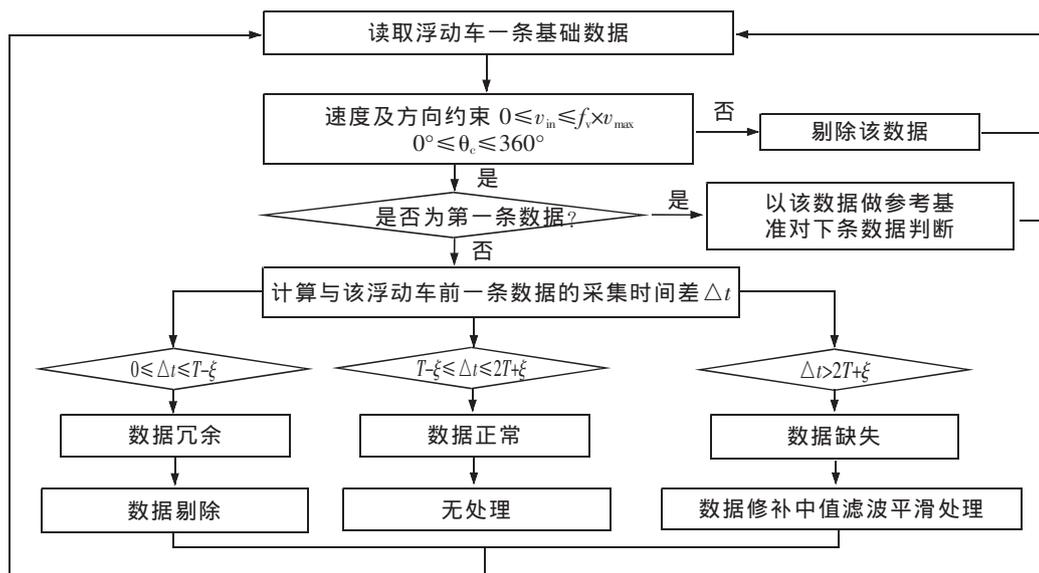


图 2 数据有效性检验流程
Fig.2 Procedure of the data validation test

3 系统功能模块

根据系统功能需求分析,交通运行监测系统在功能模块划分上可分为:浮动车管理模块、路况识别模块、交通状态预测模块及历史数据决策分析模块。系统采用.NET 开发平台、C# 语言并结合 ESRI 公司的 ArcEngine9.3 组件模型技术进行开发,通过对 GIS 地图的二次开发,实现交通状况的运行监测。

3.1 浮动车管理模块

浮动车辆模块在功能上主要实现了浮动车辆的轨迹跟踪及路径诱导,以便于车辆管理部门对车辆的监管及调度,主要包括车辆定位、车辆跟踪及路径诱导 3 个步骤。浮动车辆的地图定位是实现轨迹跟踪及路径诱导的基础,借助于 ArcEngine 的 IProximityOperator 接口类,通过对浮动车数据点与道路之间的空间分析,借助于 ReturnNearestPoint 方法实现对浮动车辆的定位。车辆的轨迹跟踪在技术实现上采用 ArcEngine 的 NetworkAnalysis 类库,通过建立 INetworkDataset 道路几何网络,创建道路网络分析上下文,基于网络分析上下文接口函数 INAContext.Solver.Solve() 对浮动车离散轨迹点进行路径跟踪,实现对浮动车辆的轨迹重绘。浮动车辆的路径诱导采用 Dijkstra 算法,选取道路长度作为路网权重,其中诱导路径起止位置的查询支持模糊查询,通过对地图点图层属性的 search() 查询实现对起止位置的选择。并根据道路几何网络的上下文分析,获取自诱导起始位置至终止位置的最短路径。最终通过 IEIDHelper 接口获得网络边线 ID 枚举对应的所有网络边线几何图形,实现对最短路径的可视化绘制,为管理用户提供路径诱导规划。

3.2 路况识别模块

路况识别模块的开发主要实现对路网道路平均速度的实时判别分析,即是对道路行驶浮动车数据的动态统计。该功能实现依赖于 GIS 地图的空间分析功能,首先对路网道路建立道路缓冲区,其次针对建立的道路缓冲区与浮动车数据图层进行叠加分析,采用基于权重的地图匹配算法实现对路网各道路所属浮动车数据的筛选,进而实现对浮动车速度的统计分析。该匹配算法兼顾浮动车数据与路网道路的距离及方向的匹配程度,其距离匹配度 r_d^i 为: $r_d^i = \frac{D_{TH} - D_i}{D_{TH}}$, 方向匹配度 r_θ^i 为: $r_\theta^i = \frac{90 - \theta_i}{90}$, $\theta_i \leq 90$, 且有 $\theta_i = \min(|\theta_c - \theta_i'|, 360 - |\theta_c - \theta_i'|)$ 。其中, D_{TH} 为浮动车与候选路段集合中所有路段距离的最短距离; D_i 为浮动车点至候选路段 l_i 的最短距离; θ_c 为浮动车行驶方向; θ_i' 为候选路段的道路方向。则浮动车数据与道路的综合匹配度 r_i 为

$$r_i = w_d r_d^i + w_\theta r_\theta^i \quad (3)$$

式中: w_d 为距离匹配度的权值; w_θ 为方向匹配度的权值。

通过对浮动车数据综合匹配度的计算分析,准确统计路网道路的平均行驶速度,并根据《城市道路交通管理评价指标体系(2012年版)》对城市道路拥挤程度的等级划分及速度描述,实现对路网道路交通状态的实时判别。

3.3 交通状态预测模块

交通状态预测是交通状况识别的功能拓展,其通过对历史状态变化趋势的研究分析,建立交通状态预测模型,进而实现对交通状态的预测分析。根据对交通状态预测算法的对比分析^[9-12],综合考虑路网交通状态的波动性及路网结构的复杂性,选取指数平滑预测模型实现对交通运行状态的预测分析,其平滑权重参数可根据预测值与真实值的误差进行自适应修正,且预测值仅依赖于初始值与前一时刻的预测值,时间复杂度相对较低。因此,根据对路网道路历史时间序列的统计计算,结合指数平滑预测算法对道路平均速度进行预测分析,实现对路网运行状态的预测判别。

3.4 决策分析模块

决策分析模块主要实现对历史数据的挖掘分析,包括道路车辆密度分布的统计分析、道路全天拥堵指数的统计分析及各区域拥堵状况指数的统计分析等。该功能实现依赖于数据库查询与路网道路的结合。通过建立系统与 SQL Server 2008 数据库的权限连接,结合获取的路网道路边界对道路车辆的密度及拥堵状态进行统计分析。该功能用到的数据接口主要包括 ITopologicalOperator 接口和 IEnvelope 接口,根据 ITopologicalOperator 接口的缓冲区边界 Buffer() .Envelope, 获取道路边界的经纬度范围,并结合道路方向查询满足条件的浮动车数量,实现对道路密度及拥堵指数的判别。而区域拥堵状况的判别则依赖于各区域要素的边界范围,以区域边界为限制统计浮动车数据,实现对历史数据的挖掘统计。

4 系统实现

本文基于南京市浮动车行驶数据及视频数据,采用 C# .NET 的 ArcEngine 的 GIS 开发平台,构建了南京市交通运行监测系统,如图 3 所示。

系统总体实现了南京市浮动车辆的管理、路网交通运行状况的实时识别、交通运行状态的动态预测及历史数据的挖掘分析。同时,针对视频路段,可实时观测路段交通流视频数据,及时掌握路段交通运行状况,为交通部门实施交通管理提供依据。



图 3 南京市交通运行监测系统

Fig.3 Nanjing traffic operation monitoring system

5 结束语

基于 ArcEngine 的交通运行监测系统是融合 GIS 地图展示及传统交通运行状况识别的交通运行管理系统,借助于 GIS 地图的空间分析及可视化展示,为交通运行状况的监测及管理提供精细化、信息化的管理平台,实现浮动车数据与视频数据的同步汇总,对提高交通管理部门的管理水平及工作效率具有重要意义。

参考文献:

- [1] 王盛,江万寿. 武汉市交通数字监控系统设计与仿真实现[J]. 测绘科学,2013,38(2):160-162.
- [2] 王春晓,王斐. 基于 ArcEngine 的公路巡检系统设计与实现[J]. 测绘科学,2014,39(5):40-42.
- [3] 顾鹏飞,高成发. 基于 GIS 的兴趣点公交线路查询系统的研究与设计[J]. 现代测绘,2014,37(5):25-28.
- [4] 李盛盛,邵建,蔡先华. 基于 ArcGIS Engine 的大型活动交通管理与模拟系统的设计与开发[J]. 现代测绘,2006,29(5):8-11.
- [5] 张垠,李光明. 基于 GIS 的交通路况信息实时传播系统[J]. 空军雷达学院学报,2005,19(2):59-61.
- [6] 朱仕杰,南卓铜. 基于 ArcEngine 的 GIS 软件框架建设[J]. 遥感技术与应用,2006,21(4):385-390.
- [7] 韩鹏,王泉,王鹏,等. 地理信息系统开发:ArcEngine 方法[M]. 武汉:武汉大学出版社,2005.
- [8] 杨利兵,陈艳红,刘亚立. 基于 Geodatabase 的地理数据库的设计[J]. 山西建筑,2007,33(25):367-368.
- [9] 郑长江,葛升阳,郑树康. 基于贝叶斯网络的交通事件持续时间预测[J]. 华东交通大学学报,2014,31(5):50-55.
- [10] 王翔,陈小鸿,杨祥妹. 基于 K 最近邻算法的高速公路短时行程时间预测[J]. 中国公路学报,2015,01(28):102-111.
- [11] 樊娜,赵祥模,戴明,等. 短时交通流预测模型[J]. 交通运输工程学报,2012,12(4):114-119.
- [12] 姚智胜,邵春福,高永亮. 基于支持向量回归机的交通状态短时预测方法研究[J]. 北京交通大学学报,2006,30(3):19-22.

Design and Implementation of Traffic Operation Monitoring System Based on ArcEngine

Dang Qian, Wang Weifeng, Ding Shanshan, Diao Hanlou

(Jiangsu Province Communications Planning and Design Institute Co. LTD., Nanjing 210014, China)

Abstract: Real-time dynamic operation monitoring of road network is of great significance for traffic management departments to implement traffic management and guidance. This study, through requirements analysis and architecture design of the road operation monitoring, developed the program of traffic operation monitoring system in the C#.NET language based on ArcEngine platform. According to the basic vehicle data and powerful spatial analysis techniques of ArcEngine, this study realized functions of probe vehicle tracking and guidance, traffic condition recognition, traffic condition forecasting and historical analysis, which may promote the visualization and informatization of urban traffic management.

Key words: urban road network; traffic running state; dynamic monitoring; ArcEngine

(责任编辑 姜红贵)