

基于 GIS 的高速公路养护决策支持系统研究与实现

程亮¹, 龚健雅¹, 梁新政², 黄鸿¹

(1. 武汉大学 测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430079; 2. 江苏省交通科学研究院, 江苏 南京 210017)

Expressway Maintenance Decision Support System Based on GIS

CHENG Liang, GONG Jian-ya, LIANG Xin-zheng, HUANG Hong

摘要:介绍高速公路养护决策支持系统的基本概念,分析 GIS 传统的节点-弧段模型应用于高速公路养护管理时存在的问题,引入线性参考系统。论述基于线性参考系统的高速公路养护决策支持系统的软件体系结构、主要功能,着重研究系统实现的几大关键技术,包括线性参考系统和动态分段、空间分析、路面性能评价、基于模型训练的养护方案决策支持以及数据接口技术等。在江苏省多条高速公路上的成功应用,证明了系统的实用性和有效性。

关键词:高速公路养护;决策支持;线性参考系统;模型训练;空间分析

一、引言

随着我国高速公路建设的快速推进,高速公路里程的迅猛增长,道路资产维护和管理工作的重要性的日益突出。传统的管理模式,包括公路基本资料存储与管理方式、公路设施性能状况评价与统计方式、养护方案制定与养护资金分配方式等等,均已越来越不适应道路资产维护的需要,高速公路道路资产维护的迫切性对养护工作方式、养护工作水平提出了更高的要求,高速公路养护决策支持系统应运而生。高速公路养护决策支持系统集成了道路工程、数值分析及经济原理,是决策分析全过程的多种模型的集合,可以为运营、养护、更新道路资产提供经济而有效的解决方案^[1~3]。高速公路养护主要涉及路基、路面、桥涵、沿线设施等的养护,目标是利用可用的资源,在明确的目标下,实现效益最大化。

GIS 的主要工作领域在地理空间数据的处理,公路具有典型的线形地理特征,适于应用 GIS 进行可视化、形象化的管理。随着 GIS 技术的发展和普及,公路交通管理、资产维护等方面的信息化工作越来越多地依托于 GIS 平台,GIS 技术在公路交通部门应用日益广泛。传统的地理信息系统中,公路等线状特征(feature)是以弧段为基本单位进行存储和管理的,处理公路等线状特征最常用的是节点-弧段模型,基于该模型,弧段是建立线性特征属性数据库的基本单位,同一弧段上的所有位置都具有相同的

属性特征,节点-弧段模型能很好地模拟具有静态特性的线性特征^[4,5]。然而,道路同时又具有线性度量、分段的不确定性和动态性等特点。以道路状况密切相关的路面性能为例,路面性能以不同路段的养护指数(MQI)表示各段的路面状况,随着时间的推移,原有的分段需要根据路况的变化不断地重新调整,这就是分段的不确定性和动态性。对于这些道路等线状特征的独特问题,节点-弧段数据模型在模拟和处理时存在着明显的困难,因此引入线性参考系统势在必行。

二、线性参考系统

线性参考系统包括线性参考方法、基础线性网络和线性分布事件(包括设施)。所谓线性参考方法就是如何确定线性分布事件在线性网络中的位置。常用的线性参考方法有里程参考、分段参考、地址参考和观测点参考等。线性参考方法的关键是线性量测方法,其线性网络包括线性道路网和控制点集^[4,6]。线性分布事件则是沿线性网络分布的设施或事件,包括点事件和线事件,点事件如桥梁、交通事故等,线事件如路段的平整度、路段的路面材料类型等。除了线性度量的特点,线性参考系统还支持动态分段技术。在属性项的内容随时间发生变化时,动态分段技术可以灵活地、可视化地显示随之变化的空间实体。线性参考系统的线性度量、动态分段等特点,使其成为 GIS-T 的关键技术。

收稿日期:2006-12-14

作者简介:程亮(1978-),男,江苏南京人,博士生,主要从事 GIS、计算机视觉等方面的研究。

三、体系结构及主要功能

系统体系结构如图1所示。系统的主要功能包括数据采集、数据维护、GIS、数据分析、决策支持、系统管理等。具体功能如下。

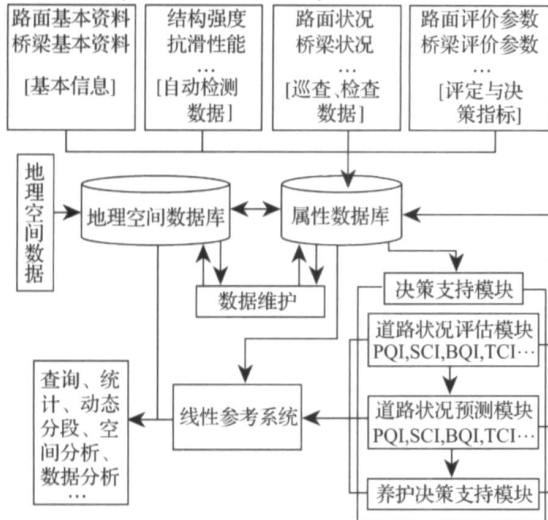


图1 基于GIS的高速公路养护决策支持系统软件体系结构

1. 数据采集

数据采集包括地理空间数据采集和道路状况数据采集。空间数据通过地图数字化或测绘的手段采集完成；道路状况数据采用自动化设备采集和人工定期巡查相结合的方式。

2. 数据维护

数据维护的对象包括地理空间数据库、基础资料数据库、检测资料数据库等。地理空间数据库的维护包括道路空间数据的编辑、图形属性的挂接等；基础资料数据库存储道路的基础资料，是静态数据；检测资料数据库存储巡查记录、路面性能数据，是随着时间的推移而不断变化的。数据采用手工录入和批处理导入相结合的方法进入系统。系统提供数据编辑和修改、数据备份和恢复等常规功能。

3. GIS

GIS为道路状况管理相关数据提供基础数据集成平台。提供空间属性查询统计、空间分析功能，支撑道路状况评价、道路状况变化趋势预测、道路养护方案制定等的实现和可视化、形象化表达。

4. 数据分析

提供空间查询、属性查询等功能。提供空间分析功能，如 Union, Intersect 等，以便分析道路交通量、路面材料类型等对道路状况衰减的影响。提供数据分析功能，如路面性能随时间变化分析、桥梁状况随时间变化分析等。

5. 决策支持

根据道路基础资料和检测数据，对道路现有状况进行评价。在综合道路状况历史数据和交通量等信息的基础上，预测道路状况变化趋势，根据道路养护需求、养护时间、养护资金等，比选可能的养护方案，确定最优养护方案。

四、关键技术

1. 线性参考系统与动态分段

线性参考系统与动态分段技术是GIS-T的关键技术。目前，ArcGIS等流行的商业软件中已有专门的模块支持线性参考和动态分段技术，实际上，从底层开发实现难度并不大。本文重点介绍以线性参考系统和动态分段的思想来组织地理空间数据和相应的属性数据。理清数据结构和数据组织模式后，编程实现相对容易。

1. 建立路线。根据地图数字化或实地采集得到的数据，建立路线的空间实体，这一空间实体从路线的起点至终点都是完整的，中间不能有节点断开。

2. 建立点事件属性表。点事件属性表存储点事件，即空间上用点即可表示的事件，可以是发生的事件，如交通事故，也可以是桥梁、涵洞等设施。其属性表中需要添加如下字段：路线编码、事件桩号等。其中路线编码表示一条公路的编码，事件桩号记录事件的空间位置。

3. 建立线事件属性表。线事件属性表存储线事件，即空间上需要用线表示的事件，如路面材料类型、交通量、路线跨越的行政区划、路面使用性能等。其属性表中需要添加如下字段：路线编码、起点桩号、终点桩号等。

路线空间数据库和事件属性数据库建立完成后，即可根据线性参考模型和动态分段的思想，实现各种事件/属性信息的动态显示。实际上，就是基于线性度量的原理，根据事件对应的里程桩号，动态地在路线实体上显示点事件、线事件等。图2为系统实现的点事件（桥梁）动态分段显示的一个实例，图3为路面性能四大指标动态分段显示的例子。

2. 空间分析

在高速公路养护管理中，极其重要的环节是根据路况历史资料、交通量、路面材料、地理气候等，综合分析道路状况的衰减规律，预测道路状况的变化趋势，进而提供有效的决策支持信息。基于GIS技术，这样的分析变得简单、直观起来，可以根据各相关属性（如交通量等）的道路里程，进行空间叠加、相切等分析，为决策支持服务。所有这些可以通过线

性参考系统支持的动态分段技术实现。

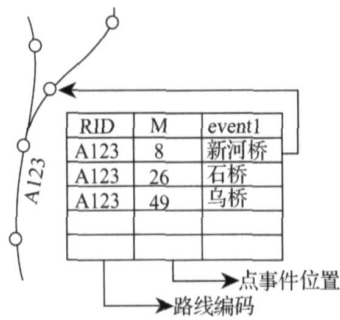


图2 点事件(桥梁设施)动态分段表达

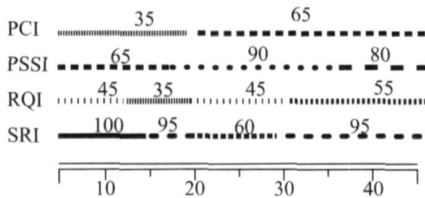


图3 线事件(路面性能指标)动态分段表达

根据动态分段的思想,将事件动态显示在线性空间坐标中,实质是根据属性信息在地图上生成了新的事件图层。事件数据以图层的形式表达后,就可以进行空间查询和属性查询,进而也可以进行空间分析。根据线性参考系统,可以实现动态分段的多项空间分析,如 Overlap, Union, Intersect 等空间分析。空间分析处理的实质是根据两个事件的属性表通过相应的处理生成一个新的事件属性表,再将该属性表的事件动态地显示在空间线性坐标系中。图4是系统实现的 PCI 与 PSSI 的 Union 操作效果图,图5为 PCI 与 PSSI 作 Union 分析的原理图。

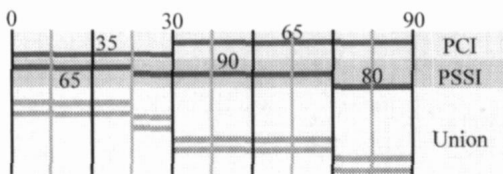


图4 PCI与PSSI的Union空间分析

RID	FMP	TMP	PCI	PSSI
101	0	30	35	65
101	30	90	65	90

RID	FMP	TMP	PCI	PSSI
101	0	22.5	35	35
101	22.5	30	35	90
101	30	76.3	65	90
101	76.3	90	65	80
101				

图5 Union 分析的实质

3. 路面性能评价

道路路面性能的通常理解是,路面为保证客货运输(主要是汽车运输)车辆的正常行驶应具备的能力。高速公路路面功能应体现在满足运输车辆在一定设计使用时限内高速、安全、经济、舒适地行驶。按照功能论的思想,从结构系统和功能系统的概念出发,可将路面性能划分为结构性能和功能性能^[7]。我国目前已经初步建立了路面使用性能评价模型,是根据路面状况的四大指标(路面状况、结构强度、行驶质量、抗滑性能),对路面的综合性能进行评价,最终给出路面养护质量指数。系统基于模型库的思想,建立路面性能评价的模型,模型库提供数据接口,便于对模型参数进行定制和优化。当四大指标的数据采集完毕后,即可根据模型库中的模型评价路面综合性能。图6为系统采用的路面性能评价模型。

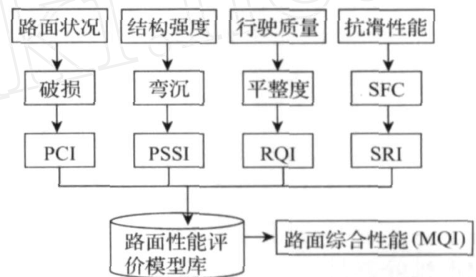


图6 路面性能评价模型

4. 养护方案决策

为了保持道路的有效性和良好的服务性能,公路管理和养护部门力图在技术和经济上对公路养护的各个可行方案从多个角度进行对比分析,寻求最佳的养护方案,以便使有限的资金发挥最大的经济和社会效益^[3]。这些分析一般包括:利用路面使用性能评价模型,通过对路网使用性能评价,了解路网的基本状况;规定路网各级道路的养护标准,估计路网的养护要求;分析达到要求的路网水平所需要的最小资金;利用优化决策模型对养护资金进行优化分配等。

道路养护分析中很少使用纯粹的数据优化模型,原因是数据优化模型有时难以反映真正的分析环境。系统采用计算机自动决策和人工决策相结合的策略,利用专家的知识 and 经验不断对自动决策产生的养护方案进行评估,根据评估结果对养护决策模型进行训练、调整模型参数,不断地改进和优化模型,最终达到最优决策的效果。系统养护方案决策支持的流程如图7所示。

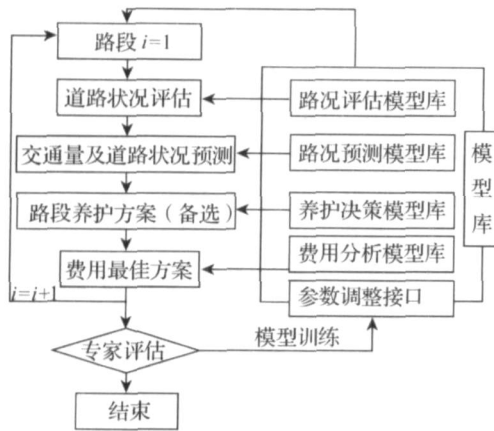


图7 基于模型训练机制的养护决策支持流程

5. 基于 XML 的数据接口技术

高速公路养护决策支持系统的数据输入是个值得研究的问题,系统进行路况评价和养护维修决策时都需要定期的道路检测数据支撑,而道路管理、道路养护、道路检测等多家部门的道路相关的数据格式往往没有统一。同时道路定期检测的数据量很大,手工输入耗时且易出错,数据自动转入养护决策支持系统是必备功能。本系统引入 XML 技术,定义一种道路养护的通用数据交换格式,利用此中间格式可以沟通道路管理、道路养护和道路检测等多家部门,实现了这些相关单位道路状况数据的无缝连接。

五、结束语

基于线性参考系统技术可以很好地处理节点-弧段模型不易处理的道路线性度量、特征(feature)分段不确定性和动态性等问题,是 GIS-T 的关键技术。基于线性参考系统的高速公路养护决策支持系统,在实现了空间特征灵活表达的同时,提供了对决策支持具有重要意义的空间分析功能,同时基于模型训练方法实现了养护最优方案的自动决策,具有

重要的推广价值。目前系统已在江苏省苏嘉杭、宁靖盐等多家高速公路管理单位得到应用,实际效果良好。

需要指出的是,本系统在高速公路上应用时,由于投入运营的高速公路时间都不长,高速公路建成通车后的资料信息相当匮乏,缺乏道路资产历史数据的支撑,使得道路资产变化趋势的预测和道路养护决策模型的优化均深受限制。随着道路状况等各相关信息的历史资料逐渐积累、路况预测以及养护决策理论水平的提高,决策支持模型尚可进一步优化。

参考文献:

- [1] ROBINSON R, et al. Road Maintenance Management Concepts and Systems [M]. [s. l.]: Macmillan Press, 1997.
- [2] 姚祖康. 路面管理系统[M]. 北京:人民交通出版社, 1999.
- [3] 潘玉利. 路面管理系统原理[M]. 北京:人民交通出版社, 1998.
- [4] 桂智明,晏磊,等. 线性参考系统和动态分段在 GIS-T 中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(9): 208-209.
- [5] 乔延友,武红敢. 地理信息系统中动态分段技术的研究[J]. 环境遥感, 1995, 10(3): 211-216.
- [6] 沈婕,闫国年. 动态分段技术及其在地理信息系统中的应用[J]. 南京师范大学学报(自然科学版), 2002, 25(4): 105-109.
- [7] 苗丽. 基于 GIS 的路面性能评价技术研究[D]. 郑州:郑州大学, 2004.
- [8] 程亮,梁新政,等. 基于 XML 的高速公路路面管理系统数据交换技术研究[J]. 交通与计算机, 2004, 22(5): 112-114.
- [9] 张伟红. 基于线性参考的轨道数据模型[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2006, 31(1): 13-14.

欢迎订阅《地图》杂志

本刊为海内外公开发行人全彩色双月刊,单月 15 日出版,每期定价 12.00 元,全年定价 72.00 元。全国各地邮局均可订阅,邮发代号:2-912。直接向编辑部办理订阅手续,可享受地图世界读者俱乐部会员优惠价 50 元(平寄),60 元(挂号)。

地址:北京复外三里河路 50 号

邮编:100045

电话:010-68531244,68531262