



测绘科技专著出版基金资助  
CEHUI KEJI ZHUANZHU CHUBAN JIN ZIZHU

3D GIS Data Organization and Visualization of Road  
Transportation Network

左小清 著

# 道路 交通网络 三维GIS数据 组织与可视化



测绘出版社

测绘科技专著出版基金资助

# 道路交通网络三维 GIS 数据组织与可视化

3D GIS Data Organization and Visualization of Road  
Transportation Network

左小清 著

测绘出版社

· 北京 ·

© 左小清 2011

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

### 内 容 提 要

本书就如何表达日趋复杂、不断往立体方向发展的道路交通现象展开论述,具体内容包括:道路交通网络三维数据模型、道路及附属设施三维数据的组织与管理、基于道路网络的三维空间数据索引、道路之间的拓扑关系、集成道路网的地形模型可视化、交通分析与操作等。本书为搭建基于三维的交通地理信息系统应用平台提供理论与实践基础,对促进地理信息系统在交通领域的应用有着重要的意义。

本书可为地理信息系统和交通运输等相关专业的科技人员提供参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

道路交通网络三维 GIS 数据组织与可视化 / 左小清著. —北京:测绘出版社, 2011. 4

ISBN 978-7-5030-2245-6

I. ①道… II. ①左… III. ①交通网—地理信息系统  
IV. ①U491.1—39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 066366 号

责任编辑 吴 芸 执行编辑 赵福生 封面设计 李 伟 责任校对 董玉珍 李 艳

出版发行 测绘出版社

地 址 北京市西城区三里河路 50 号 电 话 010-68531160(营销)

邮政编码 100045 010-68531609(门市)

电子信箱 smp@sinomaps.com 网 址 www.sinomaps.com

印 刷 北京金吉士印刷有限责任公司 经 销 新华书店

成品规格 169mm×239mm

印 张 8.25 字 数 156 千字

版 次 2011 年 4 月第 1 版 印 次 2011 年 4 月第 1 次印刷

印 数 0001—1500 定 价 22.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-2245-6/P·517

本书如有印装质量问题,请与我社联系调换。

# 前 言

随着智能交通系统的深入发展,交通地理信息系统日益受到人们的重视,已成为 GIS 应用的一个热门发展方向。我国于 2007 年 6 月成立了中国交通地理信息系统技术委员会,标志着交通地理信息系统在我国已经进入了一个新的发展时期。

随着城市的扩张,道路交通不断往立体方向发展,二维 GIS 难以表达日趋复杂的道路交通特征。复杂交通现象的三维表达、数据组织、交通信息和移动目标的管理及网络分析等需要新的模型与方法的支持。

本书是作者近十年来从事三维 GIS 和交通地理信息系统理论和应用研究的阶段性成果,围绕三维环境下道路网络的数据组织与可视化这一主题展开讨论。首先对道路数据模型进行了综述,在分析三维路网数据特点的基础上,提出了道路交通网络三维数据模型。接着,讨论了道路网络三维数据的管理、数据简化以及道路网络三维空间数据的索引。最后介绍了作者开发的一个实验系统,它是本书中讨论的相关理论与方法的一个实践。

本书为交通地理信息系统向三维拓展提供新的理论与技术方法,也可为 GIS 和交通运输等相关专业的科技人员提供参考。

本书的出版,得到了许多专家、老师及师兄弟的支持和帮助,也得到了相关项目的支持,在此表示感谢。

感谢测绘科技专著出版基金、国家自然科学基金(41061043)对本书出版的资助。

由于作者水平有限,书中难免存在一些不足,敬请各位提出宝贵意见。

# 目 录

第 1 章 绪 论	1
§ 1.1 概述	1
§ 1.2 道路数据模型	3
§ 1.3 三维数据管理技术	15
§ 1.4 三维数据可视化技术	18
第 2 章 交通网络三维 GIS 数据模型	25
§ 2.1 概述	25
§ 2.2 线性参照系统与动态分段	26
§ 2.3 交通网络三维模型中元素的类型和特点	34
§ 2.4 地形模型的表达	38
§ 2.5 交通网络中的基本建模元素	39
§ 2.6 面向对象的交通网络三维 GIS 数据模型	41
第 3 章 交通网络三维 GIS 数据的管理	52
§ 3.1 概述	52
§ 3.2 TIN 模型的数据管理	54
§ 3.3 线性基准数据的管理	61
§ 3.4 三维道路网数据的管理	62
§ 3.5 网络拓扑数据管理	68
第 4 章 道路与地形集成模型的多分辨率动态简化	72
§ 4.1 概述	72
§ 4.2 相关研究	73
§ 4.3 依赖视点的动态多分辨率地形模型	79
§ 4.4 实验与分析	87
第 5 章 面向道路网三维数据的空间索引方法	92
§ 5.1 概述	92
§ 5.2 道路网三维数据的特征分析	93

---

§ 5.3	R 树索引	95
§ 5.4	面向道路网三维数据的混合索引	96
§ 5.5	试验	102
§ 5.6	三维道路数据的动态调度	104
<b>第 6 章</b>	<b>实验与分析</b>	<b>106</b>
§ 6.1	实验系统概述	106
§ 6.2	三维建模	110
§ 6.3	空间分析与编辑	114
§ 6.4	系统在交通中的应用	114
<b>参考文献</b>		<b>118</b>

# Contents

<b>Chapter 1</b>	<b>Introduction</b>	1
§ 1.1	Introduction	1
§ 1.2	Data Model of Road	3
§ 1.3	The Technology of 3D Data Management	15
§ 1.4	The Visualization Technology of 3D Data	18
<b>Chapter 2</b>	<b>Data Model of 3D GIS in Transportation Network</b>	25
§ 2.1	Introduction	25
§ 2.2	Linear Referencing System and Dynamic Segmentation	26
§ 2.3	Element Type and Characteristic of 3D Data Model in Transportation Network	34
§ 2.4	Representation of Terrain Model	38
§ 2.5	Basic Modeling Elements of Transportation Network	39
§ 2.6	Object-oriented 3D GIS Data Model of Transportation Network	41
<b>Chapter 3</b>	<b>3D GIS Data Management of Transportation Network</b>	52
§ 3.1	Introduction	52
§ 3.2	Data Management of TIN Model	54
§ 3.3	Data Management of Linear Datum	61
§ 3.4	Data Management of 3D Road Network	62
§ 3.5	Data Management of Network Topology	68
<b>Chapter 4</b>	<b>Multi-resolution Dynamic Simplification of Road and Terrain Integrated Model</b>	72
§ 4.1	Introduction	72
§ 4.2	Related Research	73
§ 4.3	View-dependent Dynamic Multi-resolution Terrain Model	79
§ 4.4	Experiment and Analysis	87

---

<b>Chapter 5</b>	<b>Spatial Indexing Approach of 3D Road Network Data</b>	92
§ 5.1	Introduction	92
§ 5.2	Characteristic Analysis of 3D Road Network Data	93
§ 5.3	R-tree Indexing	95
§ 5.4	Hybrid Indexing of 3D Road Network Data	96
§ 5.5	Experiment	102
§ 5.6	Dynamic Loading of 3D Road Data	104
<b>Chapter 6</b>	<b>Experiment and Analysis</b>	106
§ 6.1	Introduction of Experimental System	106
§ 6.2	3D Modeling	110
§ 6.3	Spatial Analysis and Edit	114
§ 6.4	The Application of System in Transportation	114
<b>References</b>		118

# 第1章 绪论

## § 1.1 概述

长期以来,世界各国都面临着日益严重的城市交通问题,如交通拥堵、交通事故频繁及由于交通堵塞造成的空气污染等,由此而带来大量的经济损失和人员伤亡,严重影响了人们的生活质量和社会经济的发展。国内外实践证明,欲有效地解决这些问题,仅仅依靠道路建设、扩大路网规模是远远不够的,还需依赖科技手段从智能化、信息化方面寻找解决问题的突破口,把交通管理由“被动”转为“主动”,并提出了“智能交通系统”(intelligent transportation system,ITS)这一概念,以期从根本上改变交通拥挤和堵塞局面,最大限度地利用现有的交通设施,提高驾驶员出行的便利性和安全性,降低环境污染。

智能交通系统是将先进的信息技术、数据通信传输技术、电子传感技术、电子控制技术以及计算机处理技术等有效地集成,运用于整个地面运输管理体系,建立一种在大范围内、全方位发挥作用的,实时、准确、高效的综合运输和管理系统。发展智能运输系统的目标是:

- (1)改善人流、物流以及信息流的自由流动以促进经济发展;
- (2)提供安全、方便及可靠的交通;
- (3)提供环境保护、减少能量消耗。

智能道路系统(intelligent roadway system,IRS)是智能交通系统的一个重要组成部分,也一直是世界交通发达国家关注的焦点。它是以现代先进的信息与通信技术为核心所组成的用户、道路、车辆三者的综合体,是为包括驾驶员、车辆以及行人在内的各种智能交通系统用户提供多媒体信息交互服务的平台。研究智能道路系统的目的与意义就在于:运用多学科交叉与融合的研究方法,完善道路交通环境状况信息的智能感知与实时采集手段,实现人、车、路三位一体协调发展的有效方式,提高道路交通信息数据资源的利用效率与应用水平,为缓解道路交通拥堵状况、提高道路通行能力、改善道路交通安全状况等发挥重要的作用(李清泉等,2008)。

无论是智能交通系统还是智能道路系统,在交通地理信息系统(geographic information system for transportation,交通GIS)支持下进行交通信息的管理及交通网络分析,是其基本的功能。因此,交通GIS是智能交通系统的重要支撑技术之一,其中道路网络数据的组织与管理是一个基础性问题。目前,世界各国的地方

交通部门纷纷采用交通 GIS 技术建立高速公路管理系统、交通管理系统、出行信息系统、商业车辆运行系统、智能车辆导航系统及车辆自动识别系统等,并尝试通过互联网实时发布交通信息。在日本,以丰田公司为首的各大汽车公司,与交通部门通力合作,已制定了完善的数字交通信息通信协议,并在全球率先建立了全数字化交通信息台,通过广播电台实时发布数字形式的城市交通信息。与之配套的车载交通信息系统,可实时接收发布的数字交通信息,反映在计算机屏幕上,并可自动完成顾及实时交通状况的车辆自动导航。

基于 GPS 的车辆导航系统早已产业化。在日本,汽车导航系统于 1989 年开始进入市场。我国自主产权的汽车导航软件也早已投入市场。很多公司提供了在嵌入式设备上的三维可视化引擎,如 HI 公司、TomTom 公司等。同时,有一些嵌入式设备的三维图形标准,如 OpenGL ES。韩国电信公司(Telecom)已经将 OpenGL ES 作为其三维应用的标准图形 API。基于此,可以在嵌入式设备上开发三维的导航软件,如 TomTom 公司运行于 WinCE 上的三维导航软件。基于三维的导航比现有的建立在二维电子地图上的导航系统更具有直观性和现实意义。因此,随着移动设备的发展和无线接入速度的提高,我们有理由相信,不久的将来,基于位置的服务(location based service, LBS)将与三维结合,带给人们更为广阔的应用空间(Zlatanova et al, 2003)。

近年来,我国公路建设迅猛发展,越来越多的高等级公路投入使用,截至 2009 年年底,我国高速公路总里程达到 6.5 万公里,居世界第二。因此,公路路面及其设施的维护管理工作日夜繁重,维护如此庞大的公路网的正常运行势必需要耗费巨大的人力、物力和财力。GIS 技术虽然能大大改善和提高公路及其附属设施的管理效率。然而,高速公路的立交桥、隧道越来越普遍,二维图形表达具有很大的局限性。

目前,国内外有若干道路数据模型,如欧洲的地理数据文件(GDF),美国的 SDTS 和 NSDI,日本的 DRM、KIWI 等。有些大型 GIS 软件也开始加大对交通方面的支持,如 Esri 在 ArcGIS 中引入了 UNETRANS(unified network for transportation)模型。然而,随着技术的发展,人们获取交通信息的手段不断提高,从利用固定线圈、射频等技术发展到采用 GPS 浮动车来获取交通信息,近几年利用手机定位数据来挖掘交通信息成为研究热点。如何对由此产生的海量交通数据进行融合、存储、管理、检索等是一个研究难题,迫切需要研究一种能支持海量移动目标高效存储、管理的道路网模型,以适应新的发展需要。

现代交通不断往立体化发展,交通现象越来越复杂,如图 1-1 所示。二维的道路数据模型难以表达复杂的道路交通特征,如高架桥、地铁等。二维 GIS 是用线对象表达,将出现线重合的现象,而对于多层立交桥,二维模型的局限性显得更突出。另外,城市交通规则越来越复杂,如很多路段分段禁止左转,路段的车道中有些车道可以调头,调头的车道有的在左边,而有些又在右边。通过动态分段技术

可以将属性进行分段存储,但网络分析算法很难支持。综上所述,研究城市道路交通现象的三维表达是非常迫切并具有重要的理论和实际意义。

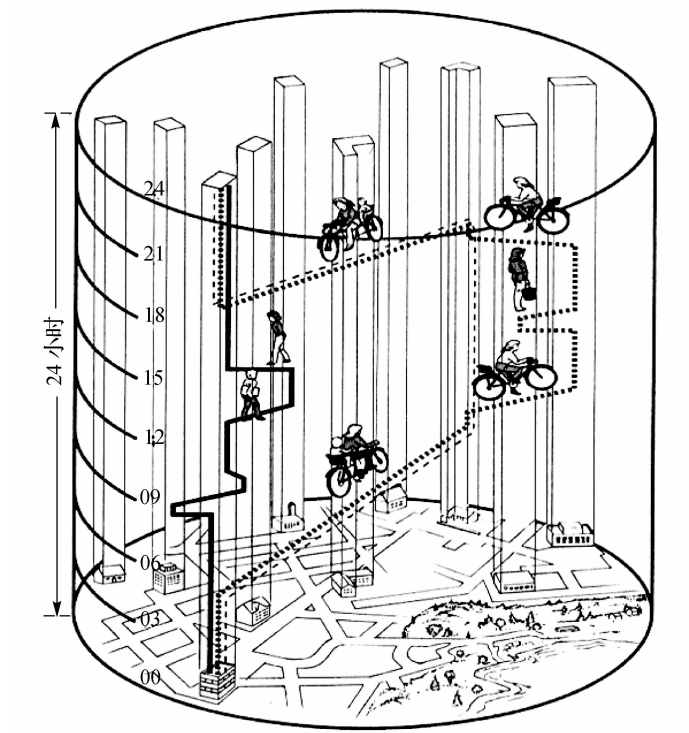


图 1-1 复杂交通现象

## § 1.2 道路数据模型

GIS自20世纪60年代萌发以来,一直是地理科学与地球系统科学中最富有生命力、发展速度最快的技术之一。交通由于其特殊的地理空间特性,是GIS的一个重要应用领域。

近几十年来,美国、日本和西欧等发达国家,竞相投入大量资金和人力,大规模地进行道路交通运输智能化的研究及试验。如美国从20世纪70年代至80年代开始将GIS技术应用到道路交通工程,美国联邦公路局(FHWA)用地理信息系统建立了全国公路数据库,并于1998年初步完成。美国各州公路和交通工作者协会(AASHTO)和联邦公路局率先开展了交通GIS的研究、开发和应用,确定了交通GIS的应用领域,如路面管理、规划研究、桥梁和设施管理等。为适应交通GIS的应用,日本、韩国等国相继逐步建立数字道路地图(digital road map, DRM)。1988

年开始,日本道路地图协会(Japanese Digital Road Map Association, JDRMA)确定建立 DRM 的基本目标;制定 DRM 的数据库标准;生产、更新和发布 DRM 数据;开发详尽和精确的 DRM 并与动态交通信息联结,用于规划和管理、车辆定位及导航、应急反应和医疗急救系统等。

国内相对来说起步较晚,从 20 世纪 80 年代开始,公路和交通部门逐步意识到公路交通基础数据库对交通规划、建设和管理的重要性。1995 年交通部科技司在申报的国家重点科技项目(攻关)计划——“GIS 在公路信息系统中的应用研究与开发”中,着手研究将 GIS 技术用于公路建设和管理,建成基于 GIS 的公路信息系统。“GIS 支持下的城市交通需求分析系统软件开发”作为国家高科技研究与发展计划(863 计划),将城市地理信息系统和交通需求模型分析结合为一体进行开发。总之,我国在交通运输领域的研究和应用已经逐步展开,但与世界发达国家相比还有不小差距。

### 1.2.1 道路数据模型研究现状

随着交通地理信息系统、导航技术与应用的发展,涌现了大量的导航数据模型和交通 GIS 数据模型,下面以导航数据模型、交通 GIS 线性数据模型和三维路网数据模型三个方面分别进行介绍。

#### 1. 导航数据模型

为支持导航应用,国内外研究了若干地图数据模型,其中 GDF、Kiwi 和 SDAL 是最具代表性的导航地图数据模型。

##### 1)GDF

GDF(geographical data file)最早出现于欧洲,其第一版于 1988 年发布,至 2004 年被正式接受成为国际标准。GDF 通过要素、属性和关系共同定义了导航地图数据的概念模型。要素是其基础,是现实世界地理对象在数据库中的表达。拓扑关系的表达是要素的关键,定义了完全拓扑、连通拓扑和非显式拓扑三种类型的拓扑关系。属性是要素的特性,通过名称或代码来标识某一属性类型,包括复合属性、简单属性和限制性子属性等。在导航数据生产、交换和互操作等应用中,GDF 作为一种国际标准发挥着巨大的作用(李清泉等,2007)。

##### 2)Kiwi

作为当前国际上流行的物理存储格式之一,Kiwi 是由日本 Kiwi 联盟制定的标准,专门针对汽车导航的电子地图数据格式,旨在提供一种通用的电子地图数据的存储格式,以满足嵌入式应用快速精确及高效的要求。Kiwi 在结构上采用纵向分层、横向分块的原则,将数据物理存储和逻辑结构相结合。Kiwi 格式由主地图数据、导引数据、路径规划数据、索引数据、参数数据、图像数据以及语音数据等组成。其优点主要为:定义了专门的数据存储方式对应车辆导航系统中专门的功能,

能加快系统运行速度,减少系统运行所需内存;大量使用了偏移量和数据框架,加快了数据的索引和定位;采用 Bit 的方式存储数据,通过标志位判断某字段数据是否存在,有效地节省了存储空间、压缩数据量;内部还留有大量的保留字段和数据框架,允许不同的公司定制自己的 Kiwi 格式,具有较强的兼容性。其缺点主要为:冗余信息太多,引起数据量在整体上太大;而且格式结构固定,缺少灵活性,难于动态更新,数据一旦生成就很难进行局部更新和扩展。经过研究和发展,继 Kiwi 格式后,日本还推出了 Kiwi+(Kiwi Plus)格式,使用简单的拓扑模型和在基于时态管理方法的基础上能处理时空对象是其最大的两个特点(李清泉等,2007)。

### 3)SDAL

SDAL(shared data access library)是美国导航技术公司(NavTech)推出的导航数据物理存储格式,目前广泛应用于北美和欧洲。SDAL 至少包括全局和区域两个数据集文件。区域文件存储导航应用所需的主要地理数据,包括文件头信息、空间数据、非空间数据以及数据的索引等。空间数据包括路径计算数据、图形数据、交叉路口数据以及交叉引用数据等。与 Kiwi 格式不同,在 SDAL 中,定义了 kd 树显式的索引空间数据。非空间数据主要包括 POI 数据、连接数据、地名数据和邮政编码数据等。非空间数据按照索引值划分,采用 B 树进行索引(李清泉等,2007)。

另外,国内学者对导航系统以及导航数据模型开展了大量的研究。蒋捷等(2003)以 GDF 数据模型为基础,研究了导航数据库的模型,然而其研究重点主要在于导航数据的交换和生产,仍需继续深入研究直接支持嵌入式导航系统核心功能,且能支持动态更新的导航数据模型。徐敬海(2007)提出了面向增量更新导航地图数据的概念模型,如图 1-2 所示。根据实现导航系统核心功能和增量更新的需要,研究了概念模型的设计思想:按功能分割、重复存储导航数据;垂直方向上多尺度和分层;水平方向上分块;基于时态特征的扩展。采用 UML 图表达了概念模型,论述了概念模型中导航地图数据的具体组织方法,详细描述了几何网格数据、拓扑分区数据和 POI 搜索网格数据的组织。该模型除了能支持地图数据的动态更新,还能全面地支持导航系统的主要核心功能。

## 2. 交通 GIS 数据模型

### 1)节点-弧段模型

传统的 GIS 以节点-弧段的形式来表达交通网络,有时也叫平面数据模型。此模型在 GIS 领域得到广泛应用,成为早期 GIS 表达交通网络模型的一个主流。城市的交通网络错综复杂,有若干子网组成,如公共交通网,私人交通网(也叫街道交通网),地铁交通网等。节点-弧段模型一般将这些子网分开进行描述,网络之间可通过转换弧段连接。节点和弧段是模型的两个基本元素,节点是弧段的起讫点,而弧段通常是将两个节点连接起来的曲线,所有路段上的属性直接作为弧段的字段存储。在街道网络中,节点用来表示街道交叉路口,弧段表示路口之间的路段,模

型对道路交叉口可以根据需要分层次表达,如图 1-3 所示。在图 1-3(a)中,路口被简化为一个节点,只能很有限地描述路口信息。而一些基本信息不能很好地表达,如在路口的各种转向限制信息,不同的转向有不同的费用,如左转一般要比右转或直行时间多一些,有些地方甚至禁止左转或右转。

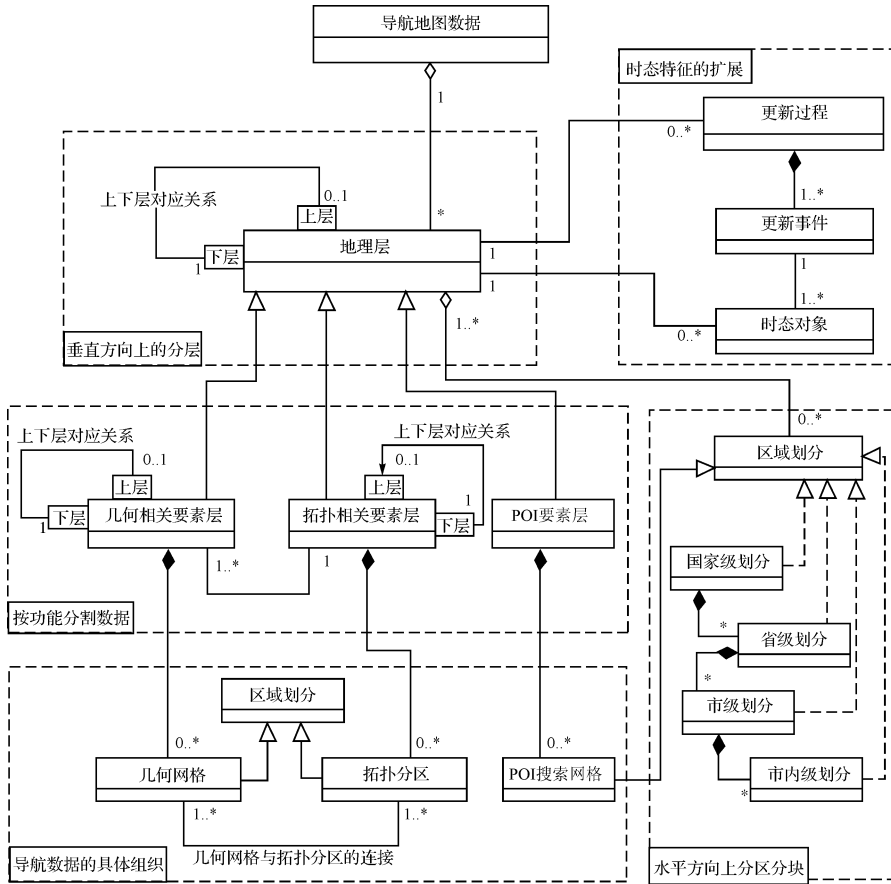


图 1-2 面向增量更新的导航地图数据概念模型

为了更好地描述这些信息,Sheffi(1985)在此基础上进行扩展,用 4 个节点来表示路口。这样每个路口就有 4 个节点和 12 条有向弧段表示,如图 1-3(b)所示。虽然数据量大幅上升,但能很好地表达路口的转向信息。节点-弧段模型也能表达公共交通网,用节点表示公共汽车站,而弧段则表示公共汽车站之间的路段。节点-弧段模型根据弧段的连通性可以自动建立路网的拓扑关系,在几何拓扑和网络拓扑关系上保持一致,也就是将拓扑层和几何层集成在一起。然而,节点-弧段模型的平面强化特征在任何道路交叉点都要产生一个拓扑节点,像高架桥这些实

际上根本不相连通的地方也产生了节点,根据节点-弧段模型的全连通特性进行网络分析时必然会出现错误。通常有两个方法来避免这类错误发生,一是将拓扑节点分别对待,对有些拓扑节点(实际上是非拓扑节点)并不要求进行全拓扑连通,这样做会导致数据集成的难度增加(Miller et al,2001);二是如上所述,通过扩展交叉口的方式(Sheffi,1985;Miller et al,2001),采用转向表来存储节点处的转向信息,这样做问题是解决了,但降低了网络分析的效率,同时也增加了数据的冗余。节点-弧段模型的逻辑表达一般采用关系模型,如图 1-4 所示。

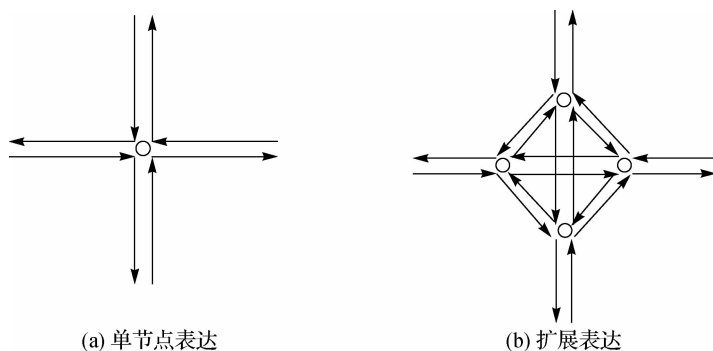


图 1-3 道路网的路口表达

弧段属性表

arc_id	from_node	to_node	attribute
--------	-----------	---------	-----------

节点属性

node_id	attribute
---------	-----------

转向表

from_arc	to_arc	impedance
----------	--------	-----------

图 1-4 节点-弧段模型的逻辑表达

节点-弧段模型最大的优势就是简单且易于应用,大多数最优路径算法都是基于节点-弧段模型的。此模型被广泛接受和应用,包括一些国家的道路地图数据库,如美国人口调查局的 TIGER 及其前身 DIME 文件,地质调查局的数字线划图(DLG)。大部分 GIS 软件或其较早版本均采用此模型,如 ARC/INFO。

该模型的缺点主要表现在以下三个方面:第一点是网络路线分段数的迅速扩张,在线特征的任何交叉点——无论是物理意义上的交叉点或是统计意义上的交叉点,总要产生一个拓扑节点,标志为路段的起始或终止节点。这就使得现实中可能连续的特征被分割成为许多小的、完全独立的分段,组成一条街道的路段并不

“知道”它们是同一条街道的组成部分,虽然这些隐含的关系可以从数据库中推导出来(陆锋等,2000)。显然不能客观真实地描述那些有“下面穿过”和“上面越过”的道路。虽然可以通过建立转向表和采用分层的方法来得到解决,但增加转向表使效率降低,而分层的方式使数据的集成困难(Miller et al, 2001)。第二点是该模型将整个弧段的属性当作相同的,没有考虑弧段上属性信息的变化(Goodchild, 1998),而实际上,同一路段不同车道的车流量肯定是不一样的,同一路段的路面材料有时也会变化。第三点是不能处理属性一对多的关系(Fletcher, 1987; Miller et al, 2001)。

围绕上述三个问题,专家学者们和一些 GIS 软件厂商在此模型上进行扩展,形成了若干线性参照系统(linear referencing system, LRS)数据模型,如欧洲的 GDF,美国的 NCHRP 20-27(2)、NCHRP 20-27(3)、企业级交通 GIS,日本的 DRM、KIWI 格式等。有些大型 GIS 软件也开始加大对交通方面的支持,如 Esri 在 ArcGIS 8.0 以上版本中引入了 UNETRANS 模型。这些模型有两个共同特点:一是在上述节点-弧段模型中引入线性参照系统,一般将拓扑数据从几何数据中分离出来,单独形成一个网络拓扑层,交通事件数据一般基于网络拓扑层,采用线性参照方式建立,从而来实现一些基于网络的应用;二是放弃了平面强化过程,在道路相交但不相通处不产生节点,也就是说,允许道路之间存在高差,这就避免了非拓扑节点的产生及立体交通网络中不可能的转向。因此这类模型有时也称为非平面数据模型。

## 2) 地理数据文件

地理数据文件是一个欧洲标准,起初是为车辆导航系统服务的,后来应用范围扩展到整个交通领域,如车队管理、交通分析与管理、道路设施管理等。GDF 是以特征(feature)为中心,特征是真实世界地理对象的数据库表达,如建筑或道路。每个特征只能属于特定的特征类和特征主题,不能属于多个类和主题,特征类被定义为点、线、面及复杂的特征。GDF 中所定义的各种要素从概念上分为三个层次,即 0 层、1 层、2 层。简单要素属于 1 层,复杂要素属于 2 层。第 0 层定义基本的图形构造块(basic graphical building blocks),这些基本构造块是结点(零维)、边(一维)和面(二维)或点、线和多边形。其中的点、线和多边形不能聚合为复杂要素。简单要素与复杂要素之间的区别在于简单要素用 0 层存储的基本构造块来定义,复杂要素用简单要素或其他复杂要素来定义,如图 1-5 所示。

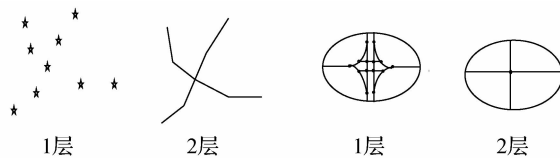


图 1-5 GDF 的图形要素分层示意图

在0层中定义了以下三种拓扑关系：

(1)非显式拓扑：没有显式定义目标之间的拓扑关系，即拓扑关系仅仅通过坐标值来定义。

(2)连通拓扑：明确定义了零维与一维目标之间的拓扑关系，但没有明确定义这些目标与二维目标之间的拓扑关系。

(3)完全拓扑：零维、一维、二维目标之间的所有拓扑关系都明确定义。

对于空间关系不重要的数据(如仅用于地图显示的数据)，不显式定义拓扑关系。连通拓扑便于有效实现网络操作。完全拓扑便于有效地集成面状信息与网络操作。

在完全拓扑中，零维和一维要素的基本构造块(结点和边)构成一个平面图。面状要素用面来定义，其是二维基本构造块。在连通拓扑中，零维和一维对象(结点和边)构成非平面图，即现实中两个要素在不同层次相交时(如两条道路相互穿越于一座立交桥)，表达这些要素的边在相交点没有结点。二维对象的定义也与完全拓扑中的定义方法不同。在完全拓扑中一个面状对象用形成这个面状要素的相关的面来定义，在连通拓扑中则用它们的边界来定义。这个边界由构成边界的边来定义。

GDF的主要目的是提高采集和处理数据的效率，并以此作为平台建立应用和一些增值服务(Nicholas et al, 2002)，并提供数据交换格式促进数据间的共享。GDF是一个通用标准，对于非应用级的数据模型，用户在此模型基础上针对特定应用可进行扩展。ISO/TC 211对GDF进行了扩展，即XGDF(extended GDF)。XGDF在确保与ISO/TC 211标准一致的前提下，在两个方面进行拓展：一是改进GDF的存储方式，引入数据库的思想，支持SQL语言及XML、GML等；二是添加对新内容的支持，引入地理要素的时空定义，支持多模式的交通应用，如个人导航，支持二维和三维的地图显示(Rob et al, 2005；徐敬海，2007)。

### 3)NCHRP 20-27(2)及多维线性参照系统模型

NCHRP模型(Vonderohe et al, 1998)是1994年8月在密尔沃基举行的NCHRP 20-27(2)学术会议上提出的，参会人员来自高校和科研院所、政府机构和一线专业应用。NCHRP模型分为地图表达层、线性参照系统层和商业数据层，如图1-6所示。线性参照系统层又包括线性参照方法(linear reference method, LRM)、拓扑网络和基准三部分。基准层是模型的核心，可以支持多种网络和多比例尺的地图表达，为不同线性参照方法、多种网络及各种地图比例之间的转换提供空间参照，因此可以应用到不同的领域。基准层由锚固点和锚固段组成，每一个拓扑网络可以有多个线性参照方法，而商业数据库可以基于不同的线性参照方法建立，因此提供了一个数据集成的方法。