

出行信息服务关键技术研究进展与问题探讨

陆 锋 郑年波 段滢滢 张健钦

(中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室,北京 100101)

摘 要 随着城市交通出行需求的不断增长,出行信息服务应运而生。介绍了出行信息服务产业的国内外发展状况,提出了出行信息服务技术平台的体系结构,分析了通讯平台、定位平台和地图平台的地位、作用及其发展趋势,从交通信息采集与处理、空间数据模型、路径规划算法、短时交通预测、信息可视化和服务标准规范等方面评述了关键技术的研究进展,分析了出行信息服务产业发展需要重点解决的科学与技术问题,以促进出行信息服务技术研究的进一步深化。

关键词 出行信息服务 交通信息 进展

中图法分类号:P208 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2009)07-1219-11

Travel Information Services: State of the Art and Discussion on Crucial Technologies

LU Feng, ZHENG Nian-bo, DUAN Ying-ying, ZHANG Jian-qin

(LREIS, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101)

Abstract Travel information services develop quickly all around the world with increasing public travel demands. This paper introduced the state of the arts of the travel information services industry, proposed the system structure of the technical platforms involved in travel information services, analyzed the roles and trends of communication, positioning and mapping platforms, reviewed the research progress of concerned technologies including traffic information collecting and processing, spatial data modeling, path searching algorithms, short-term traffic forecasting, information visualization and service standards and criteria, and analyzed the scientific problems and technological bottlenecks encountered in developing travel information services industry.

Keywords travel information services, traffic information, state of the art

1 引 言

随着我国社会经济和科学技术的发展,以公众需求为中心的服务理念迅速兴起。政府管理部门和公众之间的信息不对称局面正在不断改变。开展公众信息服务的呼声越来越高。出行信息服务应运而生。出行信息服务是集成地理信息技术、交通诱导

技术、计算机网络与移动通讯技术、传感器技术、移动目标定位技术,在电子地图平台的支持下,向用户提供出行指导的技术系统或增值服务业务的总称。出行信息服务包括位置服务系统(LBS)(如车载导航、个人移动信息服务、物流调度、移动目标监控系统等)、网络地图系统(以路网地图为依托的出行信息查询网站)和公众出行信息平台(以交通出行为核心的专业平台)3种类型。

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)基金项目(2006AA12Z209,2007AA12Z241);国家自然科学基金项目(40871184);中国科学院知识创新工程重点方向性项目(KZCX2-YW-308)

收稿日期:2009-04-13;**改回日期:**2009-04-28

第一作者简介:陆 锋(1970年~),男,研究员,博士生导师。1999年于中国科学院遥感应用研究所获得地图学与遥感专业博士学位。现主要从事空间数据库管理技术、交通GIS理论与技术、城市发展与城市GIS技术等方面的研究。E-mail: luf@lreis.ac.cn

不同行业对出行信息服务有不同的理解。对于通讯和广播行业,出行信息服务被视为由移动终端、在线地图引擎(GPRS/CDMA/3G/数字音频广播(DAB)/中国移动多媒体广播(CMMB))和卫星/基站定位技术构成的无线增值服务模式;对于电器和数码厂商,出行信息服务被视为由电子地图、离线/在线地图引擎和卫星定位技术构成的影音产品,是家电和数码产品新的利润空间;对于计算机领域,出行信息服务被视为由电子地图、离线/在线地图引擎(无线宽带 WiFi/全球微波互联接入 WiMAX)和定位技术(WiFi/甚宽频 UWB/射频识别 RFID)构成的技术系统,其中的核心 LBS 已经发展成为计算机领域中热点研究领域——普适计算中最大的分支;对于交通运输部门,出行信息服务是智能交通系统(ITS)应用重要的组成部分和 ITS 理念的重要体现;对于地理信息产业,出行信息服务是 Mobile GIS 和 Web GIS 的产业应用方式,是 GIS 走向千家万户的理想通道。GIS 技术则是出行信息服务品质提升的核心驱动力。

本文介绍了出行信息服务产业的国内外发展状况,提出了出行信息服务技术平台的体系结构,评述了关键技术的研究进展,分析了出行信息服务产业发展需要重点解决的科学与技术问题,以促进出行信息服务技术研究的进一步深化。

2 出行信息服务产业发展现状

出行信息服务产业最大的动力来源于导航应用的强烈需求。据估计,未来 5 年内,全球集成 GPS 功能的移动设备的发货量年增长率将达到 40%,2012 年将达到 8.34 亿台。其中手持设备和移动电话将占据总发货量的大半^[1]。

早期的导航产品多是基于静态地图,未考虑变化频繁的动态路况信息,对出行者的支持有限。随着通讯和网络技术的不断进步,交通信息采集、处理和发布技术不断成熟,动态信息应用正在逐步发展。

日本和欧美发达国家在出行信息服务研究与应用方面处于领先地位。日本于 1991 年开始建设道路交通情报通信系统(VICS),目前已经成为世界上运营最成功的出行信息服务系统,用户数量已超过 1 800 万。它通过远红外信标、短波信标或调频广播副载波作为传输介质,实时发布路况、交通管制、占道施工等即时信息。目前正在引入浮动车系统对

VICS 进行改进,并结合检测器信息和浮动车信息,预测与发布短时交通流量。丰田公司推出的动态导航系统增强版 G-BOOK mX,即利用了 VICS 提供的预测信息,并实现了导航地图数据的动态增量更新^[2],此外,它不仅提供交通路况信息,而且还提供新闻、天气、购物、旅游等多种信息。欧洲国家广泛应用交通信息广播专用频道(TMC)。它通过数字广播系统(RDS)发送实时交通信息和天气状况,服务于出行过程。目前,TMC 服务已经在十多个欧洲国家开通,并在不断扩展到更多国家。RDS-TMC 向出行者提供交通事件、交通状态、天气、交通附属设施信息等。此外,除了 RDS 方式外,目前,基于更高带宽的移动通讯方式和数字广播方式,已经出现了更为细致的动态信息发布协议 TPEG (transport protocol experts group),对 TMC 进行了有效的补充。美国 ITS 的核心应用 ATIS (advanced travelling information system)通过装备在道路、机动车、换乘站、停车场以及气象中心的传感器和传输设备,向交通信息中心提供全面的交通信息。ATIS 对各类信息加以处理后实时向公众发布。美国最大的动态导航系统 ADVANCE 由 Motorola 等公司联合开发,通过车载导航装置和交通信息中心的实时通讯,利用实时交通信息完成动态导航过程。北美最大的地图数据生产商 NAVTEQ 也推出了支持交通信息处理与发布的整套解决方案以及相应的移动交通服务平台,实现了多源交通数据与地图数据的无缝集成,以及基于卫星通讯、RDS 的信息发布。同时,美国各州主要城市都实现了包含动态路况信息的出行信息平台,并通过 Google Earth 等公共平台发布和应用。

在我国,已经初步形成出行信息服务数据采集、处理、发布以及应用的产业链。自主研发的动态交通信息标准 RTIC (real-time traffic information channel)已经发布,支持基于路段的交通信息编码,实现了动态交通信息与静态路网的无缝融合。自主研发的浮动车系统在多个城市投入使用,基于道路交通流传感器、浮动车和手机信令分析的路况信息采集技术不断发展,并已通过互联网和移动通讯方式发布多个城市路况信息。基于 RDS/TMC、GPRS/RTIC、DAB/TPEG 的动态导航仪纷纷上市;多个门户网站和专业地图网站开始提供城市路况信息查询功能。

3 出行信息服务技术平台结构

出行信息服务技术平台由通讯平台、定位平台和地图平台 3 部分构成,如图 1 所示。通讯平台利用各种无线通讯技术或数字广播技术将地图数据、

路况信息和其他相关信息及时、准确地传送给地图平台;定位平台利用各种卫星导航或地面无线定位技术实时确定移动目标位置;地图平台负责地图数据管理、可视化、信息查询与实时引导等。不同的出行信息服务应用在平台结构上存在一定差异。

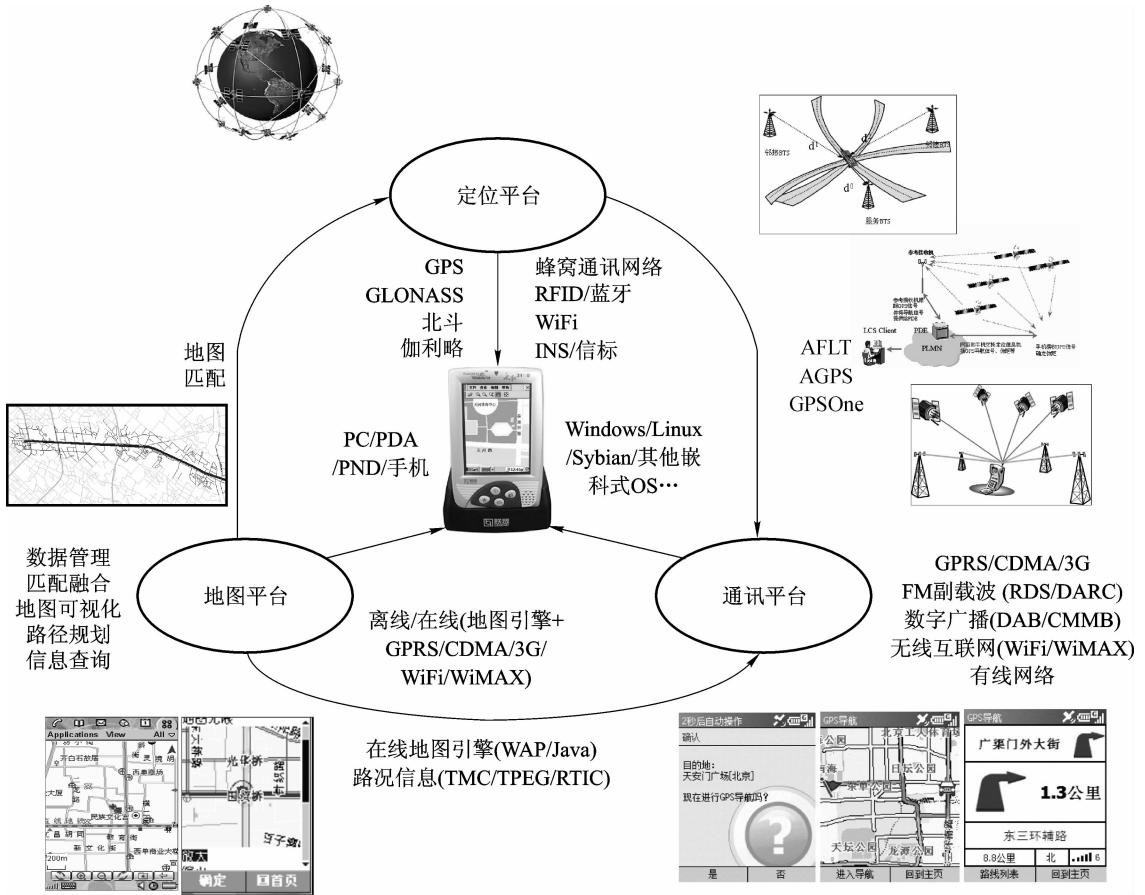


图 1 出行信息服务技术平台结构

Fig. 1 Architecture of travel information service platform

3.1 通讯平台

出行信息服务涉及的通讯平台主要包括数字广播系统、移动通信网络、有线/无线互联网络等 3 种。

(1) 数字广播系统

最初的数字广播系统 (RDS) 由欧洲广播联盟组织开发,利用 FM 广播剩余的带宽资源提供数据通信服务,数据传输速率为 1.2 Kbps 左右^[3]。日本 NHK 公司开发的 DARC (data audio radio channel), 数据传输速度提高到 16 Kbps,和 RDS 相互兼容^[4]。目前美日欧等发达国家纷纷利用 DARC 系统开展数据广播业务,产品包括以日本 VICS 为代表的车载移动接收设备,及其以瑞典等国 SWIFT 系统为代

表的可视信息接收机^[5]。RDS 和 DARC 成本低廉、技术成熟、覆盖范围广,且干扰音频广播。目前国内已经有部分城市利用 RDS 和 DARC 技术发布路况信息,终端设备通过嵌入式的 FM 副载波接收芯片获取路况信息并实现动态导航过程。

数字音频广播 (DAB) 在 20 世纪 80 年代后期出现,是继 AM、FM 传统模拟广播之后的第 3 代广播技术。DAB 具有接收质量高、抗干扰性强、发射功率小、覆盖面积大、频谱利用率高、适合高速移动接收等特点,可以取代 FM 副载波成为数字广播的承载体^[6]。作为一种极具优势的高带宽域域数字广播标准,DAB 目前已经在国内部分城市投入商用,

发布路况、新闻、电视与数字广播等地方性信息服务。相关的导航产品也已经面世。

中国移动多媒体广播 CMMB 是国内自主研发的第 1 套面向多种移动终端的数字广播系统,实现了“天地”一体覆盖和全国漫游,在 2008 北京奥运会前开始提供服务。截止到 2009 年 1 月,CMMB 信号已覆盖全国 37 个主要城市和 113 个地级市。CMMB 业务平台由公共服务平台、基本业务平台、扩展业务平台等 3 个平台构成。公共服务平台提供公益类广播电视和政务信息、紧急广播信息服务;基本业务平台提供基本数字广播电视和数据服务;扩展业务平台提供扩展广播电视和综合信息服务。目前,CMMB 主要以移动数字广播电视服务为主,扩展服务中综合信息、双向交互等服务将随着业务的发展逐渐推广应用^[7]。CMMB 和 DAB 互相补充,可提供从全国到城市的多种数据服务。

(2) 移动通信网络

目前,移动通信技术正在从第 2 代的 GSM 和 CDMA、2.5 代的 GPRS 和 CDMA 1X 向第 3 代的 WCDMA、CDMA2000 和 TD-SCDMA 发展。作为新一代的移动通信系统,3G 能够处理图像、音乐、视频流等媒体形式,提供多媒体通信、电话会议、网页浏览、电子商务等多种信息服务。国内 3 家 3G 运营商目前正在加紧 3G 基础设施建设。至 2009 年底,中国移动将在 238 个地级城市提供 3G 服务,东部省地市实现全覆盖;中国电信将在 300 个以上城市提供服务;中国联通将在 282 个城市提供服务。

2008 年,我国移动通信用户已经超过 5 亿,高居世界第一。三大运营商 2008 年净利润突破千亿大关。作为移动通信增值服务的出行信息服务具有巨大的市场发展潜力。但长期以来,受制于 2.5G

的服务价格,及其过短的市场培育期,以车载导航为主体的出行信息服务并未充分利用 2.5G 移动通信技术所带来的有利条件。国内基于 2.5G 移动通信网络的动态导航产品也才刚刚上市。未来几年内,随着 3G 移动通信网络的推广,利用 3G 高速的数据传输能力,提供增值服务将成为 3G 手机发展的主流。出行信息服务将占有 3G 服务很大的市场份额。

(3) 有线/无线互联网络

近 10 年来,中国互联网络飞速发展。目前中国上网人数已经接近 3 亿。作为目前地图网站和公众出行信息网的主要载体,互联网络将继续向更高带宽、有线/无线无缝接入的方向发展。

相对有线网络,无线互联网络在国内的发展相对缓慢,目前只有个别城市在部分区域建立了 WiFi 无线网络。国际上,全球微波互联接入技术(WiMAX)作为一种新兴的宽带无线接入技术正在得到广泛关注。2007 年 10 月,WiMAX 正式被国际电信联盟批准成为继 WCDMA、CDMA2000 和 TD-SCDMA 之后的第 4 个全球 3G 标准。相比 WiFi 的 100m 数据传输距离,WiMAX 数据传输距离最远可达 50km,服务质量稳定、传输速率高。网络覆盖面积是 3G 发射塔的 10 倍,所能提供的最高接入速度是 3G 的 30 倍。因此,WiMAX 定位为 3G 标准,却拥有 3.5G+ 的性能,采用的却是 4G 的核心技术,目前在国内业界将其定位为城域宽带移动接入,是移动通信网络的补充^[8]。随着技术标准的发展,WiMAX 将逐步实现宽带业务的移动化,而 3G 则将实现移动业务的宽带化,两种网络的融合程度将会越来越高。

各种无线通讯方式的数据传输带宽对比如表 1 所示。

表 1 无线通讯方式数据传输带宽对比

Tab. 1 Bandwidth comparison among wireless communication techniques

	3G	GSM/CDMA	GPRS/CDMA	DAB/CMMB	WiFi/WiMAX
传输速度 (bps)	静止:2M 步行:384K 驾车:144K	9.6K ~ 28.8K	115K ~ 300K	8M ~ 25M	11M ~ 75M

3.2 定位平台

移动目标定位技术主要分为 3 类:卫星定位、蜂窝通信网络定位和混合定位。GPS、GLONASS、北

斗、伽利略等导航卫星定位方式精度高,范围广,但要求空间无信号遮挡。蜂窝通信网络定位包括 Cell-ID、ALFT(advanced forward link trilateration)等

技术^[9]。Cell-ID 通过终端所在蜂窝基站标识来确定终端的位置,定位精度取决于蜂窝小区的大小,其优势是网络不需修改、运营成本低,缺点是精度较低。ALFT 通过记录信号到达两个基站的时间差来计算移动终端到基站的距离,通过交会方式确定移动终端位置。精度高于 Cell-ID 方式。基于 WiFi/WiMAX 网络的移动终端定位也采用了类似的技术。混合定位采用导航卫星信号与移动通讯信号联合定位方式,如 A-GPS 和 GPSOne 技术。A-GPS 在定位时,网络根据移动终端所在蜂窝小区位置,迅速确定

移动终端上空的 GPS 卫星信号,加速搜星过程,从而提高 GPS 卫星定位速度。同时,可以利用移动通讯网络发送差分信号到移动终端,提高定位精度。GPSOne 是美国高通公司推出的移动终端定位解决方案。定位时,首先使用 A-GPS 定位,在 GPS 卫星视野被部分/全部阻挡时辅助采用 AFLT 技术。采用 GPSOne 技术,只要有一颗 GPS 卫星和一个基站信号即可完成定位过程,确保定位精度和速度。在上述定位手段均实效时使用 Cell-ID 定位确保定位成功率。各种定位方式的比较如表 2 所示。

表 2 移动终端定位方式比较

Tab. 2 Comparison among mobile terminal positioning techniques

	传统 GPS	Cell-ID	AFLT	A-GPS	混合定位	WiFi/WiMAX
定位精度(m)	30	>200	40~400	3~30	3~50	20~40
适用范围	无遮挡	城市较好	城市较好	无遮挡	无限制	无限制
定位速度(s)	30~900	<10	<10	<10	<10	<10
终端要求	GPS	手机	CDMA/3G	手机+GPS	CDMA/3G+GPS	无线网卡

3G 环境下随着移动通讯基站密度进一步提高,AFLT 定位技术将大行其道,定位精度也将进一步提高,对 GPS 的依赖将进一步降低。

3.3 地图平台

地图平台是各种出行信息服务应用的共性技术平台,承担空间数据存储和管理、空间查询与路径规划、可视化等任务。随着导航产业的不断发展,目前各种不同的出行信息服务应用在底层地图数据库上表现出趋同性,纷纷采用多尺度导航数据模型作为底层空间数据组织标准。在数据存储方式上,对于地图网站等应用形式,一般采取瘦客户端方式;对于个人和车载导航等应用形式,胖瘦两种客户端方式并存。胖客户端将静态地图数据存储在终端设备上,路况等动态信息实时传输。此方式地图读取速度快,但对客户端平台计算和存储能力要求较高,相对静态的地图数据组织方式也不便于数据的及时更新。瘦客户端方式则将地图数据和动态变化信息存储在服务器端,客户端通过实时通讯获取所有数据。此方式对客户端平台要求较低。而且由于数据直接来源于服务器端,便于客户端及时获取最新的地图数据。但这种方式对通讯平台要求很高。从产业发展趋势来看,随着存储介质成本的迅速降低和嵌入式 CPU 的快速发展,瘦客户端方式意义有限。首先目前的移动通讯成本较高,实时地图数据传输量受

限;其次地图更新的主要瓶颈在于信息采集过程而不是传输过程,服务器端地图数据与客户端相比一般差异不大,采用增量形式及时发布地图更新信息是目前的技术趋势。

4 出行信息服务 GIS 相关技术进展

4.1 交通路况采集与处理

目前,交通路况采集存在自动采集和人工采集两种方式。自动采集方法包括固定传感器(感应线圈、监控视频和图像识别)、遥感影像处理、移动采集终端等。感应线圈可准确采集路段交通流信息,但安装和维护成本高,易受环境影响,难以广泛布设。视频监控设备能够采集最直观的交通路况,但数据传输量大,信息提取和处理难度高。遥感影像处理成本低廉,无需布设地面传感器,可迅速掌握城市整体交通流状况,适合于城市交通规划过程,但无法获取实时路况信息。随着 GPS 和无线通讯技术的广泛应用,利用安装 GPS 和无线通讯设备的移动车辆——浮动车采集交通路况信息正逐渐受到重视^[10],目前也在国内多个城市推广应用。浮动车采集方式无需地面固定传感器,建设周期短、覆盖范围广、采集效率高、数据精度高、实时性强,与固定传感器采集方式相比具有明显优势。但浮动车技术对复

杂路段(如立交桥、高架路)的交通路况信息采集的准确性有待提高,而且浮动车技术也难以获取精确到点的突发性路况信息或交叉口路况信息。此外,目前利用手机信令分析来获取交通路况信息的技术也已经面世,并在地图网站得到应用(如 <http://map.google.com>, <http://www.trafficcast.com.cn>)。此技术充分利用了现有的手机网络资源,通过实时分析海量用户手机的原始信令变化过程来获取交通路况信息,建设成本很低,并且由于用户数巨大使得覆盖范围更广,布设方便,正在美国、欧洲等国家得到论证和推广^[11-12],但对数据处理技术的要求很高。人工采集方式即通过交通管理者、出行者根据所看到的路况(实地或大屏幕),通过电话、短信向信息中心实时报告路况信息,是采集突发性点状交通事件的最有效方式。此方法的缺陷是信息采集不全面,有延迟、并且所报告的交通信息多是以自然语言表达的,数据处理比较复杂。

通过多种途径采集的交通路况信息在投入出行信息服务应用前,需要进行融合处理。路网信息融合是从几何、语义等层次上,组织和集成多源、多层次、不同精度的空间信息和交通信息,处理路网特征实体间的空间与语义关系,整合成统一的路网信息几何分布、拓扑、语义、时态数据集的信息加工过程。其关键在于路况信息的自然语言理解及线性参照系统(LRS)与空间路网的匹配融合,包括 LRS 地址信息与空间几何坐标信息的融合、多源 LRS 的融合,及其 LRS 与 GIS 定位方式的融合^[13-14]。

4.2 空间数据模型

空间数据模型通过表达与组织道路空间信息以及动态交通信息,为出行路径规划、信息查询、路线导引等提供数据支持。采用导航空间数据模型是目前出行信息服务空间数据组织和管理的趋势。导航空间数据模型经历了从平面模型到非平面模型,从基于道路中心线模型到基于路幅模型乃至基于车道模型,从节点-弧段网络模型到基于线性参照体系和动态分段的数据模型的发展历程,并向多维、时空一体化的时空数据模型方向延伸^[14-18]。

目前,导航数据模型的研究正向更精细的方向发展,基于路幅(Roadway)的数据模型已经成为目前导航空间数据表达的主流模型^[19-21]。基于车道(Lane)的数据模型也多有研究^[22-23]。车道模型符合现实交通行为,但数据量大、网络拓扑建模与分析困难。此外,发展 3 维道路网数据模型也已经提到

议事日程^[24-25]。

支持路网上移动对象的表达也是导航数据模型的发展方向之一^[21,26]。海量移动对象的管理和实时分析是服务器端的出行信息服务(如 Location-aware push service)的核心技术。基于海量移动对象的数据挖掘也是 Microsoft, Google 等诸多国际厂商极为重视的研究方向。

此外,在底层导航路网基础上,利用线性参照以及动态分段等技术,构建多模式动态交通网络模型,综合考虑自驾车、公交/轨道交通以及步行网络等出行模式承载网络的表达,支持多模式多标准动态出行路径的规划过程,也是面向公众提供出行信息服务的重要技术问题^[27-29]。

4.3 出行路径规划

路径规划是出行服务研究领域的基本问题。相关算法层出不穷。严密和启发式的串行算法一直是业界研究的重点^[30-32]。严密算法几乎已经到达理论上的时间复杂度极限。启发式算法在可以接受的精度损失前提下,大幅度提高了算法效率。常用的启发式策略包括分枝修剪法、A* 算法、分层搜索法等^[31-33]。分枝修剪法和 A* 算法通过限制搜索范围或搜索方向缩小搜索空间,提高算法效率,其主要适合距离最短路径搜索。分层搜索模拟个体对路径选择的认知过程,引入“分而治之”的策略,缩减搜索空间,提高算法效率。部分学者提出基于图划分的路网分层方法,如 HEPV 模型^[34]、HiTi 模型^[35]以及 HH 方法^[36],通过预计算提高算法效率。目前还有一种研究趋势是利用从移动对象轨迹数据中挖掘出的“热点路径”来辅助路网分层,从而提高层次路径规划的合理性与可用性^[37-38]。

考虑动态交通信息的实时路径规划是出行信息服务的必然趋势。实时路径规划包括两种形式,一是路段权值变化所引起的路径重优化问题,可通过修改最短路径搜索树来求解。但路径重优化只是将实时交通信息当作调整权重的系数,没有考虑车辆进入路段时刻的实际行程时间,不符合现实交通行为。另一种形式是将路段行程时间看成时间依赖变量。时间依赖路径规划在满足“先进先出(FIFO)”条件的情况下,可以通过扩展传统的静态算法来求解,如基于流速度模型的改进 Dijkstra 算法^[39]、改进 A* 算法^[40]。面向公众的出行信息服务,除了要研究限定出发时间的路径规划问题外,还需要研究限定抵达时刻的路径规划算法。

另外,公众出行路径选择通常是多种交通模式组合优化的过程。而目前所提出的多模式环境下的出行路径算法,基本上是将静态路径算法加以改进,以适应多模式逻辑网络,但是由于涉及多模式的路径查询需要建立多种交通模式特征之间连通关系,并能够有效处理复杂路网的特殊规则,而目前的分层独立模型无法做到这一点。此外,涉及时态信息的应用,如交通管制信息、实时路况信息本质上会造成路网特征之间语义上的连通关系发生动态变化,对目前静态的路网连通关系表达与应用过程提出了新的挑战。

4.4 短时交通预测

随着交通流实时采集发布技术的发展,越来越多的导航系统开始提供基于实时路况的动态导航服务。然而,单纯依赖目前的实时交通流采集技术,只能得到路网的瞬时交通流状态信息,一旦获取就成为历史信息,并且很难覆盖到全部路网,从而使得目前的动态导航系统实用价值不高,市场发展缓慢。公众出行的时间段特性要求出行信息服务必须具备较可靠的短时交通预测能力,即能够预测某条道路甚至整个路网在未来几分钟直至几个小时内交通流状况的变化情况^[41]。多年来众多学者提出了多种短时交通预测模型和方法,包括滑动平均模型、回归模型、ARIMA 模型、Kalman 滤波模型、基准函数—指数平滑模型、谱分析方法、多维分形方法、小波分析方法、神经网络方法、元胞自动机与智能体方法、核机器方法、基于知识的综合行程时间预测模型等^[42-46]。传统的短时交通预测方法,大都是基于数理统计的方法,建立数据序列的主观模型,然后根据主观模型进行计算和预测。而交通流系统是一个有人参与的、变化频繁的复杂系统,具有高度的非线性和不确定性,很难建立精确的主观模型,模型运算效率很低,预测结果精度不高。目前投入应用的交通预测产品和地图网站,主要是利用城市交通流变化的一般规律性,利用数据挖掘技术,通过海量历史同期数据的统计分析和学习过程,获取交通流的变化规律,并将其应用于出行服务过程。在当前基于现势交通流状态的实时交通预测尚难以投入应用的环境下,这一方法具有一定的实用性。

此外,由于交通系统的参与者同时也是交通系统的影响者,随着动态路况和预测信息发布的普及,不可避免地会带来交通预测的一致性矛盾,即交通

流预测结果的发布会改变交通流本身,从而使得交通流预测实效,预测结果不能符合用户实际的出行体验。研究此类问题目前比较认可的方法是采用计量经济学中的离散选择模型^[47],研究出行者对实时交通信息的响应和行为过程。但此方法目前一直处于研究阶段,距实用还有很大距离。

4.5 路网与交通信息的可视化技术

在出行信息服务中,电子地图是道路设施、交通标志、兴趣点(POI)、规划路径、交通状况等时空数据表达的载体,是系统与用户交互的通道。设计开发高效的电子地图可视化方法是提高出行服务实用化程度的重要手段。一般来说,导航电子地图的可视化通常采用多尺度表达方法,也就是说,对同一区域采用多套比例尺数据,根据比例尺缩放进行无缝切换^[48]。这类方法虽然简单有效,但表达生硬,用户认可度不高。为了实现电子地图表达的个性化,需要引入面向用户的自适应策略。

电子地图自适应可视化是指在电子地图的使用过程中,由于用户自身的地图操作行为、电子地图系统本身或者外部环境的变化而引起的电子地图可视化内容、方式、质量和结构等的相应自动变化机制^[49]。一种典型的电子地图自适应可视化方法是变比例尺可视化^[50-51],在同一版本数据中将局部范围突出夸大,形成“近大远小”的视觉效果。针对屏幕受限移动设备上目标的可视化表达,如何自动确定可视化空间范围,实现空间对象比例尺的无极变换,实现动态可视化是一个研究热点。此外,针对网络地图可视化,基于渐进性矢量传输的地图自适应缩放方法将是以后的发展方向^[52-53]。未来的出行信息服务除了需要实现地图数据的自适应表达外,还需要能对动态交通信息进行实时匹配和符号化,实现面向不同应用终端的时空信息的个性化表达。

4.6 服务标准规范

(1) 导航地图数据标准

ISO GDF4.0 是国际著名的导航地图数据交换标准,包括导航数据模型与数据交换格式,数据模型定义了数据内容和数据的表达规则,而数据交换格式则定义了元数据内容以及数据的逻辑和物理存储规范^[54-55]。GDF 描述了一种3层路网结构,即几何描述层(0-层)、简单要素层(1-层)和复杂要素层(2-层)。目前,支持时态扩展的下一代 GDF 标准(X-GDF)正在研究中。

在物理存储格式方面,目前 KIWI 和 SDAL 格式应用最为广泛。KIWI 是由日本 KIWI-W 协会制定的开放的存储格式,具有表达对象紧凑、支持未来扩展、允许互用性和个性化等特点。SDAL 是美国 Navteq 公司的存储格式。通过 SDAL 编译器,可以把一般的电子地图数据转换为 SDAL 格式,进而由 SDAL 程序接口调用,用于导航应用。

我国相关研究机构也一直致力于导航地图数据标准的研究。国家标准《导航地理数据模型与交换格式》规定了导航地理数据库概念模型、逻辑模型和数据交换格式,阐述了这类数据库可能具有的内容(要素、属性与关系),并说明了如何表达这些内容、定义数据库元数据^[56]。

(2) 交通信息编码协议

广泛应用于 RDS-TMC 系统的交通信息编码协议 ALERT-C 由欧洲推出,目前已经成为国际标准。ALERT-C 协议中定义了专门的事件编码和位置编码,用户可以根据具体情况进行扩充。事件编码和位置编码的存在,使得 TMC 信息具有语言独立性的优势^[4]。

由于 RDS 的传输速率太低,应用范围也受到诸多限制,欧洲广播联盟从 1997 年起开始制定新的交通信息传输协议 TPEG。TPEG 具有语言无关、传输载质无关、多模式应用等特性。同时,TPEG 可以充分利用高带宽通讯技术的优势,未来发展前景光明。TPEG 已经制定的标准包括描述道路交通的 TPEG-RTM(road traffic message)和描述公众出行信息的 TPEG-PTI(public transport information)。描述天气状况的 TPEG-WEA(weather information),描述拥堵与旅行时间的 TPEG-CTT(congestion and travel time information),描述停车场信息的 TPEG-PKI(parking information)等协议正在制定中。

中国自主提出的“导航地图交通信息路段编码技术”标准,即 RTIC Link 编码也已经进入申请国家标准阶段^[57]。RTIC Link 编码方式是以 TMC 和 TPEG 为基础,针对中国道路特征制定。该编码本着以下 3 个原则进行设计:第一,路段及节点永久编号规则:保证不同图幅、同类型图层以及同类型数据之间的永久编码不重复;第二,兼容性:保证对主流动态交通信息发布方式的支持;第三,可扩展性:保证对未来动态交通信息发布方式的顺利过渡。

5 出行信息服务发展面临的问题

作为一项新兴的产业,出行信息服务市场应用前景十分广阔。然而,必须清醒地认识到,出行信息服务的发展也面临着一些根本问题:

(1) 如何提高导航地图数据的时效性

导航地图的更新一直是出行信息服务的瓶颈问题。一方面,及时获取多尺度导航地图的几何变化信息存在诸多困难,另一方面,如何将所获取的变化信息及时反馈并融合到客户端地图中,也是久未解决的技术难题。目前所采取的通过 GPS 道路测量车采集导航地图几何变化信息的工作方式,很难及时获取路网变化信息。目前导航数据生产商所称的一年多次的替换式数据更新也很难与现状相符。提高高分辨率遥感影像路网信息提取的自动化水平、通过共享机制获取 POI 信息的及时变化,需要引起足够的重视。在更新信息表达方面,采用增量更新方式无疑更适合实时传输,有效提高更新效率。日本正在研发的新一代的导航信息服务系统所采用的 i-format 技术,即采用 C/S 结构,将地图数据存储于服务器端,通过增量方式完成数据更新^[58]。

(2) 动态交通信息如何快速处理并得到实时应用

随着获取渠道的拓宽,可快速得到大量不同来源、不同格式、不同尺度的动态交通信息。如何实现多源、多通道交通信息的准确理解与快速融合,如何快速自动化构建动态变化的路网连通关系是亟待解决的瓶颈问题,也是业界公认的难点问题,将直接影响到出行信息服务的质量。

(3) 动态路径规划算法如何更快速、准确

目前出行信息服务应用中的路径规划多采用静态算法加当前时刻路段权值的方式,没有考虑车辆进入路段时刻的实际路阻,出行路径规划结果误差很大,不符合用户的出行体验,更不能针对所有服务用户需求,规划出“交通系统全局最优”的出行路径集,更无法进行复杂的时间相关的行程安排。如何在动态出行路径规划的瓶颈——短时交通流预测上取得突破性进展,发展效率和精度较高的动态路径规划算法将是出行信息服务永远追求的目标。

(4) 多种交通模式如何集成,满足公众多标准出行需求

目前的出行信息服务基本上以单模式出行为

主,极大地抑制了公众的使用兴趣。如何构建多模式交通数据模型,建立多种交通模式特征之间的动态连通关系,有效处理复杂路网的特殊规则,满足公众多模式多标准复杂行程安排的需求,实现“门到门”的服务,是出行信息服务品质能否提升的关键。

(5)当带宽和性能瓶颈消除后,如何充分淡化移动终端的基本矛盾

随着3G和数字广播技术的不断发展和普及,及其移动终端性能的不提高,阻碍移动终端出行信息服务的瓶颈将很快集中在可视面积、输入界面面积、输入方式、设备体积、电池续航能力均受限的设备终端上。目前许多出行信息服务系统都将重点放在了功能实现、性能提高上,对产品的易用性重视不够。如何从认知心理学的角度出发,深入研究并设计高效、人性化、智能、多通道的软件操作与可视化界面(如3D地图、语音操作、自然语言查询),激发用户的使用兴趣,简化用户的使用过程,是提高出行信息服务易用性的关键所在。

(6)如何充分挖掘需要移动终端和服务提供方之间互动的信息需求

随着3G移动通讯的发展和普及,有可能将现有的出行信息服务模式从全局push模式,发展到on-site push & pull模式,实现位置和需求依赖的实景影像渐进传输,及其沿线路况视频点播,并为全局最优的中心导航方式提供技术基础。这需要充分挖掘移动终端和服务提供者之间互动的信息需求,为3G的出行信息服务产业化应用发掘更多的增长点,向出行信息服务的“杀手级应用”目标迈进。

参考文献 (References)

- Dallas T X (SPX). GPS-integrated mobile devices nearing one billion units by 2012 [J]. The Newsletter of China-Europe GNSS Technology Training and Cooperation Center, 2008, (35): 4. [Dallas T X (SPX). GPS-integrated mobile devices nearing one billion units by 2012 [J]. 中欧卫星导航技术培训合作中心简讯, 2008, (35): 4.]
- Tada A, Inoguchi T, Fujiwara Y. The evolution of “toyota telematics G-BOOK” -the latest automotive telematics and multimedia service system in Japan [A]. In: Proceedings of 12th World Congress on Intelligent Transportation System [C/CD], San Francisco, CA, USA, 2005.
- Qing Xiao-jun, Lan Bin, Li Jun-huan, *et al.* Dynamic vehicle navigation system based on RDS-TMC [J]. Application Research of Computers, 2006, 23(5): 182-184. [秦晓军, 兰滨, 李军焕等. 基于RDS-TMC技术的车辆动态导航系统 [J]. 计算机应用研究, 2006, 23(5): 182-184.]
- Lan Bin, Qing Xiao-jun. Design and Implementation of dynamic in-vehicle navigation system [J]. Computer & Information Technology, 2005, (6): 26-28. [兰滨, 秦晓军. 车载动态导航系统的设计与实现 [J]. 计算机与信息技术, 2005, (6): 26-28.]
- TransBBS, Introduction to DARC [EB/OL]. http://www.tranbbs.com/Techarticle/ITS/Techarticle_20448.shtml. 2008-03-20. [中国交通技术网, DARC 简介 [EB/OL]. http://www.tranbbs.com/Techarticle/ITS/Techarticle_20448.shtml. 2008-03-20.]
- Digitalradiotech, Introduction to Digital Audio Broadcasting (DAB) [EB/OL]. http://www.digitalradiotech.co.uk/dab/intro_dab.htm. 2009-04-15.
- The State Administration of Radio, Film and Television, China Mobile Multimedia Broadcasting [EB/OL]. <http://www.cmmb.org.cn/>. 2009-04-15. [中国国家广播电影电视总局, 中国移动多媒体广播 [EB/OL]. <http://www.cmmb.org.cn/>. 2009-04-15.]
- MicroVoIP, WiMAX Technical Article Library [EB/OL]. <http://wimax.microvoip.com/article/>. 2009-01-13. [全球IP通信联盟. WiMAX 技术文库 [EB/OL]. <http://wimax.microvoip.com/article/>. 2009-01-13.]
- Zhao Yi-lin. Mobile phone location determination and its impact on intelligent transportation systems [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2000, 1(1): 55-64.
- Tong D. Traffic information deriving using GPS probe vehicle data integrated with GIS [A]. In: Proceedings of GIS-T'2006 Symposium [C], Columbus, Ohio, USA, 2006: 27-29.
- Bar-Gera H. Evaluation of a cellular phone-based system for measurements of traffic speeds and travel times; A case study from Israel [J]. Transportation Research Part C, 2007, 15(6): 380-391.
- Trafficcast Corp. The First All-Series Traffic Data Product Released [EB/OL]. [http://www.trafficcast.com.cn/news_80.12.12\(1\).htm](http://www.trafficcast.com.cn/news_80.12.12(1).htm). 2008-12-12. [美慧信息科技. 中国第一款全线交通数据产品问世 [EB/OL]. [http://www.trafficcast.com.cn/news_80.12.12\(1\).htm](http://www.trafficcast.com.cn/news_80.12.12(1).htm). 2008-12-12.]
- Chen Chuan-bin, Lu Feng, Li Hui-guo, *et al.* Discussion on information fusion technology system for urban road network management and traveling service [A]. In: Proceedings of 1st China GIS-T Seminar [C], Wuhan, China, 2007, 1: 391-398. [陈传彬, 陆锋, 刘惠国等. 面向城市路网管理与出行服务的信息融合技术体系探讨 [A]. 见: 第一届中国交通地理信息系统技术研讨会论文集 [C], 武汉, 2007, 1: 391-398.]
- Goodchild M F. GIS and transportation: status and challenges [J]. Geoinformatica, 2000, 4(2): 127-139.
- Scarponcini P. Generalized model for linear referencing in transportation [J]. GeoInformatica, 2002, 6(1): 35-55.
- Koncz N, Adams T. A data model for multi-dimensional transportation applications [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2002, 16(6): 551-569.
- Li Qing-quan, Yang Bi-sheng, Zheng Nian-bo. An integrated spatio-temporal data model for gis-transportation and related applications [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2007,

- 32(11): 1034-1041. [李清泉, 杨必胜, 郑年波. 时空一体化 GIS-T 数据模型与应用方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2007, 32(11): 1034-1041.]
- 18 Zhu Qing, Li Yuan. Review of road network models[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2007, 2(6): 471-476. [朱庆, 李渊. 道路网络模型研究综述[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2007, 32(6): 471-476.]
- 19 Lu Feng, Zhou Cheng-hu, Wan Qing. A feature-based non-planar data model for urban traffic networks [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2000, 29(4): 334-341. [陆锋, 周成虎, 万庆. 基于特征的城市交通网络非平面数据模型[J]. 测绘学报, 2000, 29(4): 334-341.]
- 20 Lu Feng, Zhou Cheng-hu, Wan Qing. Implementation of a feature-based non-planar database for urban traffic networks [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2002, 31(2): 182-186. [陆锋, 周成虎, 万庆. 基于特征的城市交通网络非平面数据库的实现[J]. 测绘学报, 2002, 31(2): 182-186.]
- 21 Li X, Lin H. A trajectory-oriented, carriageway-based road network data model, part II: methodology [J]. Geo-spatial Information Science, 2006, 9(2): 112-117.
- 22 Fohl P, Curtin K M, Goodchild M F, et al. A non-planar, lane-based navigable data model for ITS[A]. In: Proceedings of the 7th International Symposium on Spatial Data Handling [C], Delft, Netherlands, 1996: 423-435.
- 23 Zuo Xiao-qing, Li Qing-quan, Xie Zhi-ying. Lane-based road data model [J]. Journal of Chang 'an University (Natural Science Edition), 2004, 24(2): 73-76. [左小清, 李清泉, 谢智颖. 基于车道的道路数据模型[J]. 长安大学学报(自然科学版). 2004, 24(2): 73-76.]
- 24 Zuo Xiao-qing, Li Qing-quan, Tang Lu-liang. 3D modelling and data organization of highway [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2004, 29(2): 179-183. [左小清, 李清泉, 唐炉亮. 公路三维数据模型建立与数据组织[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2004, 29(2): 179-183.]
- 25 Zhu Q, Li Y. Hierarchical lane-oriented 3D road-network model[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2008, 22(5): 479-505.
- 26 Güting R H, de Almeida V T, Ding Z. Modeling and querying moving objects in networks[J]. The VLDB Journal, 2006, 15(2): 165-190.
- 27 Xiong Li-yin, Lu Feng, Chen Chuan-bin. Connectivity model for multi-model urban transportation networks [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2008, 33(4): 393-396. [熊丽音, 陆锋, 陈传彬. 城市多模式交通网络特征连通关系表达模型[J], 武汉大学学报(信息科学版), 2008, 33(4): 393-396.]
- 28 Choi K, Jang W. Development of a transit network from a street map database with spatial analysis and dynamic segmentation [J]. Transportation Research Part C, 2000, 8(1-6): 129-146.
- 29 Wu Xin-cai, Yang Lin, Zhou Shun-ping, et al. Multimodal supported composite transportation network model[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2008, 33(4): 341-346. [吴信才, 杨林, 周顺平等. 支持多模式的复合交通网络模型研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2008, 33(4): 341-346.]
- 30 Lu Feng. Shortest path algorithms; taxonomy and advance in research [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2001, 30(3): 269-275. [陆锋. 最短路径算法: 分类体系与研究进展[J]. 测绘学报, 2001, 30(3): 269-275.]
- 31 Lu F, Lai P C. A shortest path algorithm based on limited search heuristics [J]. Lecture Notes in Computer Science, 2006, 3967: 487-497.
- 32 Fu L, Sun D, Rilett L. Heuristic shortest path algorithms for transportation applications: state of the art [J]. Computers & Operation Research, 2006, 33(11): 3324-3343.
- 33 Wagner D, Willhalm T. Speed-up techniques for shortest-path computations[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2007, 4393: 23-36.
- 34 Jing N, Huang Y W, Rundensteiner E A. Hierarchical encoded path views for path query processing: an optimal model and its performance evaluation [J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 1998, 10(3): 409-431.
- 35 Jung S, Pramanik S. An efficient path computation model for hierarchically structured topographical road maps [J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2002, 14(5): 1029-1046.
- 36 Sanders P, Schultes D. Highway hierarchies hasten exact shortest path queries[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2005, 3669: 568-579.
- 37 Gonzalez H, Han J, Li X, et al. Adaptive fastest path computation on a road network: a traffic mining approach[A]. In: Proceedings of Very Large Database '07 [C], Vienna, Austria, 2007: 794-805.
- 38 Jiang B. Street hierarchies: a minority of streets account for a majority of traffic flow[EB/OL]. http://pdfserve.informaworld.com/367866909052048_902488435.pdf.
- 39 Sung K, Bell M, Seong M, et al. Shortest paths in a network with time-dependent flow speeds [J]. European Journal of Operational Research, 2000, 121(1): 32-39.
- 40 Chabini I, Lan S. Adaptations of the A algorithm for the computation of fastest paths in deterministic discrete-time dynamic networks[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2002, 3(1): 60-74.
- 41 Shi Qi-xin, Zheng Wei-zhong. Short-term traffic flow prediction methods comparison of road networks [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(4): 68-71. [史其信, 郑为中. 道路网短期交通流预测方法比较[J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(4): 68-71.]
- 42 Yin H, Wong S, Xu J. Urban traffic flow prediction using a fuzzy-neural approach[J]. Transportation Research Part C, 2002, 10(2): 85-98.
- 43 Li Cun-jun, Yang Ru-gui, Zhang Jia-shu. Traffic prediction based on wavelet analysis[J]. Computer Applications, 2003, 23(12): 7-8. [李存军, 杨儒贵, 张家树. 基于小波分析的交通流量预测方法

- [J]. 计算机应用, 2003, **23**(12): 7-8.]
- 44 Pan Ming-yang, Yan Fei, Xie Hai-yan. Intelligent traffic simulation based on agent and cellular automata [J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2006, **6**(2): 70-74. [潘明阳, 严飞, 谢海燕. 基于智能体与元胞自动机的智能交通仿真[J]. 交通运输工程学报, 2006, **6**(2): 70-74.]
- 45 Jiang Gang, Xiao Jian. Real-time forecast of urban traffic flow based on kernel machine method [J]. *Computer Engineering*, 2006, **32**(17): 48-51. [蒋刚, 肖建. 基于核机器方法的城市交通流量实时预测[J], 计算机工程, 2006, **32**(17): 48-51.]
- 46 Yang Zhao-sheng. *Urban Traffic Flow Guidance System* [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2004. [杨兆升. 城市交通流诱导系统[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004.]
- 47 Train K. *Discrete Choice Methods With Simulation* [EB/OL]. <http://elsa.berkeley.edu/choice2/all.zip>, 2003.
- 48 Xu Jing-hai, Li Qing-quan, Song Ying, *et al.* Research on map displayment based on Kiwi data format [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2005, **30**(10): 866-869. [徐敬海, 李清泉, 宋莺等. 基于 Kiwi 数据格式的地图显示研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2005, **30**(10): 866-869.]
- 49 Wang Hong, Ai Ting-hua, Zhu Guo-ru. Adaptive strategy on the visualization of electronic map [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2004, **29**(6): 525-528. [王洪, 艾廷华, 祝国瑞. 电子地图可视化中的自适应策略[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2004, **29**(6): 525-528.]
- 50 Ai Ting-hua, Liang Rui. Variable-scale visualization in navigation electronic map [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2007, **32**(2): 127-130. [艾廷华, 梁蕊. 导航电子地图的变比例尺可视化[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2007, **32**(2): 127-130.]
- 51 Yang Bi-sheng, Sun Li. Adaptive multi-scale visualizations of road network for navigation [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2008, **33**(4): 363-366. [杨必胜, 孙丽. 导航电子地图的自适应多尺度表达[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2008, **33**(4): 363-366.]
- 52 Bertolotto B, Egenhofer M J. Progressive transmission of vector map data over the world wide web [J]. *GeoInformatica*, 2001, **5**(4): 345-373.
- 53 Yang B. A multi-resolution model of vector map data for rapid transmission over the internet [J]. *Computers & Geosciences*, 2005, **31**(5): 569-578.
- 54 ISO/WD 19990722- 2, GDF: Geographic Data Files Standard, version 4.0[S].
- 55 Konijn M. Harmonization of dynamic traffic data, based on GDF [EB/OL]. www.ertico.com/download/misc/GDF/Harmonisation_konijn.pdf.
- 56 GB/T 19711- 2005, Data model and data exchange format for navigation spatial database[S]. [GB/T 19711-2005. 导航地理数据模型与交换格式[S].]
- 57 NavInfo Corp. What is RTIC [EB/OL]. <http://www.navinfo.com.cn/static/20081223197.html>. 2009-04-20. [四维图新. RTIC 是什么 [EB/OL]. <http://www.navinfo.com.cn/static/20081223197.html>. 2009-04-20.]
- 58 I-format forum. About i-format: overview [EB/OL]. <http://www.ifformat.org/english/ifsum.html>. 2009-04-20.