

自然语言表达实时路况信息的路网匹配融合技术

陈传彬^{1,2)} 陆 锋²⁾ 励惠国²⁾ 王钦敏¹⁾

¹⁾ (福州大学福建省空间信息工程研究中心 数据挖掘与信息共享教育部重点实验室,福州 350002)

²⁾ (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 目前我国大中城市交通信息采集和传输的技术瓶颈已经基本解决,但是实时交通路况信息难以进一步与底层路网空间信息匹配和融合,造成大量路况信息难以得到有效应用,直接影响车载导航系统、公众出行信息平台、物流运输系统等位置服务(LBS)与智能交通系统(ITS)应用的服务水平。本文针对多以自然语言表达的实时路况信息与路网空间信息匹配融合这一技术难题,分析了实时路况信息的多源异构线性参照方法(LRM)表达形式,将中文自然语言理解技术融入信息融合过程,利用改进最大匹配算法实现了自然语言表达实时路况信息的自动化、智能化处理,并通过原型系统实现和实例应用验证了技术方案的有效性。

关键词 路况信息融合 自然语言理解 线性参考方法 最大匹配算法

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)08-1669-08

Matching Urban Traffic Information in Chinese Natural Language with Road Network

CHEN Chuan-bin^{1),2)}, LU Feng²⁾, LI Hui-guo²⁾, WANG Qin-min¹⁾

¹⁾ (Key Laboratory of Data Mining and Information Sharing of Ministry of Education, Spatial Information Research Center, Fujian Province, Fuzhou University, Fuzhou 350002)

²⁾ (State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101)

Abstract In recent years, technical bottleneck of traffic information collecting and transferring have basically been broken through, but large amounts of real-time traffic information cannot be well matched and fused with road network spatial database, which results in low efficiency in concerned applications, such as vehicle navigation system, public travel information service platform, logistics system and other ones in location based service(LBS) and intelligent transportation Systems(ITS). This paper aims to integrate real-time urban traffic information represented in Chinese natural-language with road networks spatial database, analyze linear reference methods embedded in multi-source and heterogeneous traffic information, as well as present an improved maximum matching algorithm to understand traffic information in Chinese natural-language and match it with spatial database automatically. Finally, a prototype system is developed to validate the approaches.

Keywords traffic information fusion, natural language understanding, linear reference method, maximum matching algorithm

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2006AA12Z209, 2007AA12Z241);国家自然科学基金项目(40871184)

收稿日期:2007-12-12;改回日期:2008-05-23

第一作者简介:陈传彬(1980~),男。福州大学通信与信息系统专业博士研究生。主要研究兴趣包括地理信息服务、交通 GIS 模型、路网信息融合等。E-mail:chenchb@reis.ac.cn

1 引言

随着我国国民经济的高速发展和城市化进程的加快,城市交通问题也日益严重。加强交通管理和服务水平,提高交通出行效率、降低交通环境污染,成为城市管理和公众服务的重要任务。一方面,公众迫切需要掌握和利用实时路况信息以提高出行效率,另一方面,交通管理部门也迫切需要掌握所掌握的大量实时路况信息实时传播给公众,减少信息不对称性,使路网得到均衡利用,从而缓解交通压力。目前我国各大城市交通信息采集和传输技术日趋成熟。视频、线圈、雷达、浮动车、观察哨掌上电脑(PDA)等采集手段确保在第一时间获取城市路况信息,并通过各种通讯方式汇总到交通管理部门。但实时路况信息匹配融合技术却十分欠缺,造成大量的路况信息难以得到有效应用。因此,如何使大量实时获取的以自然语言形式存在的路况信息在完成文字转换后,迅速与路网空间信息融合,成为公众出行服务的有效数据源,是事关位置服务 LBS 能否成功普及应用亟待解决的技术难题。

实时路况信息的多层面异构性和低效的路况信息人工处理模式是路况信息与路网信息融合的瓶颈。要解决这一问题,就必须突破以自然语言表达的实时路况信息的自动化处理技术。目前,针对中文自然语言理解,特别是核心的分词算法已有较多研究成果。分词算法主要分为 3 类^[1-4]:机械匹配法,依靠词典切分词汇,如最大匹配法(MM 算法)、正向最大匹配法(FMM 算法)、逆向最大匹配法(RMM 算法)、逐词匹配法等。其中,经典的最大匹配法^[5-6]及其改进算法^[7-8]研究最为广泛;语义分词法,切分时引入语义分析,如知识分词语义分析法、邻接约束法、约束矩阵法等;人工智能法,基于心理学或生理学模拟人脑思维功能,如神经网络分词法和专家系统分词法^[9-10]。但是,不同应用具有不同的特点,通用的分词算法难以有效地满足具体应用要求。目前直接针对路况信息融合特点的分词研究还十分匮乏,即使在少量的相关研究中信息理解效果也不佳。另一方面,实时路况信息间多层面的异构不仅体现在数据格式、数据精度的不一致,还涉及定位表达的多标准化,即多源线性参照方法(LRM)标准。起步较早的空间信息融合^[11-13]和交通信息

融合^[14-16]等技术已能较好地解决数据格式和精度问题。但目前多源 LRM 信息的处理技术却侧重于解决跨图层、跨拓扑网络间多种 LRM 不一致问题,采用不同的线性数据模型框架,在某一基准网基础上实现路名与里程法、控制路段法、链接与节点法等 LRM 间转换和集成^[17-20]。然而,路况信息一般不涉及跨图层数据,通常只涉及单一拓扑网络上基于参照物的 LRM 大类下多种定位表达,融合这些 LRM 形式的研究明显不足。可见,基于参照物的多源 LRM 表达形式和路况信息的中文自然语言理解是实时路况信息融合的两个薄弱环节,也是本文的研究主题所在。

2 实时路况信息和空间信息表达

2.1 实时路况信息表达

实时路况信息采用自然语言描述,具有短时动态更新和空间定位多样化的时空特性,动态更新是指以分钟作为更新周期,空间定位多样化表现为基于参照物的 LRM 中涉及多种具体定位标准。作者对路况信息的定位参照基准形式进行了总结,并在此基础上发展了路况信息描述的基于参照物的多种 LRM 形式。其中,定位参照基准表现为路口、桥梁、道路、兴趣点(POI)等现实地理空间要素。具体形式如表 1 所示。

表 1 路况信息定位参照基准形式

Tab. 1 Reference datum forms for traffic information

	类型	具体形式	实例
定位点	道路交叉口	双定位道路名	大电路北辰西路口
	道路起止路口	道路名+方向路口	大电路东口
	桥梁	桥名	北沙滩桥
	POI	POI 名	中科院地理资源所
定位线	定位	普通道路名	大电路
	道路	环路名	西三环北路

路况信息的 LRM 形式可划分为 LRM 标准定位和 LRM 基准定位。LRM 标准定位形式由定位点或定位线加入方向和偏移量信息构成,符合标准的 LRM 表达。而 LRM 基准定位中路况事件偏移量为 0~100%,覆盖整个参照物基准,不必涉及偏移量换算。二者没有本质的区别,LRM 基准定位可看成是一种特殊的 LRM 标准定位形式。具体的 LRM 表达如表 2 所示。

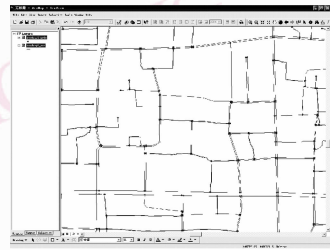
表2 路况信息的 LRM 形式

Tab.2 Linear reference methods for traffic information

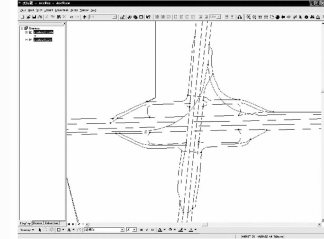
类型	具体形式	实例
LRM 标准	定位点 + 方向 + 偏移量	北沙滩桥往东 100 米
	定位线 + 方向 + 偏移量	大屯路往东 100 米
LRM 基准	定位线 + 方向	大屯路由西向东
	定位线 + 定位起终点 + 方向	大屯路北沙滩桥到北辰西路由西向东
	定位起终点 + 方向	北沙滩桥到北辰西路由西向东
	定位点 + 方向	大屯路北辰西路口由西向南
LRM 基准	定位点(立交) + 方向	北沙滩桥(上)由北向南
	定位线 + 定位点 + 方向	大屯路北沙滩桥(上)由北向南
	定位线	大屯路
	定位线 + 定位起终点	大屯路北沙滩桥到北辰西路
	定位起终点	北沙滩桥到北辰西路

2.2 路网空间信息表达

由于实时路况信息需要动态融合并能快速地提取出连通关系,路网空间模型不宜采用基于道路中心线的几何数据模型,应提升至基于路幅(Roadway,或称为车行道)管理的层面,并顾及立交桥等立体交叉要素与道路要素之间非平面拓扑关系。同时,为了适应大规模应用,模型还应符合主流数据标准定义。目前,导航行业迅猛发展,导航数据模型较为成熟,符合主流导航数据标准的、基于路幅的非平面路网数据模型不仅能满足路况信息动态融合的要求,还能无缝地与导航软件集成,易于规模化推广,因此,该研究中采用基于路幅描述非平面拓扑关系的导航数据模型作为路网空间数据模型。模型中,以非平面数据模型处理道路节点,以导航数据 GDF 模型 1-层标准组织^[21]。值得注意的是,模型以路幅作为基本组织单元,两条方向相反的路幅组成一条道路,每条路幅仅有一个行驶方向,即真实的交通通行方向。有向路幅和交叉口是基本建模对象,一条道路根据其和其他道路相交的情况而被打断成很多路幅,路幅被抽象为有向弧段,路幅与路幅的交点被抽象为节点。网络的拓扑关系即弧段和弧段、弧段和节点之间的连通关系。图 1(a)为模型中路幅和路口表达,路口通常形成“井字形”。图 1(b)为模型中立交桥表达,以非平面模型处理具有立交关系的路幅,立交处不产生节点,具有拓扑连通特性的交叉处产生节点。



(a) 路幅和路口表达



(b) 立交桥表达

图1 基于路幅的非平面数据模型表达

Fig.1 Roadway-based non-planar data model for road networks

3 关键技术

3.1 面向实时路况信息的自然语言理解技术

自然语言理解包括自然语言切分和自然语义理解两个关键步骤。图 2 表示了实时路况信息的自然语言理解流程。其中,自然语言切分算法的选择以及语义理解规则的设置是流程中最重要的一环。

目前各种流行的分词算法有着不同的技术特点和适用性。语义分词法切分精度较高,但在引入了语义分析的同时也增大了时空开销;机械匹配法较为简洁,易于实现,在工程上得到了广泛的应用,但难以处理未登录词,无法有效克服歧义切分^[22];人工智能法是最为理想的方法,不过研究还处于初步阶段,处理效率不高,不易实现。

从应用特点上看,路况信息理解只关心能否快速、正确地处理地点、方向和事件 3 种类型的关键词汇,忽略无关词汇。从信息特征上看,路况信息描述较为简短,采用规范的陈述句句型,关键词汇具有长词优先特点,存在较少的理解歧义。综合上述特点,选用最大匹配法(MM 算法)作为核心分词算法。MM 算法执行简单,无需词法、句法、语义知识的支持,不存在复杂的数据结构,采用“长词优先”策略作为评价原则,以最长的词来匹配句子中的汉字串,符合路况信息特点。但是,传统

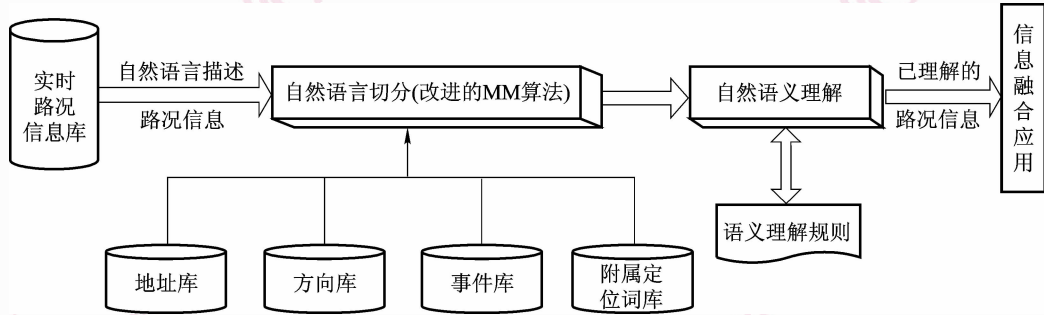


图 2 实时路况信息的自然语言理解流程

Fig. 2 Technical flow for understanding traffic information in Chinese natural-language

MM 算法难以满足信息融合的要求,必须对算法进行改进。

同样,不同的信息特点对应不同的语义理解规则,路况信息的语义理解规则包括多种 LRM 表达形式、定位基准特征规则、信息表达句法、真实信息判读经验等特有的、普适性的、经验的知识。实现上以专业词库切分出词汇、词汇的个数和顺序作为输入参数,利用定位基准特征规则判断定位基准类型,即道路、桥梁、路口和 POI。进而与多种 LRM 表达形式(表 2)相匹配,成功匹配上某一表达形式即认定已理解,否则作为噪声数据予以排除,从而利用多规则综合作用模式下的分析推理机制实现语义理解。

3.2 路况信息描述词库及数据结构设计

MM 算法以完备词库作为支撑来保证切分的正确性,词库的设计关系到算法效率。传统词库设计中往往将词库设计为通用词库和专用词库。但是信

息融合只关心关键词汇,通用词库的引入反而会带来切分效率降低、语义理解困难等问题。因而,本文改变传统 MM 算法词库设计思想,只建立详细的路况信息描述专用词库,包括地址库、方向库、事件库和附属定位词库。地址库包含了某一个特定区域中所有地物的名称。如道路名、桥梁名、POI 名等;方向库存储了路况事件中方向信息的各种表达,如由西向东、由南向北、往东、往南;事件库存储了路况事件中状态信息的多样描述,如车行缓慢、车祸;附属定位词库存储了与地址词汇结合使用、指向最终定位地址,但本身不能独立定位的词汇,如南口、东侧路等。如在匹配融合过程中遇到未登录词,可按照词汇类型,通过交互式界面补充进相应的词库中,以此不断更新词库,保证专业词汇的完备性和丰富性。

丰富的专用词库能保证切分的正确性,而合理的数据结构能确保算法的运行效率。将词库的数据

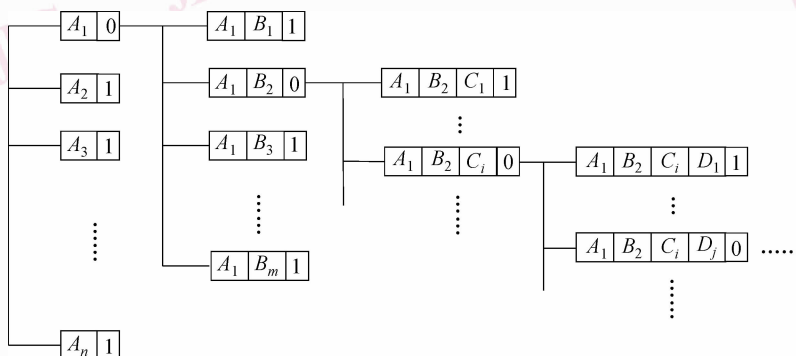


图 3 词库存储数据结构

Fig. 3 Data structure for glossary

结构设计为多层模式。图3描述了词库的数据结构。其中,最大的层数为词库中最大词的单字数。其中,字母表示一个字,数字表示成词标志,0代表当前字串不能单独成词,只是某一词汇的一部分,1则代表能成词。第1层存储单字,第2层存储以第1层的字串为前缀的双字或者双字词,第3层存储了以第2层的字串为前缀的3字或者3字词,以此类推。采用多层树型结构,能不断限定匹配范围,提高分词算法的效率。

3.3 改进最大匹配算法描述

传统MM算法的基本思想为设 D 为词库, Max 表示 D 中的最大词长, Str 为待切分的字串。MM算法每次从 Str 中取长度为 Max 的字串与 D 中的词进行匹配。若成功,则该字串为词,指针后移 Max 个汉字后继续匹配,否则字串 Str 逐次减一再与词库中词匹配,如此循环直到匹配成功^[23]。然而,词库中的最大词长通常大于所切分出的词长,逐渐减一字方式效率低下。根据算法特点,提出正向逐一递增循环方式以提高算法效率,并加入词汇隶属词库判别。改进的MM算法描述如下:

目标:对一个中文句子 $C_1C_2\cdots C_n$ 进行分词处理。

(1)选取句中第1个字 C_1 ,在词库中查找 C_1 是否存在;

(2)不存在,则切分 C_1 ,标记 C_1 为非词汇,从 C_2 开始下一次分词;

(3)存在,则取 C_2 ,在词库中进一步判断词库中以 C_1C_2 为前缀的词是否存在;

(4)不存在,则 C_1 为单词,记录 C_1 所隶属词库的标志,一次分词结束,转入(9);

(5)否则,根据成词标记判断当前字串 C_1C_2 是否成词。若成词,保存 C_1C_2 表达,转入下一步;不成词,直接转入下一步;

(6)不断循环取下一个字 C_i ,判断词库中以 $C_1C_2\cdots C_i$ 为前缀的词是否存在;

(7)若不存在,返回最近一次能成词的表达 $C_1C_2\cdots C_{i-k}$,并记录 $C_1C_2\cdots C_{i-k}$ 所隶属词库的标志;

(8)否则,将当前字串设为 $C_1C_2\cdots C_i$,转步骤5;

(9)从 C_{i-k+1} 开始下一次分词,直至判断到句子中最后一个字 C_n 。

值得注意的是,路况信息中还可能存在数字型

偏移量。偏移量属于人们动态估算的结果,具体数值不断变化,难以预先在词库中逐一枚举。针对这一问题,采用数值型偏移量与字符串匹配分开处理策略。先以改进MM算法步骤处理输入信息,再对无法匹配的剩余字符串进一步处理,从中一次性提取出数字信息,以此达到偏移量切分的目的。

3.4 多源LRM路况信息与空间信息融合方法

多源LRM路况信息与空间信息融合是将正确理解的、不同LRM形式表达的路况信息自动地与路网中路幅特征相匹配,从而建立不同维度、不同标准定位方式的动态关联流程的技术手段。处理上具体分为以下几个步骤:(1)将中文描述的路况地址信息关联到路网中相应的路幅上。(2)利用拓扑节点定位法获取路况信息在路网数据中所对应拓扑节点,包括事件起点和事件终点。(3)以道路名和方向作为启发信息,按照路幅搜索方式提取起点到终点间的路幅。(4)进行LRM类型判断。若是LRM基准定位,则融合过程结束;若是LRM标准定位,则还需进一步换算路幅绝对距离和路况信息相对偏移距离之间的位移,从而更为准确地定位到路幅上的某个点或某一段。最终,通过上述步骤实现多源LRM路况信息与路网空间信息的自动化和智能化融合。其中,拓扑节点定位法是文字描述的路况信息融入空间信息中最为关键的步骤之一。图4表示了拓扑节点查询法的流程。

拓扑节点定位法首先判断基准要素类型,即路口、桥梁和POI,根据不同的基准类型分别处理。路口分为中间路口和起止路口。中间路口又进一步划分为普通路口和环路路口。普通和环路路口都是通过遍历两条相交道路所有节点来找出公共节点,区别在于普通路口采用精确匹配而环路路口采用模糊匹配;道路起止路口,应该根据坐标排列,获得方向路幅上的节点,进而找到坐标的极值节点。桥梁,进一步细分为单独定位和与道路联合定位。单独定位桥梁只需找到符合桥梁名描述路幅的节点,而道路联合定位还需进一步获取与道路的公共节点。对于POI,则从POI查找与其距离最近路幅和反向路幅的起点和终点;然后,进一步根据方向信息去除当前定位节点中不符合要求的节点,最后剩余的节点即路况信息在路网数据中所对应拓扑节点。

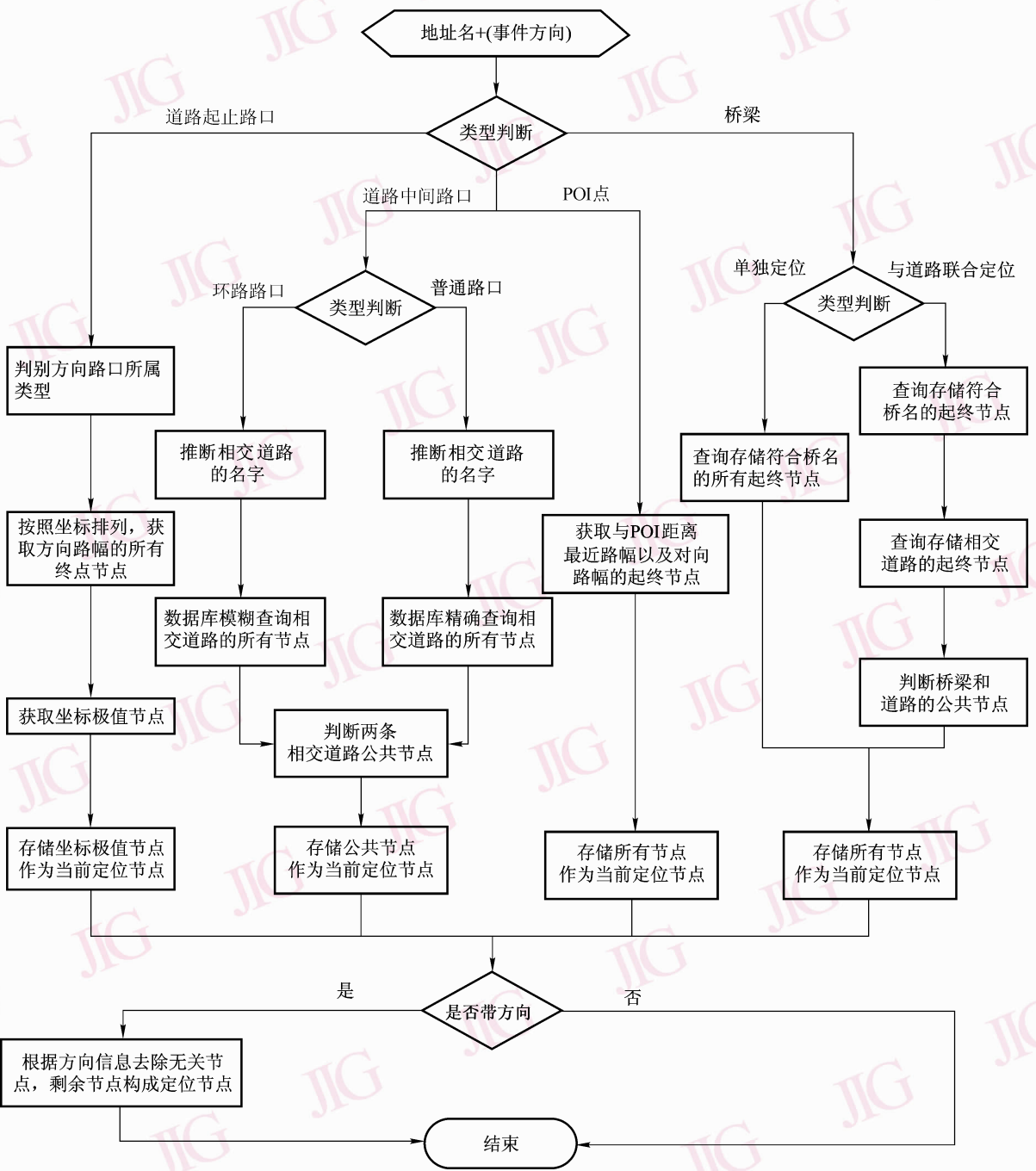


图 4 拓扑节点定位法流程

Fig. 4 Technical flow for searching topological node

4 应用实例

在上述关键技术研发的基础上,采用 Java 技术开发了一个面向自然语言描述的实时路况信息融合原型系统。实时路况信息来源于北京交通广播电台,空间信息采用基于路幅的非平面数据模型构建

的路网数据,符合地理导航数据库国际标准 GDF4.0 中 1 层定义^[21]。采用 Oracle 9i 数据库管理系统完成所有数据的管理工作。选择北京市五环内城市路网作为示范区域,并随机收集了 2007 年 11 月 9 日早上 8 点到下午 18 点这一时段内北京交通广播电台发布的实时路况信息,共计 500 多条。500 多条实时路况信息与北京市路网空间信息(53 997

条路幅、33 402 个拓扑节点)融合时间为 6 515 ms。平均每条路况信息的融合过程耗时不到 20 ms,能够满足实时接收路况信息并动态融合的效率需求。

以“健翔桥”作为对象详细展示技术流程。图 5 为北京市健翔桥区域的道路几何数据,加黑显示的线段为健翔桥上由西向东方向的主路路幅 (ID = 22 849)。图 6 为记录的交通广播电台发布的实时路况信息,选中记录为“健翔桥上由西向东车多,车行缓慢”。



图 5 城市导航数据库几何信息
Fig. 5 City navigation database

ID	路况信息
226	鼓楼桥到小街桥由西向东行驶缓慢
227	东长安街由西向东的方向车多
228	东二环北段南向北的方向车多
229	健翔桥上由西向东车多,车行缓慢
230	长椿街北口东西双向车多
231	宣武门路口由南向北行驶比较缓慢
232	丽泽桥到六里桥的南向北车多
233	天宁寺桥由南向北行驶缓慢

图 6 交通广播电台发布的实时路况信息
Fig. 6 Traffic information from traffic radio

根据改进 MM 算法,将“健翔桥上由西向东车多,行驶缓慢”切分出健翔桥(地址库)、上(附属定位词库)、由西向东(方向库)、车多(事件库)、行驶缓慢(事件库)5 个关键词。根据各个词库切分出词汇的个数和顺序,进而采用多源 LRM 信息与空间信息匹配技术中相应处理方法获取路幅 ID。此时,进一步处理事件词汇。路况事件对连通关系影响总能归纳为某一状态,多个状态的事件存在冗余。事件

词库中各类定性词汇对连通关系的影响程度已预先定义,能被切分的事件词汇都具有对应的影响程度量化指标。依照经验,影响最大事件能反映多事件综合作用的结果。因而,系统自动选取影响程度最大的事件词汇,以此作为推导路况信息作用下路幅动态连通关系的基础。

5 结 论

基于自然语言理解的实时路况信息与路网空间信息匹配融合技术,充分考虑了实时路况信息的多源异构 LRM 表达形式,并针对路况信息自然语言描述的特征,对最大匹配算法进行了改进,使其适用于路况信息的分词处理过程,实现了自然语言表达的实时路况信息的自动化、智能化处理,及其与路网几何信息的快速匹配融合,并通过原型系统实现、实例应用验证了技术方案的有效性。今后将进一步研究基于人工智能的分词算法、定性描述的路况信息直观展现形式等,使路况信息融合能有效地支持更加广泛的自然语言描述形式,促进实时路况信息公众应用的深度和广度。

参考文献 (References)

- 1 Qiu Jun-ping, Wen Ting-xiao, Zhou Li-ming. Research of Chinese automatic segmentation and content analysis method [J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2005, 24(3): 309-317. [邱均平, 文庭孝, 周黎明. 汉语自动分词与内容分析法研究 [J]. 情报学报, 2005, 24(3): 309-317.]
- 2 Huang Kun, Fu Shao-hong. Some related problems faced by the application of it in information retrieval [J]. New Technology of Library and Information Service, 2001, (3): 26-29. [黄崑, 符绍宏. 自动分词技术及其在信息检索中应用的研究 [J]. 现代图书情报技术, 2001, (3): 26-29.]
- 3 Wen Ting-xiao, Qiu Jun-ping, Hou Jing-chuan. View of Chinese automatic segmentation research [J]. New Technology of Library and Information Service, 2004, (7): 6-9. [文庭孝, 邱均平, 侯经川. 汉语自动分词研究展望 [J]. 现代图书情报技术, 2004, (7): 6-9.]
- 4 Zhang Chun-xia, Hao Tian-yong. The state of the art and difficulties in automatic Chinese word segmentation [J]. Acta Simulata Systematica Sinica, 2005, 17(1): 138-143. [张春霞, 郝天永. 汉语自动分词的研究现状与困难 [J]. 系统仿真学报, 2005, 17(1): 138-143.]
- 5 Xiang Hui, Guo Yi-ping, Wang Liang. Design and implementation of Chinese words dictionary segmentation module based on lucene [J]. New Technology of Library and Information Service, 2006, (8): 46-50. [向晖, 郭一平, 王亮. 基于 Lucene 的中文字典分词模块

- 的设计与实现[J]. 现代图书情报技术, 2006, (8): 46-50.]
- 6 Guan Jian-he; Gan Jian-feng. Design and implementation of web search engine based on lucene [J]. Computer Engineering and Design, 2007, **28**(2): 489-491. [甘建和, 甘剑峰. 基于 Lucene 全文检索引擎的应用研究与实现[J]. 计算机工程与设计, 2007, **28**(2): 489-491.]
- 7 Luo Zheng-qing, Chen Zeng-wu, Hu Shang-xu. A revised MM algorithm of Chinese automatic words segmentation [J]. Journal of Chinese Information Processing, 1996, **10**(3): 30-36. [骆正清, 陈增武, 胡上序. 一种改进的 MM 分词方法的算法设计[J]. 中文信息学报, 1996, **10**(3): 30-36.]
- 8 Guo Hui, Shu Zhong-yi, Wang Wen, *et al.* An improved maximum matching method for Chinese word segmentation [J]. Microcomputh Applications, 2002, **18**(1): 13-15. [郭辉, 苏中义, 王文等. 一种改进的 MM 分词算法 [J]. 微型电脑应用, 2002, **18**(1): 13-15.]
- 9 Yin Feng. Design and analysis of Chinese automatic segmenting system based on neural network [J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 1998, **17**(1): 41-49. [尹锋. 基于神经网络的汉语自动分词系统的设计与分析 [J]. 情报学报, 1998, **17**(1): 41-49.]
- 10 Wang Cai-rong. The design and implementation of expert system for automatic segmentation of Chinese words [J]. Microprocessors, 2004, (3): 56-60. [王彩荣. 汉语自动分词专家系统的设计与实现 [J]. 微处理机, 2004, (3): 56-60.]
- 11 Cui Tie-jun, Guo Li. The study for multisource geospatial vector data integration and fusion [J]. Journal of Zhengzhou Institute of Surveying and Mapping, 2007, **24**(1): 1-4. [崔铁军, 郭黎. 多源地理空间矢量数据集成与融合方法探讨 [J]. 测绘科学技术学报, 2007, **24**(1): 1-4.]
- 12 Wu Zhen-yu, Wang Peng, Ma Meng. Study of multisensor image fusion technology [J]. Chinese Journal of Space Science, 2006, **26**(1): 48-53. [巫震宇, 王鹏, 马猛. 多传感器遥感图像数据融合研究 [J]. 空间科学学报, 2006, **26**(1): 48-53.]
- 13 Intel. Request for Quotation and Call for Participation in the OGC Geospatial Fusion Services Testbed Phase I [EB/OL]. <http://www.opengeospatial.org/>, 2000.
- 14 Yang Zhao-shen. Fundamental Traffic Information Fusion and Its Applications [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2005. [杨兆升. 基础交通信息融合技术及其应用 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.]
- 15 Foresti G L. Multisensor data fusion for autonomous vehicle navigation in risky environments [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2004, **51**(5): 1165-1186.
- 16 Solaiman B, Pipelier R D. Information fusion; application to data and model fusion for ultrasound image segmentation [J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 1999, **46**(10): 3-8.
- 17 Koncz N, Adams T. A data model for multi-dimensional transportation location referencing systems [J]. URISA Journal, 2002, **14**(2): 27-41.
- 18 Kirkpatrick M B. Conversion of GIS Databases for Modeling Rural Transportation Networks [D]. Ontario: Queen's University, 1997.
- 19 Scapponcini P. Generalized model for linear referencing in transportation [J]. Geoinformatica, 2002, **6**(1): 35-55.
- 20 Guo Lin-quan, Zhao Hong-duo, Yao Zu-kang. Linear referencing system in geographic information system for transportation [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2001, (7): 34-36. [郭林泉, 赵鸿铎, 姚祖康. 运输地理信息系统中的线性参照系统 [J]. 测绘通报, 2001, (7): 34-36.]
- 21 GB/T19711-2005, 导航地理数据模型与交换格式 [S].
- 22 Liu Qian, Jia Hui-bo. A view of Chinese word automatic segmentation research in the Chinese information disposal [J]. Computer Engineering and Applications, 2006, **42**(3): 175-177. [刘迁, 贾惠波. 中文信息处理中自动分词技术的研究与展望 [J]. 计算机工程与应用, 2006, **42**(3): 175-177.]
- 23 Feng Lan-ping, Zhu Li-jun, Zhang Ji-guo. A model for ontology-driven web information retrieval and its realization [J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2006, **25**(3): 276-281. [冯兰萍, 朱礼军, 张继国. 一种本体驱动的 Web 信息检索模型及实现 [J]. 情报学报, 2006, **25**(3): 276-281.]