

文章编号: 1007-4619 (2004)04-0323-08

# 基于受限汉语的 GIS 路径重建研究

刘 瑜, 高 勇, 林报嘉, 邬 伦  
(北京大学 遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871)

**摘 要:** 主要研究基于自然语言(汉语)的 GIS 路径重建问题,通过分析带有路径表述信息的汉语文本,建立了汉语的 NLRP 句法模型,它是由带有空间语义的动作以及作为动作对象的地理要素构成的集合。考虑到自然语言理解实现的需求,论文基于 NLRP 句法模型定义了受限汉语的 NLRP 文法,在此基础上,描述了路径重建算法 PRA,并探讨了算法实现中由于空间认知原因带来的不确定性问题以及其解决方案。最后,基于该算法进行了相关实例研究,从而验证了该算法的正确性。

**关键词:** NLRP; 受限汉语; 路径重建; 空间不确定性

**中图分类号:** P208 **文献标识码:** A

## 1 引 言

自然语言理解就是研究如何使计算机能正确处理人类语言,并据此做出人们期待的各种正确响应,它是人工智能研究的最重要的课题之一。众所周知,现实世界中 70%—80%的信息都与空间位置有关,因此建立能够处理和理解自然语言所包含的空间信息的系统就显得尤为重要。目前在该领域研究相对较少,比较典型的有 D. Mark 和 M. Egenhofer 利用 9-交模型对自然语言中的空间关系表述进行分析<sup>[1]</sup>, F. Wang 基于自然语言进行模糊空间查询的模型建立<sup>[2]</sup>等等,这些工作大多基于英语进行,针对汉语的研究则相对较少。

在空间信息的自然语言表达中,对特定路径的表述已经得到了研究者的重视,UCGIS 指出<sup>[3]</sup>,对于车辆导航系统的大多数用户而言,一定口头的介绍形式,表现出比地图具有更快的处理和更少的错误,因而更加安全;而随着 LBS(location based services)应用的发展,需要针对无图形能力的移动端提供基于文本的空间信息传输和处理手段,而在这些空间信息中,路径的表述占据较大比重。本文的研究目的是基于汉语描述的 GIS 路径,利用已知地图作为参

照对路径进行重建。该过程的逆过程即为“路径引导”,即在已知路径的前提下,给出自然语言表述的文本,其实现较为简单,许多 GIS 软件(如 ArcView 等)提供了该功能。在本文研究中,考虑到汉语自然语言的开放性和复杂性,因此采用受限汉语进行 GIS 路径重建。

## 2 NLRP 分析

### 2.1 描述路径信息的动作

空间信息在认知中有两种表达方式,即命题方式和图像方式<sup>[4,5]</sup>,GIS 路径的自然语言表述(natural language representation of path, NLRP)实际上是命题表达方式的一种输出。为了分析 NLRP 的特点,下面首先给出一段汉语文本示例:

“从北京大学东门出发,沿中关村大街南行,经过中国人民大学,到达北三环路,向左拐弯,沿北三环路行至北太平桥,沿新街口北大街向南走,到达北京师范大学。”

分析上述文本可以看出,一个 NLRP 是由一系列动作单元构成的序列,根据这些动作在路径表述中的作用,可以将其分为以下两类。

(1) 持续性动作(durative actions)。即动作执行

收稿日期: 2003-02-10; 修订日期: 2003-04-15

基金项目: 863 国家高技术规划专题项目(2001AA135180),面向网络海量空间信息的大型 GIS。

作者简介: 刘瑜(1971—),男,讲师,北京大学毕业,主要研究领域为地理信息系统原理和软件开发技术、基于构件的软件开发和软件工程,已经发表论文 20 余篇。E-mail: liuyu@urban.pku.edu.cn

对应于一个明确界定的时间段,如“沿中关村大街南行”、“沿长安街向西走 5km”等等,显然每个持续性动作完成了整个路径中的一段,假定一个持续性动作  $DA$  完成的路径是  $P_{DA}$ ,则整个路径  $P$  可以表示为:  $P = \bigcup_{i=1}^n P_{DA_i}$ 。

(2) 非持续性动作(non-durative actions)。指在一个瞬间完成的动作,如“向左转弯”,“经过中国人民大学”等等,非持续性动作又可以分为两类,即状态转换动作和并发动作。前者实现两个持续动作之间的状态转换,如“向左转弯”标志行进中方向状态发生了变化;而后者往往发生在持续性动作进行的过程中,并且不产生状态转换,如“经过中国人民大学”。

分析上述动作分类,可以发现,持续性动作和状态转换动作决定了被重建的路径的形态,而并发动作不对被重建的路径产生影响,但是其表述可以用于检查一个 NLRP 是否正确,如以下文本“从天安门广场出发,向西经过北京大学,到达木樨地”是不符合地物实际空间分布特征的错误表述。

在 NLRP 中,持续性动作必须有显式的起始标志和结束标志,如在“走 5km”、“向南走,到达北三环路”的表述中,“5km”、“到达北三环路”分别是两个动作单元的结束标志;而“从北京大学出发向南走”表述中的“从北京大学出发”则是该动作单元的起始标志,动作的起止标志分别对应于一个非持续性动作。

因此,NLRP 可以有如下定义:

(1) NLRP 是路径  $P$  的一个映射  $NLRP \rightarrow P$ ,且  $NLRP = \{A, F\}$  为一个二元组,其中  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  为动作的集合,  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$  为动作对象的集合,若  $a_i = nil$ ,则表示  $a_i$  为空动作。

(2)  $A$  可以再分为持续性动作( $DA = \{da_1, da_2, \dots, da_x\}$ )、状态转换动作( $SA = \{sa_1, sa_2, \dots, sa_y\}$ )和并发动作( $CA = \{ca_1, ca_2, \dots, ca_z\}$ ),即  $A = \{DA, SA, CA\}$ ,  $SA$  与  $CA$  在性质上同属于非持续性动作。

(3)  $da_i$  对应路径  $P$  的一个路径段  $da_i \rightarrow P_i$ ,且  $P = \bigcup P_i$ 。

(4) 状态转换动作  $sa_k = \{da_i, da_j\}$ ,若  $da_i, da_j \in DA$ ,则  $sa_k$  为  $da_i$  转换为  $da_j$  的事件点。

(5) 对于任给  $da_i, da_j \in DA$ ,若存在  $sa = \{da_i, da_j\} \in SA$ ,则  $da_i$  为  $da_j$  的前趋动作(前趋路径段),  $da_j$  为  $da_i$  的一个后继动作(后继路径段),  $sa$  为  $n_j$

的起始标志(开始事件点),为  $n_i$  的结束标志(结束事件点)。

(6) 对于任给  $sa = \{da_i, da_j\} \in SA$ ,若  $da_i = nil$ ,则  $sa$  为路径  $P$  的起点,若  $da_j = nil$ ,则  $sa$  为路径  $P$  的终点。

(7)  $ca$  是作用在  $da$  上的一个约束  $ca(da) = \{0, 1\}$ ,若  $ca(sa) = 1$ ,则  $da$  有效,否则  $da$  无效,当  $ca = nil$  时,  $ca(da) = 1$ ,即若不存在并发动作约束则持续性动作有效。

## 2.2 NLRP 短句分析和 NLRP 句法模型

一个典型的 NLRP 动作单元实例如“沿新街口北大街向南到达北京师范大学”,称为 NLRP 短句,在该短句中,表述动作的动词为“到达”,动作对象(或宾语)是“北京师范大学”,而“沿新街口北大街”,“向南”为动作的两个修饰语(或状语),NLRP 短句中的修饰语也具有动宾结构的特征,如“沿[动]新街口北大街[宾]”。下面依次分析 NLRP 短句中的各个语素。

### 2.2.1 核心动词(core verbs)

NLRP 短句核心动词决定了动作的特性,从空间语义的表达上,动词可以分为两类,即不带有空间语义的普通动词,如“走”、“行”等,由这类动词完成的动作往往是持续性动作;带有空间语义的动词,如“沿(严格来讲,“沿”“从”等属于副词,但由于它们形成动宾短句的结构,并且表达了特定的空间关系,因此在本文中将其作为动词处理。)”、“到达”、“穿越”等等,这些动词反映了作为线性地理要素的路径和参照地物之间的拓扑空间关系。这些空间关系可以基于 9-交模型定义(9IM)。9IM 是 M. Egenhofer 提出的基于点集拓扑形式化定义几何体拓扑关系的途径<sup>[9]</sup>,目前被广泛应用于地理信息研究中。在 NLRP 研究中引入 9IM(表 1),主要目的是为了实现带有空间语义动词的精确定义。图 1 表示了上述动词的空间关系图示及 9IM 矩阵。

表 1 NLRP 中 9IM 定义

Table 1 9IM definition in the context of NLRP

$I(A) \cap I(B)$	$I(A) \cap B(B)$	$I(A) \cap E(B)$
$B(A) \cap I(B)$	$B(A) \cap B(B)$	$B(A) \cap E(B)$
$E(A) \cap I(B)$	$E(A) \cap B(B)$	$E(A) \cap E(B)$

其中  $I(X)$  表示  $X$  的内部,  $B(X)$  表示  $X$  的边界,  $E(X)$  表示  $X$  的外部,  $A$  为路径,  $B$  为参照地物。

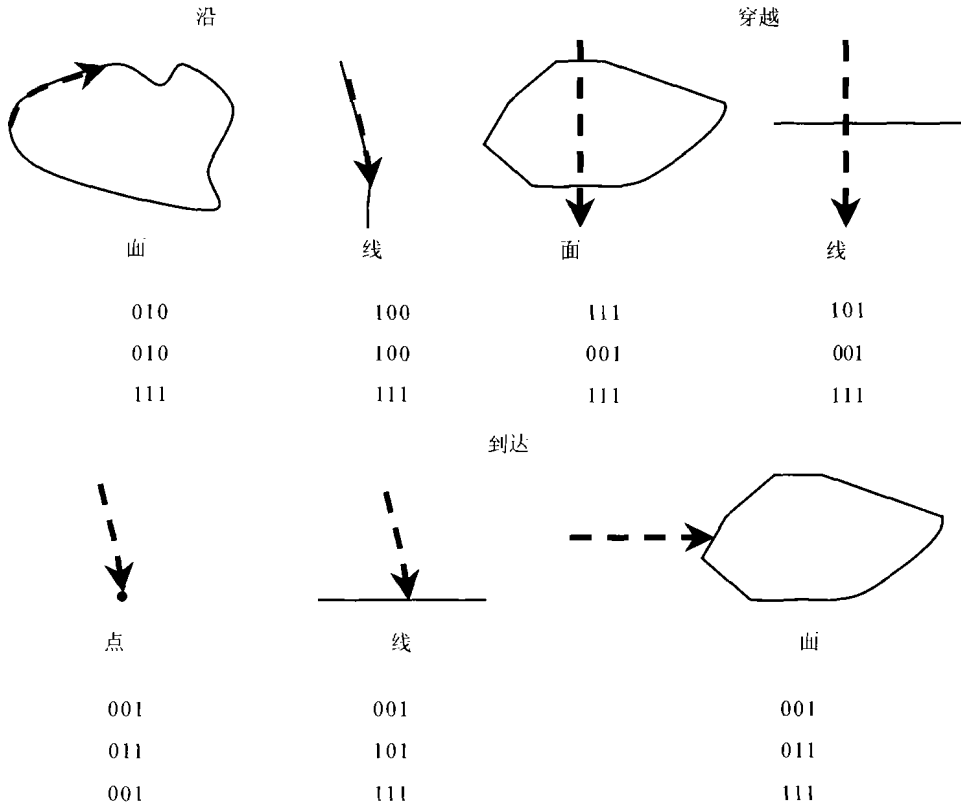


图 1 基于汉语表述的空间关系图示及 9 交模型矩阵

Fig. 1 Spatial relationship represented by Chinese words and the relative 9IM matrix

### 2.2.2 动作对象(action objects)

NLRP 中的动作对象决定了路径的空间分布特征,它包括 3 类,即地理要素(如“北京大学”),距离(如“5km”)和方位(如“南”)。在 NLRP 短句中,地理要素可以是点、线或面要素,它通过要素的名称(即地名)表现,并且必须是重建路径所参照的地理空间数据地名集合中的元素;距离通过一个数字和一个长度度量单位表达,它隐式定义了持续性动作的结束标志;方位可以有相对方位(如“左”)和绝对方位(如“南”)两种形式。

### 2.2.3 修饰短语(modifier phrase)

修饰短语用于描述动作的状态特性,它具有两种与路径重建有关的状态修饰方式,即方位状态(如“向南”)和要素导引状态(如“沿中关村大街”,“从北京大学”),对于持续性动作,修饰短语定义了动作执行期间的状态约束;而对于非持续性动作,修饰短语决定了动作的状态转换特性。综上所述,我们采用 UML 建立 NLRP 语素模型如图 2。

### 2.3 受限汉语 NLRP 的文法 BNF 定义

由于汉语特点,要使得系统完全准确地理解其

语义是困难的,为此许多学者转向受限汉语理解的研究,在本文中,基于上述的 NLRP 模型,我们设计了基于受限汉语的 NLRP 语法规则,设计的原则是既能覆盖常用路径表达句型,又便于系统实现,本研究中采用的语法规则如下:

- <NLRP> ::= {<NLRP 短句>}
- <NLRP 短句> ::= {<修饰短语>}<动词> [ <动作对象> ]
- <修饰短语> ::= <动词><动作对象> | <普通修饰语>
- <动作对象> ::= <地理要素> | <距离> | <方位>
- <动词> ::= <普通动词> | <带有空间语义的动词>
- <地理要素> ::= <地名>
- <距离> ::= <数值><长度度量单位>
- <方位> ::= <相对方位> | <绝对方位>
- <普通动词> ::= ‘行’ | ‘走’ | ‘驶’ | ‘行走’ | ...
- <带有空间语义的动词> ::= ‘穿越’ | ‘经过’ | ‘到达’ | ‘沿’ | ‘离开’ | ...

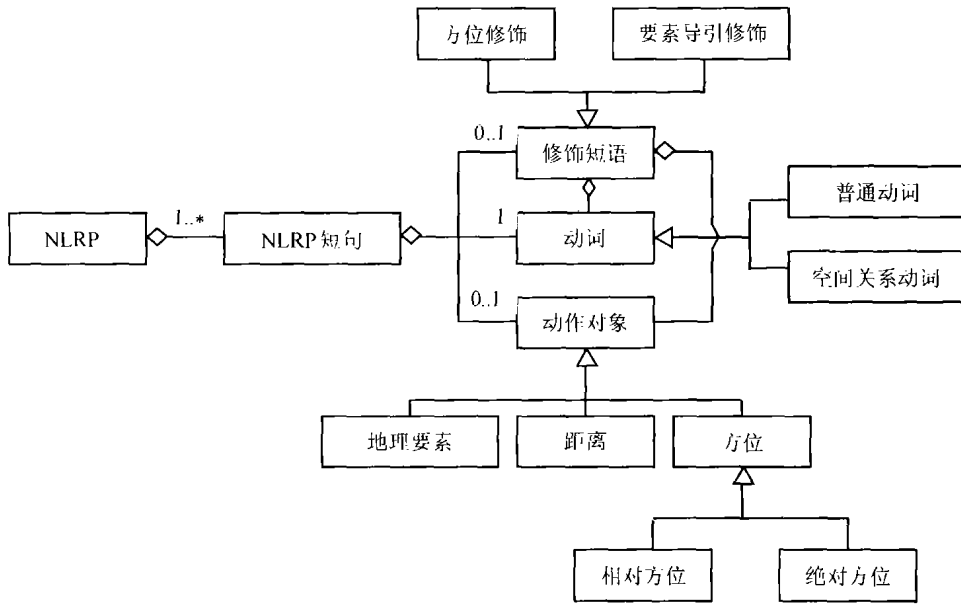


图 2 NLRP 句法模型  
Fig. 2 Syntax model of NLRP

随着研究的进一步深入, 可以逐步放松受限文法的约束, 使其能够处理更多的 NLRP 句型。

的不同表述方法, 如“北京大学”和“北大”, 以增强语言理解的灵活性。

### 3 路径重建实现以及相关问题描述

#### 3.2 系统体系结构

在建立 NLRP 句法模型后, 下面围绕基于受限汉语的 GIS 路径重建实现, 对相关问题进行探讨, 包括词典设计、系统体系结构、PRA 算法、NLRP 中的空间不确定性对于路径重建的影响等几个方面。

系统体系结构如图 3, 其中用户界面部分实现了用户输入和路径显示的功能, 用户输入的 NLRP 文本经过语法分析模块处理, 得到中间结果。路径生成模块利用中间结果生成路径, 在该过程中, 需要空间算子模块提供一系列空间关系检测、空间度量函数, 以确定路径的确切位置和形状。系统同时包含了空间数据访问接口模块以支持地理底图的数据访问; 专用词典的建立也需要通过该接口从地理底图中读取地名信息。

#### 3.1 词典设计

基于以下定义的类, 语法分析得到的中间结果为 Action 类的线性表。由于已经确定了采用的受限汉语的文法, 因此基于 NLRP 生成中间结果的实现是容易的, 在此不再赘述。值的指出的是, 处理中大多数 NLRP 短句对应一个 Action 对象, 但也可能出现一个短句对应于两个或多个 Action 对象的情形。

根据受限汉语的 NLRP 文法定义, 系统将其中的词类包括以下 5 种: 地名词、普通动词、空间语义动词、方位词、距离度量词。它们可以分为通用词典和专用词典两大类, 前者与具体的应用无关, 上述词类中, 除去地名词外都属于通用词典, 如“走”、“穿越”、“东”等。在词典设计中, 对于空间语义动词同时需要定义其对应的 9M 矩阵(根据后面对于不确定性的表述, 一个动作可以对应多个矩阵), 这样可以方便地向词典中增加新动词, 但不需要改变系统算法实现。

```
class Action // 动作类的定义
{
    int ActionID; // 动作标识
    char *szActionName; // 动作名称
};
```

专用词典是重建路径时参照的地理底图中所有地名的集合, 为了提高处理速度, 可以将全部地名字符串存放于内存中, 并建立和地物 ID 的映射关系。在建立专用词典时, 可以在其中适当增加同一地物

```

class DurativeAction : public Action //持续性动作类的定义
{
    GEOID AccordedFeatureID; //导引动作的地物 ID
    SPA RELATION Relationship; //空间关系标识
    double DirectionAngle; //动作方位, 如果< 0, 表示没有显式定义行进方位
    double DurativeLength; //行进长度, 如果< 0, 表示没有显式定义行进长度
};

class NondurativeAction : public Action //非持续性动作类的定义
{
    BOOL IsParellel; //是否并发动作
    SPA RELATION Relationship; //空间关系标识
    GEOID RelativeFeatureID; //相关地物 ID
    double DirectionAngle; //动作方位, 如果< 0, 表示没有显式定义转换方位
};

```

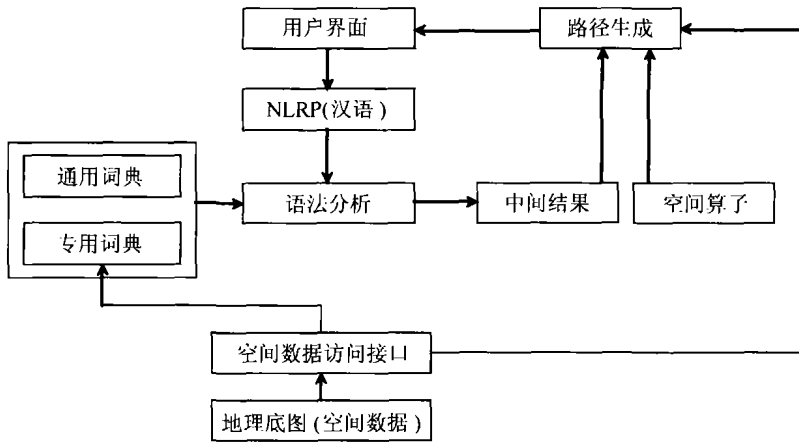


图 3 NLRP 路径重建的系统体系结构

Fig. 3 The System architecture for NLRP restructuring

### 3.3 PRA 算法描述

本文描述的 PRA 算法基于受限汉语经过语法处理后的中间结果进行运算, 通过分析中间结果中表述的动作序列, 并基于参考地理底图进行空间关系判断, 可以生成具体的路径。本研究采用的 PRA 算法如下, 其中“当前动作(CA)”表示当前进行的持续性动作, “事件点(ptEvent)”表示非持续性动作发生的地点。

PRA 算法:

- Step1 初始化, 当前动作置空(CA = nil), 检查事件列表 CAList 置空, 结果路径列表 PList 置空。
- Step2 读入下一个动作 A。
- Step3 判断动作类型, 并进行相应处理。
  - (1) 如果为持续性动作, 设置 CA = A, 并设置开始事件点, 即 CA 起点为 ptEvent;

- (2) 如果为并发动作(A.IsParellel == TRUE), 则将该动作对应的空间关系添加到检查事件列表 CAList 中;

- (3) 如果为状态转换动作, 根据相关地物 A.RelativeFeatureID 和空间关系 A.Relationship 得到动作发生的地点 pt, 然后检查当前动作是否为空, 如果为空, 则直接设置当前事件点 ptEvent = pt, 并执行状态转换, 然后转入下一步。反之, 则根据 CA 的起点、当前点 pt 以及 CA 依附的地物 CA.AccordedFeatureID(或方位 CA.DirectionAngle) 生成路径片断 Pi, 同时计算 Pi 的长度以及 CAList 中的空间关系, 并判断是否符合 NLRP 的表述, 如果不符合, 则报错并结束路径重建; 如果符合, 则将 Pi 添加到 PList 中, 最后结束当前动作, 设置 CA = nil, CAList 置空, 同时设置当前事件点 ptEvent = pt。

- Step4 检查所有动作是否处理完毕, 如果为否,

转到 Step2。

Step5 如果已经处理完毕, 则检查  $CA$  是否为空, 如果不为空, 则结束当前动作, 并生成路径片断添加到  $PList$  中。

Step6 根据  $PList$  得到整个路径, 算法结束。

在该算法中, 关键在于根据状态转换动作  $SA_i$  描述的空间关系和相关地物得到事件点  $p$ , 然后结束当前持续性动作, 并生成路径片断, 下面对此进行简要描述, 从表述上看,  $p$  对应于沿引导地物(或沿特定方向)持续行进所形成的路径与参照地物形成某种空间关系的事件点, 但是在实际的计算中, 由于路径并非连续, 采用的方法是将导引线地物(或依据方位生成的长直线)与参考地物进行空间运算, 并将前者打断, 然后依次判断每段与参考地物的关系是否符合  $SA_i$  对应的空间关系, 从而确定  $SA_i$  发生的事件点。

### 3.4 路径重建中空间关系表述的不确定性探讨

如前所述, NLRP 实际上是人的空间认知在自然语言上的投射, 认知本身存在不确定性<sup>[7]</sup>, 在投射过程中也可能产生新的不确定性, 因此在路径重建过程中, 必须能够处理这些不确定性, 才可以得到合理的路径。下面我们简单以空间关系为例进行探讨。空间关系包括度量、方位和拓扑关系, 其中度量关系和方位关系由于人的空间认知原因, 往往难以做到精确表述; 而拓扑关系中的部分(如相邻等), 也存在着一定的不确定性, 文献[1], [8], [9]中对此进行了相关的研究。在 NLRP 中, 由于空间关系不确定性所带来需要处理的表达方式主要包括以下 3 个方面。

#### 3.4.1 方位关系不确定性和持续动作多重状态修饰

NLRP 在表述一个持续性动作时, 可以包括多重状态修饰, 如“沿中关村大街向南走”, 其中包括了基于拓扑关系和方位关系的两个状态表述, 在这里“南”只是表达了一个模糊的方位, 因此在路径生成时, 需要将其“校正”到实际的道路上, 即以拓扑关系为主生成路径的形状; 而后者用于确定行走方向和判定表述中是否存在错误, 如“沿长安街向南走”中就存在着错误。

#### 3.4.2 度量关系的不确定性和多重起止标志

一个持续性动作的结束标志, 可以是显式的, 即以一个状态转换动作标志其结束, 如“向南走, 到达 A 地”; 也可以是隐式的, 如“向南走 20km”, 当行进长度到达 20km 时动作即结束, 但是在 NLRP 中, 由于距离表述的不确定性, 可能会有如下的句式存在, “向南走 20km, 到达 A 地”, 但实际上行走距离并不精确等于 20km。处理度量关系不确定性的途径类似于方位关系不确定性的处理, 即以显式点事件是否发生作为进行动作结束的判断, 而距离可以用于在一定容差范围内判定表述的正确性。

#### 3.4.3 拓扑关系的不确定性表述

在 NLRP 中, 对于某些拓扑关系的表述同样存在着不确定性, 不确定性的造成, 一方面与人们对于具体地物空间分布的认知不确定性有关(图 4(a)); 另一方面则是由于空间关系本身表述的不确定性造成的(图 4(b)), 如“经过 A 地”可以对应于不同的具体空间关系。

拓扑关系不确定性主要存在于非持续性动作的表述中, 包括状态转换动作和并发动作, 系统对于两

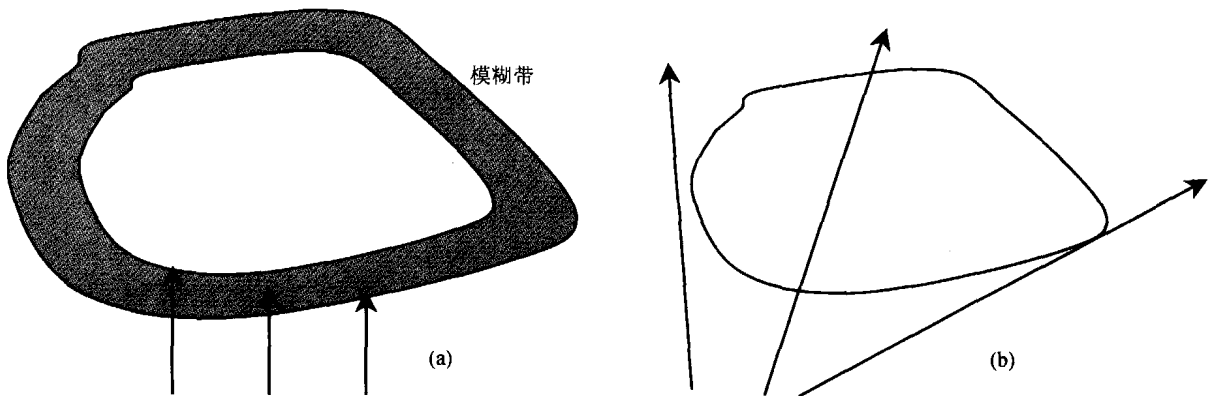


图 4 NLRP 中拓扑关系的不确定性  
(a) “到达”一个位置不确定的面状地物可能的路径; (b) “经过”一个面状地物可能的路径

Fig. 4 The uncertainty of topological relationship in NLRP

种不确定性类型,采取不同的处理方案。对于前者,可以为相关地物计算一个“模糊带”,并基于该模糊带进行空间关系判断;对于后者,需要枚举出所有可能的具体空间关系类型,如图4(b)中所示,“经过”实际上表达了3种关系:穿越、相切和相离,然后进行空间关系检测,只要满足其中一种关系,即认为动作对应的事件发生。

## 4 实例研究

基于上述 PRA 算法,作者进行了路径重建的实例研究,即基于北京市地图对本文最开始给出的 NLRP 文本进行了路径重建工作,其结果如图5。值得指出的是,在实现中的程序开发采用 VB+MapX,考虑实现的难度,程序没有实现不确定性表达的完整处理,只是判断“到达”和“离开”时增加了一定的容差;此外,为了能够处理上述 NLRP 文本,对参考

地图进行了适当修改,增加一些地名,合并了一些地物,如“中关村北大街”和“中关村南大街”。

## 5 结 论

本文研究的目的是基于 NLRP 重建 GIS 路径,主要工作包括以下4个方面。(1)通过研究基于汉语表达路径的文法特点,得到了其句法模型;(2)考虑便于实现的目的,基于上述句法模型定义了受限汉语的 NLRP 文法定义;(3)描述了路径重建的 PRA 算法;(4)探讨了 NLRP 中空间关系表达的不确定性带来的问题以及解决方案。通过实例研究,表明本文所述的研究思路是可行的。由于自然语言的复杂性,尚需研究逐步放松其文法约束,使其能够处理更为灵活的 NLRP;此外,实现对于不确定性表达的完整处理也需要进一步的工作。

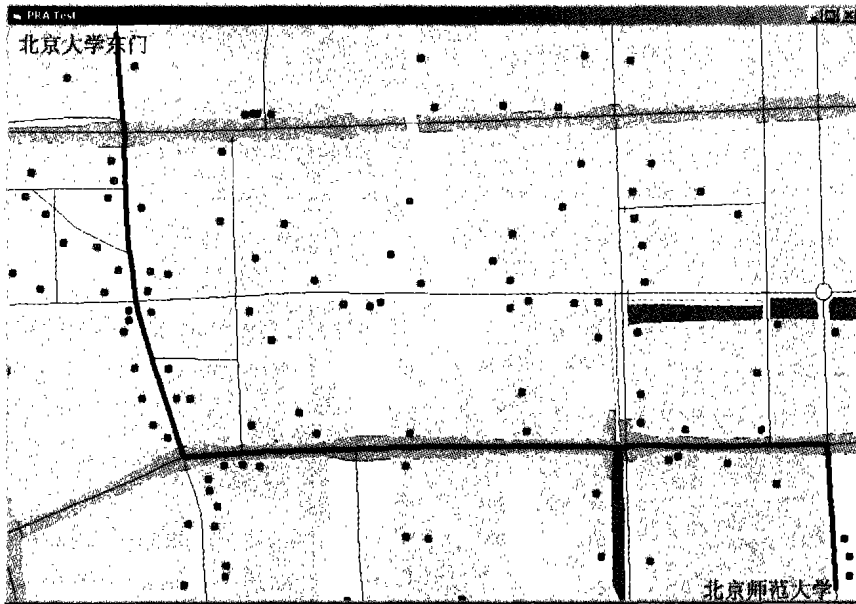


图5 基于 PRA 算法重建的路径示意

Fig.5 The path created based on PRA

## 参考文献 (References)

- [1] Mark D, Egenhofer M. Modeling Spatial Relations Between Lines and Regions: Combining Formal Mathematical Models and Human Subject Testing [J]. *Cartography and Geographic Information Systems*, 1995, 21(4): 192-212.
- [2] Wang F. A Fuzzy Grammar and Possibility Theory-Based Natural Language User Interface for Spatial Queries [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2000, 113: 147-159.
- [3] University Consortium for Geographic Information Science, Research Priorities for Geographic Information Science [J]. *Cartography and*

*Geographic Information Systems*, 1996, 23(3), 115-127.

- [4] Nelson E. A Cognitive Map Experiment: Mental Representation and the Encoding Process [J]. *Cartography and Geographic Information Systems*, 1996, 23(4): 229-248.
- [5] Lloyd R. Spatial Cognition: Geographic Environments [M]. Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [6] Egenhofer M. A Formal Definition of Binary Topological Relationships [A]. Litwin W, Schek H. The 3rd International Conference on Foundations of Data Organization and Algorithms (FODO) [C]. Berlin: Springer-Verlag, 1989.
- [7] Tversky B. Distortions in Cognitive Maps [J]. *Geoforum*, 1992, 23,

- 131—138.
- [8] Zhan F. Topological Relations Between Fuzzy Regions [A]. Bryant B, Camoll J, Oppenheim D, *et al.* The 97 ACM Symposium on Applied Computing [C]. New York: ACM Press, 1997.
- [9] Liu W B, Deng M. Analyzing Spatial Uncertainty of Geographical Region in GIS [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2002, 6(1): 45—49. [刘文宝, 邓敏. GIS 图上地理区域空间不确定性的分析 [J]. 遥感学报, 2002, 6(1): 45—49].

## Research on GIS Path Reconstruction Based on Constrained Chinese Language

LIU Yu, GAO Yong, LIN Bao-jia, WU Lun

(*Institute of RS & GIS, Peking University, Beijing 100871, China*)

**Abstract:** It is well-known that natural language usually can provide much more precise and convenient spatial information in the context of social geographical information service. This paper researches the method of the GIS path reconstruction based on natural language (Chinese) containing geo-spatial information, which is called as natural language representation of path (NLRP).

Through analyzing Chinese sentences that contain path representation, a syntax model of NLRP for Chinese is built, which mainly contains a set of actions with spatial constraint and action objects. As a rule, the action objects usually are geospatial features. Considering the contribution to the forming of a concrete path, the actions in NLRP can be classified into three types: durative actions, transitional actions and parallel actions. Durative actions can last for a period of time, and each of them forms one segment of the whole path; transitional actions change the state of the activities, such as “turn left”, and usually they start flags or end flags of a durative action; when a parallel action happens, the state doesn't change, and it occurs inside another durative action both spatially and temporally, such as “pass by”. Generally speaking, durative actions are corresponding to linear features and time segments, while a non-durative action, can be mapped to a specific event point in spatial and temporal space. In the model, the actions with spatial semantics can be defined precisely using 9-I matrix.

According to the model above, the NLRP syntax for constrained Chinese language is defined using BNF. Then the path reconstruction algorithm (PRA) and two interrelated issues, i. e. dictionary design and software architecture design, are discussed. In PRA, using intermediate result of the syntax processing, which is a sequence of actions, the action series are analyzed and the spatial relationships between objective path and related features are examined based on the geographical reference map. At last, the concrete path can be figured out.

Furthermore, a NLRP expression contains some uncertainties inevitably, which may come from the spatial cognition process and imprecise expression. The uncertainties of NLRP bring ambiguities to PRA, and increase the algorithm complexity. They include uncertainties of direction, uncertainties of distance and uncertainties of topologic relationship. Meanwhile, solution to them is also discussed, the essential of which is to distinguish major flag and minor flag of a durative action, and the former determines the shape of path, while the latter may be used to check errors of an NLRP description.

Finally, a case study of PRA is described to validate it.

**Key words:** NLRP; restricted Chinese language; path reconstruction; geospatial uncertainties