

**引文格式:**田江鹏,游雄,贾奋励,等.地图符号的认知语义分析与动态生成[J].测绘学报,2017,46(7):928-938. DOI:10.11947/j.AGCS.2017.20160504.  
TIAN Jiangpeng, YOU Xiong, JIA Fenli, et al. Cognitive Semantic Analysis and Dynamic Generation of Cartographic Symbols [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017, 46(7): 928-938. DOI: 10.11947/j.AGCS.2017.20160504.

# 地图符号的认知语义分析与动态生成

田江鹏, 游 雄, 贾奋励, 夏 青  
信息工程大学地理空间信息学院, 河南 郑州 450052

## Cognitive Semantic Analysis and Dynamic Generation of Cartographic Symbols

TIAN Jiangpeng, YOU Xiong, JIA Fenli, XIA Qing  
Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China

**Abstract:** Location-based services (LBS) requires generating real-time personalized and dynamic cartographic symbols. In order to tackle this problem, this paper proposes a structural description model and a dynamic generation method of cartographic symbols based on cognitive analysis. Following the cognitive semantics principle of ‘reality-cognition-symbol’, the description model elaborates the mapping mechanism between symbol graphics and symbol semantics, which uses symbol morphemes as atomic units and semantic structure as description framework. The generation method is composed of a context-free grammar model which uses rules to generate cartographic symbols on the basis of morphemes. Through the modelling of graphic morphemes, structural morphemes and rule-based generation system, a grammar compiler for dynamic generation of cartographic symbols is redesigned. Lastly, experiments of dynamic generation of cartographic symbols in different contexts and semantics are performed to verify the feasibility of the proposed method. Therefore, this study leads to a further understanding of cognition and structure principles of cartographic symbols, and also pushes forward dynamic generation of cartographic symbols for related industries and applications.

**Key words:** cartographic symbols; cognitive semantics; morpheme; context free grammar; dynamic generation

**Foundation support:** The National Key Research and Development Program of China (No. 2017YFB0503500); The National Natural Science Foundation of China (Nos.41371382; 41671407)

**摘 要:**面向位置服务背景下地图符号按需和动态表达的需求,提出了一种基于认知语义分析的地图符号结构化描述模型,以及建立在此基础上的地图符号动态生成方法。结构化描述模型立足“现实—认知—符号”的认知语义原理,以地图符号语素为基本单元、以语义结构为描述框架,侧重描写符号图形和语义之间的关联映射机制。动态生成方法的核心是一种规则控制语素组合构造符号的上下文无关文法模型,通过对图形语素、形态结构语素以及符号生成规则系统进行建模,重构了地图符号动态生成的文法编译器。以个性化导航路径符号为例,通过面向不同情境和语义结构的符号动态生成试验,验证了本文方法的可行性。本文研究将有助于进一步理解地图符号的认知和结构原理,并促进相关行业和应用领域地图符号化的按需和动态表达的水平。

**关键词:**地图符号;认知语义;语素;上下文无关文法;动态生成

**中图分类号:**P208      **文献标识码:**A      **文章编号:**1001-1595(2017)07-0928-11

**基金项目:**国家重点研发科技专项(2017YFB0503500);国家自然科学基金(41371382;41671407)

符号是构成地图的基本元素,研究符号不仅是地图学的经典问题,也是伴随地图自身不断进步而提出的新问题。随着移动定位、移动通信和互联网的发展,构建适用于位置服务需求的地图,

已经成为地图学新的研究热点。位置服务背景下的地图,是一种以位置为中心,全面反映与位置相关的各种特征、事件或事物的新型地图产品<sup>[1-2]</sup>,具有个性化、智能化、全方位信息等特征。反映在地图表达层面,表现为用户需求的实时解析、位置关联信息的智能处理、地图制作和表达的动态实现等。动态制图的内在要求,使得需要根据用户位置和情境<sup>[3]</sup>等信息,自动计算出地理要素最佳的符号表达形式。位置服务背景下地图符号化面临的这种需求,是本文研究的出发点。

现有电子地图的符号化方法,可概括为两类:一是使用对照表,建立地理要素和地图符号之间的映射关系。二是使用规则,基于地理对象的特点、制图知识等进行规则匹配<sup>[4]</sup>。这些方法的一个共同特点,即地图符号是预先使用符号编辑器等工具,人工或半人工设计、编辑并保存至符号库中,是一种“静态存储、匹配调用”的符号化模式。这种模式的优点是易于实现且速度快,但面向现实世界的复杂性、用户需求的多变性和制图情境的多样性,其缺点在于难以穷尽各种符号化细节和需求,降低了提供特定情境下地理要素最佳的地图符号表达形式的精准度,也降低了用户个性化体验。因此,位置服务背景下地图符号化更加讲求“按需和动态”的特征。

为此,已有不少学者分别从描述模型<sup>[5]</sup>、句法结构<sup>[6]</sup>、表达模板<sup>[7]</sup>等角度,探索动态符号化解决

方案。还有些学者从统筹符号的图形和语义两个方面<sup>[8-11]</sup>,立足符号的深层次语义结构及其认知机理,探索地图符号的制作和应用模式。这些成果对位置服务背景下的地图符号化具有重要的借鉴作用,但仍存在不够系统、认识的理据性不强等弱点,尚不能直接作为位置服务背景下的地图符号化解决方案。本文从地图符号的认知原理剖析出发,试图通过统筹语义和语法的关联关系,探究一种能在特定情境约束下,根据地理要素的语义描述自动生成相应符号图形形式的动态符号化方法,以满足位置服务背景下地图符号化需求。

### 1 基于认知语义的地图符号结构化描述

本节从人对地理对象的概念认知出发,对地图符号语义结构、图形构成以及二者之间的内在关联关系进行剖析,建立地图符号的结构化描述模型,进而指导地图符号动态生成的实现。

#### 1.1 地图符号的认知语义原理

认知语言学基于自然语言对人的认知机理进行研究,秉承“现实——认知——语言”的基本原则<sup>[12]</sup>,认为在现实和语言之间存在“认知”这样一个中介。地图被作为人类信息交流的语言<sup>[12]</sup>,将地图符号与自然语言进行类比,可以划分 3 个空间:即物理空间、认知空间和符号空间,其中符号空间近似于“几何学表达的空间”<sup>[14]</sup>的认识。基于这一划分,结合图 1 有如下认识。

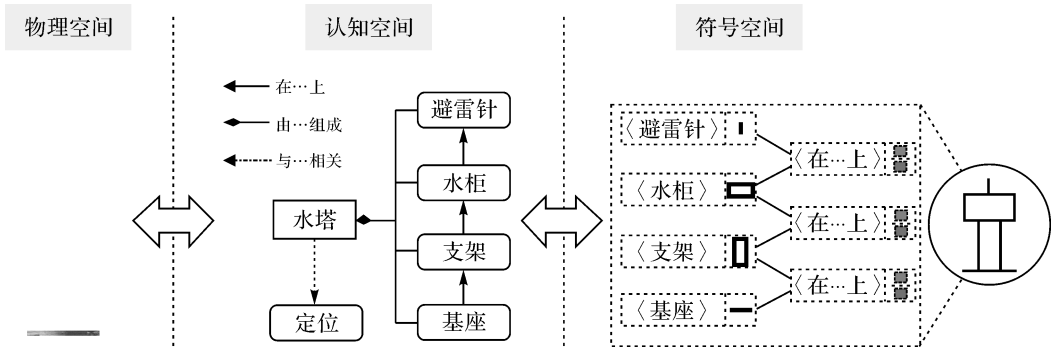



图 1 地图符号的认知语义分析:以“水塔”为例  
Fig.1 Cognitive semantics analysis of cartographic symbols; take water tower as example

(1) 对地理对象(属物理空间)的体验<sup>[12]</sup>形成了地理概念(属认知空间)。人通过对现实世界的体验,形成地理对象的感知和认知的结果,构成认知空间中的地理概念。例如,“水塔”的概念可由“避雷针”、“水柜”、“支架”和“基座”等子概念组成,且各子概念之间存在“在…上”、“由…组成”等

概念间关系,它们共同构成了一个概念的关系网络。地理概念是物理空间在人脑中的投影,与客观的物理世界并非完全一致。

(2) 地图符号(属符号空间)是由能指和所指两项要素构成的统一整体<sup>[15]</sup>。根据语言的“两极性”原理,任何一个语言都是语音和语义的内部结

合<sup>[16]</sup>;地图符号也不例外,是符号图形和语义的内部结合。例如,水塔符号的语义可以描述为(<避雷针>,<在…上>,<水柜>),(<水柜>,<在…上>,<支架>)等,再赋予语义以相应图形形式,例如(<水柜>,) ,构成符号的图形表达形式。

(3) 地图符号是对地理概念采用地图语言的外在表达。认知语言学对概念和语义进行如下区分:概念是认知和思维的基本要素,语义是用语言符号表达的概念,是语言成分中的意义要素<sup>[12]</sup>。基于这一区分,地理概念是认知空间的要素,符号语义是符号空间的要素;地理概念构成地图符号语义的基础,语义则形成地理概念的外在表达。地图符号的语义均涉及一个或多个地理概念,没有概念也就没有语义。基于上述分析,影响地图符号制作和表达的关键因素包括:①地图符号的语义描述,它依赖于认知空间中的地理概念;②符号图形和语义的关联映射机制。对于本文动态符号化目标而言,符号图形和语义的关联映射机制是关键。下文将从关联映射的最小原子(即语素)、关联映射的模型两个角度展开分析。

## 1.2 地图符号的语素





在语言学研究中,直到最近学术界才充分认识了作为语法单位的语素,继而恰当的处理了形态学的词的结构<sup>[17]</sup>,因此语素在词的形态学研究中具有重要意义。地图语言的语法结构中也存在语素,是地图符号图形和语义间的最小关联原子,对地图符号结构的理解具有重要的作用。归纳起来,地图符号的语素(或简称符素)的认识有<sup>[18-19]</sup>:①语素是符号图形和语义相结合的最小单位,也是语法系统中的最小单位,不可以再分解;②区别于基本几何图元或视觉变量,语素的图形形式对应有语义特征,即具有语义成分;区别于符号,语素是构成符号的材料;③依据是否可以独立表达,语素有自由语素和粘着语素之分:自由语素可以独立构成符号并用于地图表达,此时它已经具化为符号;粘着语素不能独立构成符号。

按照对语素的理解,用 Sememe 表示语义特征,Graphic 表示相应的图形形式,则语素的最简形式可概括为

Morpheme=〈Sememe, Graphic〉

语义特征方面:①语义特征也称义原、义素等,是语义的最小原子,是凭经验或对客观事物本质的了解而分析出来的语义成素,是有限的、二元的、原始的、共享的、抽象的和先天的<sup>[20]</sup>;②从符

号表达的角度,语义特征可分为两类:构成元素的语义特征和构成关系的语义特征。构成元素的语义特征,例如<避雷针>、<水柜>等,表征的是符号的语义构成成素;构成关系的语义特征,例如<在…上>等,表征的是构成元素语义特征之间的形态或语义关系。

图形形式方面:①图形形式可区分为图形和形态结构两类,例如,构成元素的语义特征通常表征为图形,例如例中的(<水柜>,);构成关系的语义特征通常表征为图形的形态结构,例如例中的(<在…上>,);②将某一语义特征映射为何种图形形式,取决于几何规律、认知规律和文化联想作用,这与空间信息的音位层的规律<sup>[13,20]</sup>相一致。例如,“水柜”还可以表达为(<水柜>,),从语素设计角度,并无严格的合理性断定,同样的案例还可以在“教堂”符号的设计中<sup>[21]</sup>发现;③形态结构能反映语素组合为符号的结构模式,是空间关系作为各级无语义的、同义的或上下义的语言单位之间的组合约束<sup>[20]</sup>。因此,形态结构具有有序性,能够通过正确处理语素间的相对位置来表达特定的语义关系,有助于形成正确的符号认知。例如,使用上下结构()表达“A 在 B 上”,其结构关系应是 A/B 而不能是 B/A。

## 1.3 地图符号结构化描述模型

语素构成了符号图形和语义相关联的最小原子,使得依据符号的语义结构,以语素作为单位,按照特定的构造规则,自动地计算出符号的图形形式成为可能,这也是“语义驱动的地图符号设计”的核心理念<sup>[10]</sup>。根据地图符号的认知语义原理,以地图符号语素为关联纽带,可构建语义、图形相统一的地图符号结构化描述模型,如图 2 所示。

图形域和语义域:体现了地图符号的“两极性”特征<sup>[16]</sup>。对于图形域,可以划分为“视觉变量→基本几何图元→语素图形→符号图形→地图图形”几个层次,核心问题是下一层次图形单元组织为上一层次图形单元过程中的图形组织和构图规律。对于语义域,核心问题是语义特征、符号语义描述以及地图语义场描述及其语义规则。已经存在侧重于地图符号构图规律(例如构成变量、构图规律<sup>[22]</sup>等)或空间信息语义结构<sup>[20,23]</sup>二者之一的讨论,但本文更强调将图形和语义统一纳入语法的框架下进行讨论,即通过语义规则控制图形几何组合运算,使具有共性的构图对象和构图算子

能够与具体地理语义相关联,从而弥补单纯的图形构图规则在地图信息构造上的不足。

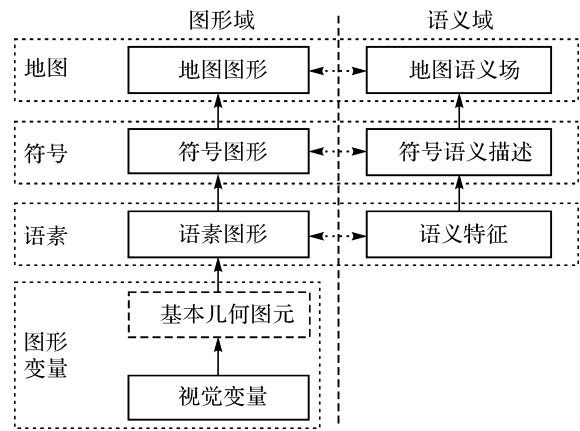


图 2 统一图形和语义的地图符号结构化描述模型  
Fig.2 Structural description model of cartographic symbols with unified graphic and semantic aspects

语法层次:体现了地图符号的构造具有语言的“层次性”特征<sup>[16]</sup>。借鉴自然语言词的结构<sup>[16,20]</sup>,将地图符号的语法层次归纳为图形变量层、语素层、符号层和地图层。语义域和图形域在自下而上的各语法层次中均形成映射,而语素则是形成这一映射的直接纽带。语法规则是指不同层次的语法单位在组织为上一层语法单位的过程中的组合或运算规则,是地图符号构建的共性结构。语法规则不仅控制着符号的几何运算,也约束了符号的语义解释。语法层次中使用图形和语义相互映射的方式,使得地图符号的图形构造可以以语义结构作为依据,同时也使得以语义关系为内在逻辑的符号系统具备更好的体系性和规律性。

2 地图符号动态生成的上下文无关文法

本节以地图符号的认知语义分析和统一结构化描述模型为指导,通过引入上下文无关文法(Context Free Grammar, CFG)建立地图符号动态生成的数学模型,进而实现“规则控制语素自动组构符号”的目标。

2.1 文法数学模型

根据图 2 所示的地图符号结构化描述模型,可将地图符号视为多级语法层次单位通过各种组合关系构造而成的层次结构。以“土堆三角点”符号为例,图 3 给出了该符号的层次描述结构。图形语素(⟨土⟩,  $m_{sid}$ )在形态结构语素(⟨围绕⟩,  $s_{on}$ )的控制下,构成了组成符号的中间形态(⟨土堆⟩,

⟨ $\triangle$ ⟩),本文称之为部件(component)。该部件同语素(⟨三角点⟩,  $\triangle$ )一起在形态结构(⟨在...上⟩,  $s_{on}$ )的控制下构成了符号(⟨土堆三角点⟩,  $\triangle$ )。

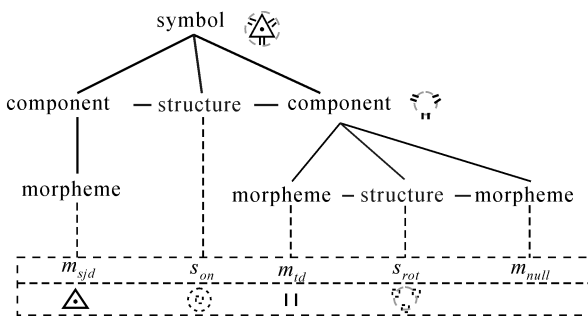


图 3 地图符号层次结构的抽象  
Fig.3 The abstract hierarchical structure of a cartographic symbol

可将上述符号的层次描述结构表述为“语素+生成规则”的最简形式。语素包括了图形语素和形态结构语素。生成规则是指语素构造为部件以及符号等更高级语法成分的组合规则,例如“部件→语素+形态结构+语素”等。通过反复使用(有限的)语素,在(有限的)生成规则控制下,可构成无限的地图符号表达形式,具有典型的递归特征。

Chomsky 抽象了 4 种文法层次:0 型、1 型、2 型和 3 型文法,且每一种文法都是前一种文法的特化。其中,2 型文法又称上下文无关文法,其典型的特征是递归。基于 2 型文法,地图符号的上下文无关文法模型可以表示为 4 元组

$$G_{sbl} = (V_R, V_M, S, R)$$

其中,① $V_R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ 是符号生成过程中的生成规则集, $n$ 是规则的数量, $r_i (i = 1, \dots, n)$ 是生成规则; $V_R$ 中元素不能处于生成过程的终点;② $V_M = \{m_1, m_2, \dots, m_k\}$ 是符号生成过程中使用的语素集, $k$ 是语素的数量, $m_i (i = 1, \dots, k)$ 是指图形语素或形态结构语素。 $V_M$ 中元素只能处于生成过程的终点;③ $S$ 是文法生成的起点,可以取 $V_R$ 集合中不同规则作为初始规则;④ $R$ 是规则的重写形式,其一般形式为: $A \rightarrow \omega$ 。其中, $A \in V_R$ 且 $A \neq \emptyset$ ,即 $A$ 必须是 $V_R$ 集合中的某一规则; $\omega$ 是规则的重写结果。

以此,图 3 用例中的符号抽象描述就可以用数学模型表示为

$$G_{sbl} = (V_R, V_M, S, R)$$

$$V_R = \{\text{symbol}, \text{component}, \text{morph\_graph}, \text{morph\_struct}\}$$



$$V_M = \{m_{sid}, m_{td}, m_{nullg}, s_{on}, s_{rot}\}$$

S=symbol

R:

- (1) symbol→component+  
morph\_struct+component
- (2) component→morph\_graph+  
morph\_struct+morph\_graph
- (3) component→morph\_graph
- (4) morph\_graph→{ $m_{sid}, m_{td}, m_{null}$ }
- (5) morph\_struct→{ $s_{on}, s_{rot}$ }

2.2 语素设计和建模

根据地图符号语素的分类,语素的设计和建模主要分为以下两个方面。

2.2.1 图形语素设计

图形语素是“语义特征-图形形式”的最小原子,其设计旨在合理使用图形视觉变量,赋予语义特征以相应的图形形式。图形语素设计遵循以下原则:①概括性原则:即采用较为规则和简洁的图案表示语义特征;②联想性原则:采用象征和联想等方式,建立起图形和语义特征的内在联系,例如使用采矿镐表示语素(〈矿井〉,𠂇);③继承性原

则:由于文化习俗、已有符号规范等形成的认知惯性,图形语素设计需要继承已有视觉变量的使用原则;④对立与统一原则:对于同属类型的语义特征,使用相同视觉变量的不同值进行表达,且需体现显著的区分特点;⑤领域相关原则:面向不同的行业和应用领域的需求,同一语义特征可以采用多种图形形式表达。

色彩是地图符号区别于其他符号的一个重要特征,以色彩视觉变量使用为例:基于联想性原则,蓝色与自然水色联系在一起,可表达海洋、河流和湖泊相关的语义特征,如(〈泉〉,𠂇);同理,棕色表达山地、沙漠和戈壁相关语义特征,绿色表达植被相关语义特征,蓝紫色表达冰川相关语义特征等。基于对立与统一原则,可以使用色彩区分同属类型的语义特征,例如语素(〈电〉,𠂇)可以基于颜色派生出(〈水电〉,𠂇)、(〈火电〉,𠂇)和(〈核电〉,𠂇)等语素。表 1 为以系列比例尺地图符号为对象抽取获得的语素表,涵盖了点、线、面状符号中使用的常见语素。类似的研究还包括以军队标号和警用符号为对象的语素抽取工作<sup>[24]</sup>。

表 1 基于系列比例尺地图符号进行解构抽取得到的语素(部分)

Tab.1 A lists of symbol-morphemes which are extracted from topographic map symbols (portion)

自由语素		粘着语素	
△、⊗、☆	〈三角点〉、〈水准点〉、〈天文点〉	⋮	〈土〉
𠂇、𠂇	〈矿井〉、〈废弃矿井〉	—	〈地面〉
𠂇	〈风车〉	𠂇	〈电〉
●	〈石油〉或〈油库〉	ㄗ	〈观测〉或〈测量〉
≡	〈沼泽〉	→	〈气象〉
ㄟ	〈贝类〉	— —	〈铁路〉、〈轻轨〉
■	〈湖泊〉或〈河流〉	↔、—	〈电线〉、〈管道〉
𠂇、𠂇、𠂇	〈阔叶〉、〈棕榈〉、〈针叶〉	—、—、—	〈国界〉、〈省界〉
𠂇	〈泉〉	𠂇、𠂇	〈石块〉、〈盐碱〉
⊥、T、+	〈明礁〉、〈暗礁〉、〈干出礁〉	𠂇、𠂇、𠂇	〈草〉、〈稻〉、〈高草〉


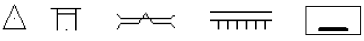



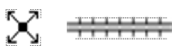

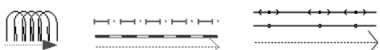






2.2.2 形态结构语素建模

形态结构语素是“语义特征-形态结构”的最小原子,可通过图形语素间的形态结构表达特定的语义特征,在模型坐标系下通过特定的参数设置,在符号生成过程中控制语素、部件拼接和构造符号。例如,图 3 用例中,语素(〈在…上〉,𠂇)采用了中心边缘结构,表示位于中心的对象在位于边缘对象之上,其参数化描述可以表示为 S\_ON: ( $p=(0,0),r=0.5,num=1$ );语素(〈围绕〉,𠂇)

采用了旋转结构来表示土堆,其参数化描述为 S\_ROT: ( $p=(0,0),r=0.3,num=3$ )。

总结了地图符号形态结构基本类型(见表 2),并描述了各结构及其能表征语义类型的关联关系。符号的基本形态结构分为独立、旋转重复、中心边缘重复、向量平行重复、对称重复、规则或线性重复、随机重复 7 大类。归纳了每一类形态结构和参数表、能够表征的语义、实例类型,涵盖了点、线、面状符号中常见的形态结构。

表 2 基于系列比例尺地图符号进行解构抽取得到的形态结构

Tab.2 The morphological structures which are extracted from topographic map symbols				
类型	结构描述(参数)	语义类型	实例(部分结构用红色虚线强调)	
独立	 定位点 p	默认、核心、空间位置		
旋转	 定位点、半径、数量 um	围绕、辅助、范围、区域		
中心边缘	 定位点 p、层数 num、层半径 r	扩展、发散、收缩		
向量平行	 起点 p <sub>s</sub> 、终点 p <sub>e</sub> 、重复数 n、间距 l	趋势、排列、方向		
对称	 中心点 p、方向 d	对称		
规则、线性	 x 间距 l、y 间距 v、类型 t、方向 d	填充、构面		
随机	 类型 t、密度 ρ	散乱、分布		

2.3 生成规则

生成规则规定了图形和形态结构语素相互组合为符号的计算规则,主要包括:①符号重写规则:符号→部件+形态结构语素+部件;②部件重写规则:部件→部件+形态结构语素+部件,或部件→图形语素+形态结构语素+图形语素,或部件→图形语素;③形态结构语素重写规则:根据语义特征和约束条件匹配形态结构,例如 if(⟨围绕⟩) then(⊙);④图形语素重写规则:根据语义特征和约束条件匹配图形,例如 if(⟨泉⟩) then(⦿)。

其中,规则①②表明符号的生成是一种典型的递归形式,是实现“有限语素生成无限地图符号”的关键。规则③④表明不同的约束条件(例如应用领域和情境)会使得同一语义特征匹配得到不同的图形或形态结构。上述规则使得符号的生成具备适应应用领域和情境变化的能力。

根据文法模型  $G_{sbl}$  和上述规则,本文构建了地图符号的生成规则的巴科斯范式(Backus-Naur Form,BNF)描述表(表 3)。采用 BNF 描述生成规则,是因为其描述形式简洁清楚、易于阅读、容易理解,常作为计算机语言语法描述的元语言。

表 3 地图符号生成规则的 BNF 描述

Tab.3 The BNF description of cartographic symbols generation rules

① $\langle symbol \rangle ::= \langle sbl\_desc\_list \rangle [ \langle context\_desc \rangle ] ; '$	// 符号→符号列表和情境描述,以';'结束
② $\langle context\_desc \rangle ::= STRING\_LITERAL$	// 指定符号化情境
③ $\langle sbl\_desc\_list \rangle ::= \langle sbl\_desc \rangle   \langle sbl\_desc\_list \rangle ' , ' \langle sbl\_desc \rangle$	// 符号描述列表展开
④ $\langle sbl\_desc \rangle ::= SYMBOL [ \langle sbl\_name \rangle   \langle sbl\_id \rangle ] ' ( ' \langle comp\_desc \rangle \langle morph\_struct \rangle \langle comp\_desc \rangle ' ) '$	// 设置符号名称或 ID // 符号描述→部件+形态结构语素+部件
⑤ $\langle sbl\_name \rangle ::= STRING\_LITERAL$	// 指定符号名称
⑥ $\langle sbl\_id \rangle ::= INT\_LITERAL$	// 指定符号 ID
⑦ $\langle comp\_desc \rangle ::= \langle morph\_graph \rangle$ $  ' ( ' \langle comp\_desc \rangle \langle morph\_struct \rangle \langle comp\_desc \rangle ' ) '$ $  ' ( ' \langle morph\_graph \rangle \langle morph\_struct \rangle \langle morph\_graph \rangle ' ) '$	// 部件→图形语素 // 部件→部件+形态结构语素+部件
⑧ $\langle morph\_graph \rangle ::= STRING\_LITERAL   INT\_LITERAL$	// 部件→图形语素+形态结构语素+图形语素 // 匹配图形语素
⑨ $\langle morph\_struct \rangle ::= S\_ON   S\_ROT   \dots$	// 匹配形态结构语素

2.4 文法编译器

文法编译器是介于地图符号语义描述和底层符号图形算法和绘制系统之间的一个计算装置,

负责利用生成规则控制语素完成符号图形组织结构的计算。文法编译器向上能接入符号语义描述信息,向下可调用底层模块的接口函数实现符号

的图形绘制。文法编译器的设计如图 4 所示, 计算流程包括: ①输入形式化描述的地图符号语义; ②进行词法分析(lexical analysis), 获得语素标识符; ③进行语法分析(syntax analysis), 依据生成规则重建抽象语法树(Abstract Syntax Tree, AST)<sup>[25]</sup>; ④遍历抽象语法树, 组织符号图形并执行绘制。其中, 词法分析、语法分析和抽象语法树是编译技术<sup>[25]</sup>中的关键技术。

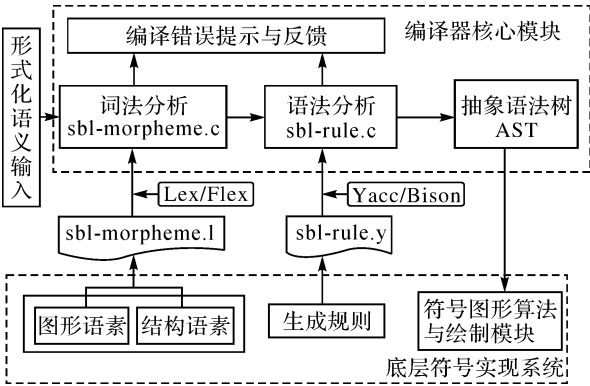


图 4 文法编译器的架构设计  
Fig.4 The design of the compiler

从实现角度, 采用了较为成熟的 Flex 和 Bison 作为词法分析和语法分析的工具。按照 Flex 和 Bison 的规则编写规范, 分别按照语素(图形语素、形态结构语素)、生成规则提供的标识符和规则, 编写 sbl-morpheme.l 的词法规则文件和 sbl-rule.y 的语法规则文件(注:“.l”为 Flex 规则文件类型, “.y”为 Bison 规则文件类型); 使用 Flex 和 Bison 进行编译, 可以得到其对应的词法分析和语法分析程序。

3 试验与分析

基于地图符号上下文无关文法编译器, 以个性化导航路径符号为例, 进行地图符号动态生成试验, 以验证地图符号动态生成模型的可行性。

3.1 符号生成试验

3.1.1 符号语义的形式化描述

导航路径符号可抽象为起点(S)、终点(E)、当前用户位置点(C)和导航路径(R)4 个部分。其中, 起点、终点分别位于导航路径线的两端, 表示为空间关系(meet); 当前点位于导航路径线上, 表示为空间关系(on)。采用语义三元组(triplets)的方式可以表示为:  $\langle S, \text{meet}, R \rangle$ ;  $\langle E, \text{meet}, R \rangle$ ;  $\langle C, \text{on}, R \rangle$ 。顾及符号内部语义的层次关系, 起点、终点和导航路径之间有前组合关系

$\langle E, \text{meet}, \langle S, \text{meet}, R \rangle \rangle$ 或后组合关系 $\langle S, \text{meet}, \langle E, \text{meet}, R \rangle \rangle$ , 再与当前用户位置点组合, 有如下语义描述式:  $\langle C, \text{on}, \langle E, \text{meet}, \langle S, \text{meet}, R \rangle \rangle \rangle$ 和 $\langle C, \text{on}, \langle S, \text{meet}, \langle E, \text{meet}, R \rangle \rangle \rangle$ 。在此基础上, 根据表 3 规则, 进一步将符号语义关系描述为独立形式语句

SYMBOL (C on (E meet (S meet R)))  
SYMBOL (C on (S meet (E meet R)))

3.1.2 符号生成推导过程

在语义描述的形式语句的基础上, 进行词法分析和句法分析计算, 核心是基于自顶向下或自底向上的分析方法<sup>[26]</sup>推导生成抽象语法树, 并将其作为符号的逻辑组织结构的依据, 调用图形语素和形态结构语素构造生成符号图形。符号生成推导过程的核心计算包括两个部分: 一是抽象语法树的推导计算, 二是图形语素和形态结构语素的语义特征→图形的映射。

在抽象语法树推导方面, 试验部分采用了自底向上的计算算法, 也称移近-规约<sup>[26]</sup>算法。计算过程首先从输入的形式语句首部开始, 依次取词向前移近(shift), 并根据表 3 定义的规则逐级向上规约(reduce), 直到构造出输入语义描述的完整抽象语法树为止。图 5 是完整的推导过程的输出, 可见推导过程实质就是依据生成规则的移位、规约和回溯计算, 最终构造图 6 所示的抽象语法树。

在语义特征-图形映射方面: 对于图形语素而言, 设计了 3 种情境的语义特征和图形形式的映射方案, 如表 4 所示, 3 种方案反映了同一语义特征的不同情境下的图形表达形式。对于形态结构的语素而言, 主要考察二维地图表达的需求, 设计“meet”和“to”两个空间关系的表达形式, 如表 5 所示。基于图 6 的抽象语法树逻辑结构, 将图形语素的图形放置在相应形态结构语素的结构位置上, 可以按照图 7 所示组装符号最终图形。

表 4 面向不同情境的图形语素设计			
Tab.4 The design of graphical morpheme for different contexts			
图形语素	Context1	Context2	Context3
起点(S)			
终点(E)			
当前点(C)			
路径(R)			

栈	操作	剩余的语句
1 SYMBOL ( C on (S meet (E meet R)));		SYMBOL (C on (S meet (E meet R)));
2 SYMBOL	移位	(C on (S meet (E meet R)));
3 SYMBOL (	移位	C on (S meet (E meet R)));
4 SYMBOL ( C	移位	on (S meet (E meet R)));
5 SYMBOL ( GM	规约(规则8)	on (S meet (E meet R)));
6 SYMBOL ( GM on	移位	(S meet (E meet R)));
7 SYMBOL ( GM SM	规约(规则9)	(S meet (E meet R)));
8 SYMBOL ( GM SM (	移位	S meet (E meet R)));
return 3		
3# SYMBOL (	回溯	C on (S meet (E meet R)));
9 SYMBOL ( C	移位	on (S meet (E meet R)));
10 SYMBOL ( GM	规约(规则8)	on (S meet (E meet R)));
11 SYMBOL ( COM	规约(规则7-1)	on (S meet (E meet R)));
12 SYMBOL ( COM on	移位	(S meet (E meet R)));
13 SYMBOL ( COM SM	规约(规则9)	(S meet (E meet R)));
14 SYMBOL ( COM SM (	移位	S meet (E meet R)));
15 SYMBOL ( COM SM ( S	移位	meet (E meet R)));
16 SYMBOL ( COM SM ( GM	规约(规则8)	meet (E meet R)));
17 SYMBOL ( COM SM ( GM meet	移位	(E meet R)));
18 SYMBOL ( COM SM ( GM SM	规约(规则9)	(E meet R)));
19 SYMBOL ( COM SM ( GM SM (	移位	E meet R)));
return 14		
14# SYMBOL ( COM SM (	回溯	S meet (E meet R)));
20 SYMBOL ( COM SM ( S	移位	meet (E meet R)));
21 SYMBOL ( COM SM ( COM	规约(规则7-1)	meet (E meet R)));
22 SYMBOL ( COM SM ( COM meet	移位	(E meet R)));
23 SYMBOL ( COM SM ( COM SM	规约(规则9)	(E meet R)));
24 SYMBOL ( COM SM ( COM SM (	移位	E meet R)));
25 SYMBOL ( COM SM ( COM SM ( E	移位	meet R)));
26 SYMBOL ( COM SM ( COM SM ( GM	规约(规则8)	meet R)));
27 SYMBOL ( COM SM ( COM SM ( GM meet	移位	R)));
28 SYMBOL ( COM SM ( COM SM ( GM SM	规约(规则9)	R)));
29 SYMBOL ( COM SM ( COM SM ( COM SM R	移位	));
30 SYMBOL ( COM SM ( COM SM ( GM SM GM	规约(规则8)	));
31 SYMBOL ( COM SM ( COM SM ( GM SM GM )	移位	));
32 SYMBOL ( COM SM ( COM SM ( COM SM COM	规约(规则7-3)	));
33 SYMBOL ( COM SM ( COM SM COM )	移位	);
34 SYMBOL ( COM SM COM	规约(规则7-2)	);
35 SYMBOL ( COM SM COM )	移位	;
36 SYMBOL ( COM )	规约(规则7-2)	;
return 34		
34# SYMBOL ( COM SM COM	回溯	);
37 SYMBOL ( COM SM COM )	移位	;
38 SD	规约(规则4)	;
39 SD;	移位	
40 S	规约(规则1)	

图 5 用例符号的推导过程(GM:图形语素;SM:结构语素;COM:部件;SD:符号描述;S:符号)

Fig.5 The derivation process of case symbol (GM:graphic morpheme; SM:structural morpheme; COM: component; SD:sbl\_desc; S:symbol)

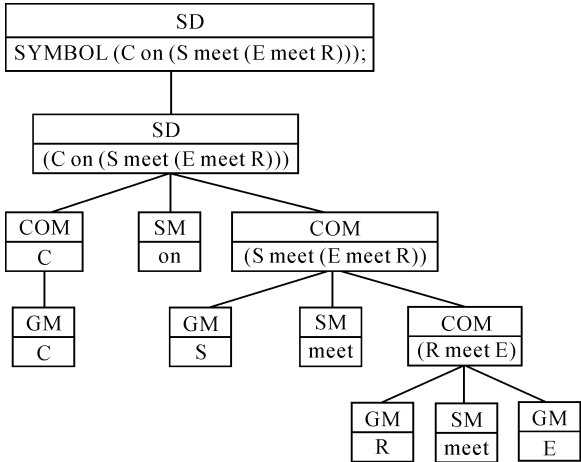


图 6 用例符号生成的推导树

Fig.6 The derivation tree of case symbol

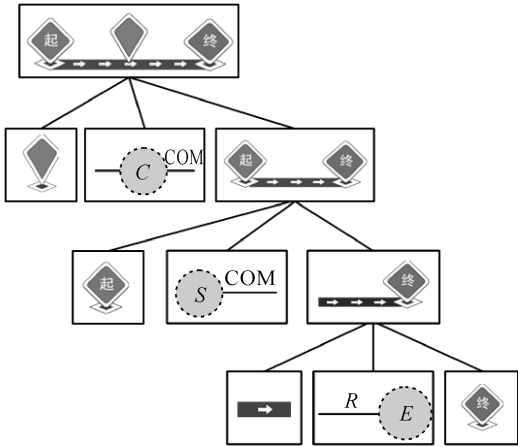


图 7 基于推导树的符号图形组织结构

Fig.7 The graphical structure of symbol according to derivation tree



表 5 形态结构语素设计

Tab.5 The design of structural morpheme

形态结构语素	P to P	P to L	L to P
A meet B			
A on B			

3.1.3 生成结果

基于符号的推导和计算,按照语义是否正确、情境是否一致进行控制,得到了表 6 所示的 3 类符号生成结果。第 1 类:给定正确的语义输入,并严格按照表 4 所设计的情境进行符号生成;第 2 类:给定正确的语义输入,置乱图形语素和情境的对应关系后生成相应的符号,此类符号具有语义上的正确性,但是表达效果与预期设计不一致;第 3 类:给定在输入语义上将起点(S)、终点(E)和当前用户位置点(C)置乱,使得输入的语义存在错误,同时也置乱图形语素和情境的对应关系,此类符号不仅在语义上存在错误,而且表达的结果也无法认知或认知错误。

3.2 试验结论

根据试验,可以得出以下结论:

(1) 基于有限的语素和生成规则,能够生成(理论上)无限可能形式的符号。一方面,规则的迭代设计使得符号图形可以嵌套和重用,这是符号生成能力的根源;另一方面,只要符合规则,文法编译器均可执行图形构造计算:例如在表 6 中,通过对情境置乱和语义置乱,生成了除“语义正确、情境一致”的符号之外的更多符号,虽然这些符号不可实际用,但这些符号的生成过程和结果均满足规则。

(2) 符号的语义描述影响所生成符号的图形形式。区分为语义复杂度和语义正确性两个方面:语义复杂度方面,语义信息越复杂和越丰富,符号的图形形式越复杂,反之亦然,这也表明符号语义和图形的结构一致性;语义正确性方面,错误的语义描述会生成形式正确、但难以认知(甚至是误导认知)的符号,例如表 6 中“语义置乱”后的符号,已经丧失正确的路径导航能力。因此,语义对符号的按需表达应用产生重要约束,是语法的基础上尚需进一步探讨的问题。

(3) 能够兼顾情境、行业和应用领域对符号的影响。本文方法在语素层面将情境、行业和应用领域的个性化特征进行固化,例如图形语素设计顾及了行业领域应用习惯和约定(表 4 示例),形态结构语素也能固化表达环境特征,例如面向 3D 环境时表 5 的空间关系表达需要进行扩展。根据不同情境、行业和应用领域进行语素设计,并在应用时进行匹配、调用和重用,使得符号生成结果能够一定程度上满足按需的能力。这也表明,在语素层面进行个性化特征的固化,要比在符号层面的固化更加具有优势。

(4) 符号化方法具备更好的按需和实时动态表达潜力。以语素为纽带,语义结构驱动符号图形组合的符号化模式,使得符号的按需表达可以划分为两个阶段,即语义分析、推理阶段和符号组构阶段,它们以形式化的语义描述为接口。按照这一模式,在符号组构的文法编译器基础上,符号按需和动态表达的问题就可更加集中于符号语义的分析、推理和计算方面。因此,该方法为进一步拓展符号表达的个性化和智能化程度奠定基础。

表 6 用例符号的生成结果

Tab.6 The generation list of case symbol

类型	符号生成效果		
语义正确、情境一致			
语义正确、置乱情境			
置乱语义、置乱情境			

## 4 总 结

位置服务背景下的地图制图,强调地图符号的动态生成和表达。本文针对这一问题,以地图符号的认知语义分析为切入点,建立了一种以语义结构为内在逻辑、以语素为语义和图形关联原子、规则控制语素构造符号的地图符号动态生成模式,隶属于符号的形态学研究范畴。

本文地图符号生成模型,之所以能够适应位置服务背景下地图符号化的自适应和动态表达的需求,原因在于通过语素建立起符号语义和图形的关联关系,并将符号的图形构建付诸于符号的语义结构描述,是一种“语义→图形”的自动转换机制。对于计算机而言,这一转换将复杂的符号图形计算转换为语义向量的计算,相较而言,后者更容易形式化和规则化,有利于计算机实现。对于人的符号认知而言,语素维持了符号的语法结构与语义结构之间的一致性,有利于提高地图符号的认知效率。

在可用性方面,该方法不仅能够应用于位置服务背景下地图符号化方面,还可能在以下领域发挥作用:①在语素层面(而不是符号层面)对领域的差异性进行固化和重用,可为多行业和多领域的符号设计提供有益的思路;②以语义为符号的内在逻辑,通过语义的对立与统一分析建立起良好的符号语义系统,能够强化符号体系的系统性,为现行军队标号臃肿但仍不够使用的问题提供解决方案;③从地图语言的角度,本文的研究可认为是对地图语言词汇的形态学探讨,对于地图教学中的符号本质和结构理解、地图符号阅读和记忆等具有潜在价值。

## 参考文献:

[1] 周成虎,朱欣焰,王蒙,等. 全息位置地图研究[J]. 地理科学进展, 2011, 30(11): 1331-1335.  
ZHOU Chenghu, ZHU Xinyan, WANG Meng, et al. Panoramic Location-based Map[J]. Progress in Geography, 2011, 30(11): 1331-1335.

[2] 朱欣焰,周成虎,吴维,等. 全息位置地图概念内涵及其关键技术初探[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2015, 40(3): 285-296.  
ZHU Xinyan, ZHOU Chenghu, GUO Wei, et al. Preliminary Study on Conception and Key Technologies of the Location-based Pan-information Map[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2015, 40(3): 285-296.

[3] SALBER D, DEY A K, ABOWD G D. The Context Toolkit:

Aiding the Development of Context-enabled Applications [C] // Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems. Pittsburgh: ACM Press, 1999: 15-20.

[4] 李少梅,孙群,刘海砚,等. 基于控制规则的地图符号化技术研究[J]. 测绘科学技术学报, 2009, 26(2): 135-140.  
LI Shaomei, SUN Qun, LIU Haiyan, et al. Research of the Digital Map Symbolization Based on Controlling Rules [J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2009, 26(2): 135-140.

[5] 尹章才,李霖,朱海红,等. 基于 SVG 的地图符号描述模型研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2004, 29(6): 544-548.  
YIN Zhangcai, LI Lin, ZHU Haihong, et al. Description Model of Map Symbols Based on SVG[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2004, 29(6): 544-548.

[6] 赵飞,杜清运. 专题地图符号的句法结构及其自动构建机制[J]. 测绘学报, 2014, 43(6): 653-660.  
ZHAO Fei, DU Qingyun. Syntactic Characteristics and Smart Construction Mechanism of Thematic Map Symbol [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2014, 43(6): 653-660.

[7] 江南. 电子地图多模式显示的研究与实践[D]. 郑州: 信息工程大学, 2010.  
JIANG Nan. Research and Practice of Electronic Map Multi-pattern Display[D]. Zhengzhou: Information Engineering University, 2010.

[8] SCHLICHTMANN H. Overview of the Semiotics of Maps [C] // Proceedings of 24th International Cartographic Conference. Santiago:[s.n.], Chile, 2009: 15-21.

[9] 韩爽,梁栋栋,吴旭. 旅游资源专题语义符号自动匹配[J]. 测绘科学, 2016, 41(5): 143-146, 162.  
HAN Shuang, LIANG Dongdong, WU Xu. Automatic Matching of Tourism Resource Thematic Symbols Based on Semantics[J]. Science of Surveying and Mapping, 2016, 41(5): 143-146, 162.

[10] 田江鹏,贾奋励,夏青,等. 语义驱动的层次化地图符号设计方法[J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(6): 736-743.  
TIAN Jiangpeng, JIA Fenli, XIA Qing, et al. Design Method of the Semantic-driven Hierarchical Map Symbols[J]. Journal of Geo-Information Science, 2012, 14(6): 736-743.

[11] 卢瑞,贾奋励,田江鹏,等. 意象图式在地图符号结构生成中的应用研究[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(6): 758-766. DOI: 10.3724/SP.J.1047.2016.00758.  
LU Rui, JIA Fenli, TIAN Jiangpeng, et al. 2016. The Application of Image Schema in the Generation of Map Symbols[J]. Journal of Geo-information Science, 18(6): 758-766. DOI: 10.3724/SP.J.1047.2016.00758.

[12] 王寅. 认知语言学[M]. 上海: 上海外语教育出版社, 2006.  
WANG Yin. Cognitive Linguistics[M]. Shanghai: Shanghai

Foreign Language Education Press, 2006.

[13] HEAD C G. The Map as Natural Language A Paradigm for Understanding[C]// Proceedings of New Insights in Cartographic Communication. Toronto: University of Toronto Press, 1984: 1-36.

[14] 朱晓军. 空间范畴的认知语义研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2008.

ZHU Xiaojun. A Cognition and Semantic Study of Space [D]. Shanghai: East China Normal University, 2008.

[15] 俞连笙. 地图符号的哲学层面及其信息功能的开发[J]. 测绘学报, 1995, 24(4): 259-266.

YU Lianshen. The Philosophical Levels of Map Symbol and the Exploration of its Information Function[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 1995, 24 ( 4 ): 259-266.

[16] 高名凯. 语言论[M]. 北京: 商务印书馆, 2011.

GAO Mingkai. Linguistic[M]. Beijing: The Commercial Press, 2011.

[17] 罗宾斯 R H. 普通语言学导论[M]. 申小龙译. 上海: 复旦大学出版社, 2008.

ROBINS R H. General Linguistics Fourth Edition[M]. SHEN Xiaolong, trans. Shanghai: Shanghai Fudan Press, 2008.

[18] TIAN Jiangpeng, PENG Keman, Jia Fenli, et al. The Concept of Symbol-morpheme and its Application in Map Symbols Design[C]// Proceedings of the 21st International Conference on Geoinformatics, Kaifeng, China: IEEE, 2013.

[19] 李伟, 陈毓芬, 钱凌韬, 等. 语言学的个性化地图符号设计[J]. 测绘学报, 2015, 44(3): 323-329. DOI: 10.11947/j.AGCS.2015.20130758.

LI Wei, CHEN Yufen, QIAN Lingtao, et al. Personalized Map Symbol Design Mechanism Based on Linguistics[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2015, 44 (3): 323-329. DOI: 10.11947/j.AGCS.2015.20130758.

[20] 杜清运. 空间信息的语言学特征及其自动理解机制研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2001.

DU Qinyun. Study on Linguistic Characteristics and Automatic Understanding Mechanism of Spatial Information [D]. Wuhan: Wuhan University, 2001.

[21] KENT A J, VUJAKOVIC P. Cartographic Language: Towards

a New Paradigm for Understanding Stylistic Diversity in Topographic Maps[J]. The Cartographic Journal, 2011, 48(1): 21-40.

[22] 曹亚妮, 江南, 张亚军, 等. 电子地图符号构成变量及其生成模式[J]. 测绘学报, 2012, 41(5): 784-790.

CAO Yani, JIANG Nan, ZHANG Yajun, et al. Constitution Variables and Generation Modes of Electronic Map Symbols[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2012, 41(5): 784-790.

[23] PRATT I. Map Semantics[C]// Frank A U, Campari I. Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS. Heidelberg: Springer, 2005, (716): 77-91.

[24] 彭克曼. 语义驱动的符号自动生成方法研究——以点状军标符号为例[D]. 郑州: 信息工程大学, 2014. (未找到本条文献信息, 请核对)

PENG Keman. On Method of Symbols' Automatic Generation Driven by Semantic: In Example of Point Military Symbols [D]. Zhengzhou: Information Engineering University, 2014.

[25] MASON T, BROWN D. Lex & Yacc[M]. Sebastopol: O'Reilly & Associates, Inc, 1990.

[26] 冯志伟. 自然语言处理的形式模型[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2010.

FENG Zhiwei. Formal Models of Natural Language Processing [M]. Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 2010.

(责任编辑: 宋启凡)

收稿日期: 2016-10-14

修回日期: 2017-06-26

第一作者简介: 田江鹏(1987—), 男, 博士, 讲师, 研究方向为地图制图学与地理信息工程。

First author: TIAN Jiangpeng (1987—), male, PhD, lecturer, majors in cartography and geographic information engineering.

E-mail: tjpeng2011@163.com

通信作者: 贾奋励

Corresponding author: JIA Fenli

E-mail: imjerry76@foxmail.com