

描述 Web 服务的一阶动态逻辑

吴晓庆 马 越 曹存根 陆跃飞

(中国科学院计算技术研究所 北京 100190)

摘 要 Web 服务有几种形式化表示: WSMO(Web 服务建模本体)和 OWL-S(Web 服务本体语言)。为了分析 WSML 的逻辑特性,提出用一阶动态逻辑来表示 WSML。这里的一阶动态逻辑与传统的 PDL 不同,后者是用来表示程序改变变量的动态性质的,而描述 Web 服务的一阶动态逻辑除了描述改变变量的程序动作的动态性质之外,还需要描述改变关系的服务动作的动态性质。给出了描述 Web 服务的 PDL 的语法和语义,并且用一个例子说明了 PDL 是如何表示 Web 服务的静态属性和动态属性的,以及改变变量和改变关系的动作的动态性质。

关键词 一阶动态逻辑, Web 服务模型本体, Web 服务, 程序, 赋值

中图法分类号 TP302.1 **文献标识码** A

Features of the Predicate Dynamic Logic for Web Services

WU Xiao-qing MA Yue CAO Cun-gen SUI Yue-fei

(Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract There are several formalizations of Web services: WSMO(Web Service Modeling Ontology) and OWL-S(Web Ontology Language for Services). To analyze the logical properties of WSML, we represented WSML in a predicate dynamic logic, where the predicate dynamic logic is different from the traditional PDL which is designed to represent dynamic properties of programs which change the assignments of variables, and the predicate dynamic logic for Web services is designed to represent dynamic properties of services which change the relations. We gave the syntax and semantics of the PDL for Web services, and an example to show how to represent the static and dynamic properties of Web services.

Keywords Predicate dynamic logic, Web service modeling ontology, Web service, Program, Assignment

1 引言

Web 服务有以下几种形式化表示: WSMO(Web 服务建模本体^[1,8])、OWL-S(Web 服务本体语言^[5-7])等。

以上这些形式化与服务在谓词动态逻辑(Predicate Dynamic Logic PDL)中作为程序动作的形式化有关。PDL 形式化程序(programs)和程序的动态(dynamic)行为的语法和语义有以下性质:

(1) PDL 用来形式化存储(store)中变量值的改变,因此在 PDL 的语义当中,可能世界(possible worlds)就是赋值(assignment, 从变量到论域中元素的一个函数);

(2) 程序中出现的参数在一个赋值下作为变量出现在前置状态和后置状态当中,通过这两个状态(赋值)的改变来描述程序的动态行为;

(3) 程序只是通过赋值来改变有限多个变量的值;对于 Peano 算术系统逻辑语言中的任意一个语句 ϕ (sentence),其真值是不能被任何程序改变的。也就是说,一个程序不能改变那些在论域中成立的语句。

本文将给出一个描述 Web 服务的 PDL,这个 PDL 具有以下性质:

i) 为简化起见,描述 Web 服务 PDL 的语义采用常论域语义(constant domain semantics),其中每个可能世界的论域是相同的。

ii) 两种谓词符号:静态的和动态的。其中静态谓词符号的解释不随可能世界的改变而改变,而一些动态谓词符号的解释随可能世界的改变而改变。

iii) 把赋值作为可能世界不再恰当,因为并不是每一个服务都可以通过改变某些变量的值来描述。例如,在文献[8]的例子当中,Web 服务是购买 Crime and Punishment 这本书,购买之前这本书不在购物车当中,但是购买之后这本书出现在购物车当中,这里,书和购物车都是通过两个常量符号形式化的,然而它们在购买之前和购买之后拥有了不同的属性值。

iv) 两种类型的 Web 服务:服务常量和 service 变量。在服务常量的描述中是不含变量的,而在 service 变量的描述中是可以出现变量的。因此,一个 service 变量可以看作是一个 service 概念。

到稿日期:2010-12-06 返修日期:2011-04-18 本文受国家自然科学基金项目(61035004)资助。

吴晓庆(1985-),男,硕士生,主要研究方向为大规模知识获取,E-mail: xiaoqing198572@sina.com;马 越(1984-),男,博士,主要研究方向为大规模知识获取;曹存根(1964-),男,研究员,博士生导师,主要研究方向为大规模知识获取;陆跃飞(1963-),男,研究员,博士生导师,主要研究方向为大规模知识处理的理论基础、知识表示。

因此,为了在一阶动态逻辑中形式化 Web 服务,需要为一阶动态逻辑定义一个新的语义。一阶动态逻辑基于将赋值作为可能世界的传统语义,已不能恰当地描述 Web 服务了。本文试图给出描述 Web 服务的 PDL 一个新的语义,这个语义基于常论域语义和 Hoare 逻辑语义。全文围绕文献[8]中例子展开。这个例子给出了一个购书的服务,比服务不是传统 PDL 中的一个程序,并且不能通过改变变量的值来描述,而需要通过改变关系来描述。

本文第 2 节给出文献[8]中的例子并分析该例的基本语法性质;第 3 节总结 PDL 的语法和语义性质,并且说明描述 Web 服务的 PDL 有哪些要求和性质;第 4 节正式给出描述 Web 服务的 PDL 的定义,并给出其逻辑语言、语法和语义;第 5 节用描述 Web 服务的 PDL 对本文的例子进行形式化;最后对全文进行总结。

2 文献[8]中的例子

WSMO(Web 服务建模本体^[1,8])由 4 层元素组成:本体、目标、Web 服务描述和中介。WSML 中的本体包括概念、关系、实例、关系实例和公理。Web 服务包括一个容量(capacity)和一系列的接口。容量使用逻辑表达式表示 Web 服务的前置状态和后置状态,通过状态改变描述 Web 服务的功能。以下是文献[8]中关于本体和 Web 服务的一个例子。

为了表示以上信息,需要使用以下的符号来表示在 WSML 中出现的概念:

- 一元谓词符号 **B**:用 $B(x)$ 表示 x 是一本书;
- 一元谓词符号 **P**:用 $P(x)$ 表示 x 是一个人;
- 一元谓词符号 **C**:用 $C(x)$ 表示 x 是一辆购物车;
- 一元谓词符号 **I**:用 $I(x)$ 表示 x 是某辆购物车中的一本书;
- 一元谓词符号 **N**:用 $N(x)$ 表示 x 是某辆购物车的车号;
- 二元谓词符号 **r**:用 $r(x, y)$ 表示 x 是一本书, y 是一个人,并且 y 是 x 这本书的作者;
- 二元谓词符号 **n**:用 $n(x, y)$ 表示 x 是一辆车, y 是车 x 的车号;
- 二元谓词符号 **i**:用 $i(x, y)$ 表示 x 是一辆车, y 是一系列购物项的集合,并且 y 在 x 中。

例 1 WSML 本体

```
wsmVariant _ "HUhttp://www.wsmo.org/wsml/wsml-syntax/wsml-flightUH"
namespace { _ "HUhttp://example.org/bookOntology # UH", dc _
  "http://purl.org/dc/elements/1.1/" }
ontology _ "HUhttp://example.org/bookOntologyUH"
  nonFunctionalProperties
    dc # title hasValue "Example Book ontology"
    dc # description hasValue "Example ontology about
      books and shopping carts"
  endNonFunctionalProperties
  concept book
    title ofType _string
    hasAuthor ofType author
  concept author subConceptOf person
```

```
authorOf inverseOf(hasAuthor) ofType book
concept cart
  nonFunctionalProperties
    dc # description hasValue "A shopping cart has
      exactly
        one id and zero or more items, which are
          books."
  endNonFunctionalProperties
  id ofType(1) _string
  items ofType book
instance crimeAndPunishment memberOf book
  title hasValue "Crime and Punishment"
  hasAuthor hasValue Dostoyevsky
  relation authorship (impliesType author, impliesType
    document)
  nonFunctionalProperties
    dc # relation hasValue authorshipFromAuthor
  endNonFunctionalProperties
  axiom authorshipFromAuthor
    definedBy
```

authorship(? x, ? y); - ? x[authorOf has-

- 常量符号 **b**:用来表示书 *Crime and Punishment*;
- 常量符号 **d**:用来表示书的作者 *Dostoyevsky*。

以上是用符号表示本体中的概念。下面说明包含在本体中的公式。设 T 为概念本体的公式集,那么 T 包含以下公式:

$$\begin{aligned} & \mathbf{P(d), B(b), r(b, d);} \\ & \forall x(\mathbf{I}(x) \rightarrow \mathbf{B}(x)); \\ & \forall x, y(\mathbf{r}(x, y) \rightarrow \mathbf{B}(x) \wedge \mathbf{P}(y)); \\ & \forall x, y(\mathbf{n}(x, y) \rightarrow \mathbf{C}(x) \wedge \mathbf{N}(y)); \\ & \forall x, y(\mathbf{i}(x, y) \rightarrow \mathbf{C}(x) \wedge \mathbf{I}(x)). \end{aligned}$$

其中,用 $\mathbf{n, i}$ 描述购物车和购物项集合的静态属性,因为 $\mathbf{n, i}$ 分别表示购物车的车号和包含购物项的集合。需要以下符号来表示购书服务:

例 2 WSML 描述的一个 Web 服务

```
WebService _HUhttp://example.org/bookServiceU
  nonFunctionalProperties
    dc # title hasValue "Example book buying service"
    dc # description hasValue "A simple example web service
      for adding items to a shopping cart"
  endNonfunctionalProperties
  importsOntology _HUhttp://example.org/bookOntologyU
  capability
    sharedVariables { ? cartId, ? item }
    precondition
      definedBy
        ? cartId memberOf _string and ? item memberOf
          book
    postcondition
      definedBy
        forall ? cart(? cart[id hasValue ? cartId]
          memberOf cart implies ? cart[items hasValue ? i-
            tem])
```

- 动作变量符号 ξ : 用 ξ 表示购书服务类;
- 关系符号 f : 用 (ξ, x) 表示 x 是 ξ 中的购物车;
- 关系符号 g : 用 $g(\xi, x)$ 表示 x 是 ξ 中的购物项集合。

其中, 用 f, g 描述购物车和购物项集合的动态属性, 因为 f, g 分别表示与服务相关的一辆车和一个购物项集合。

3 一阶动态逻辑不适合描述 Web 服务

PDL 是用来描述程序动态属性的逻辑, 并且假定程序都是以自然数作为输入。因此, PDL 的一个模型包括一阶逻辑模型, 赋值作为可能世界, 并且每个原子程序的可达关系是由一阶逻辑模型中的解释定义的。PDL 之所以不适合描述 Web 服务, 是因为 Web 服务包括程序和其它的服务, 后者可能会改变应用这些服务时涉及到的对象所具有的性质和关系。在这里给出语言 PDL_w 及它的语法和语义, 这里面的服务常量和程序变量是由一个服务谓词的集合来描述的。

L 是 Peano 算术系统的逻辑语言, 包括以下符号:

- 常量符号: $0, n$;
- 二元操作符: $+, \cdot$;
- 二元谓词符号: $=$ 。

在一阶动态逻辑当中, 动作 α 定义如下:

$$\alpha = x; = t \mid \alpha_1; \alpha_2 \mid \text{if } \phi \text{ then } \alpha_1 \text{ else } \alpha_2 \mid \text{while } \phi \text{ do } \alpha,$$

其中,

- $x; = t$ 是一个原子程序, t 是 Peano 算术系统逻辑语言

L 中的项;

- $\alpha_1; \alpha_2$ 是 α_1 和 α_2 的复合;
- $\text{if } \phi \text{ then } \alpha_1 \text{ else } \alpha_2$ 是条件程序: 如果 ϕ 成立, 执行动作 α_1 , 否则执行动作 α_2 ;

- $\text{while } \phi \text{ do } \alpha_1$ 是 while 程序;

并且称 $x; = n+1$ 是一个常量程序。

在 PDL 的语义中, 一个模型 M 是一个三元组 (U, I, W) ,

其中,

- U 是论域;
- I 是一个解释, 使得

$$I(0) \in U, I(n) \in U; I(+): U^2 \rightarrow U; I(\cdot): U^2 \rightarrow U; I(=) = \{(a, a); a \in U\};$$

- W 是赋值 $w: \text{variables} \rightarrow U$ 的集合, 即对于任意一个变量 $x, w(x) \in U$ 。

一个程序只改变从 w 到 w' 的一个赋值。准确地说, 对于任意 α 和 $w, w' \in W, (w, w') \in R_\alpha$ 当且仅当

- 如果 $\alpha = x; = t$, 则 $w' = w(x/t^{!w})$, 其中 $t^{!w}$ 是 t 在解释 I 和赋值 w 下的解释;

- 如果 $\alpha = \alpha_1; \alpha_2$, 则存在一个 $w'' \in W$, 使得 $(w, w'') \in R_{\alpha_1}$ 且 $(w'', w') \in R_{\alpha_2}$;

- 如果 $\alpha = \text{if } \phi \text{ then } \alpha_1 \text{ else } \alpha_2$, 则 $w \models \phi$ 且 $(w, w') \in R_{\alpha_1}$, 或者 $w \not\models \phi$ 且 $(w, w') \in R_{\alpha_2}$;

- 如果 $\alpha = \text{while } \phi \text{ do } \alpha_1$, 则存在 w_0, w_1, \dots, w_n , 使得对于任意 $0 \leq i \leq n, (w_i, w_{i+1}) \in R_{\alpha_1}, w_0 = w, w_n = w', w_i \models \phi$ 。

对于任意的语句 ϕ (不包含自由变量) 和任意的 $w, w' \in W, M, w \models \phi$ 当且仅当 $M, w' \models \phi$

描述 Web 服务的 PDL 有以下性质:

- 描述 Web 服务的 PDL 的语义是常论域语义, 说明一

个 Web 服务不会改变服务中对象的静态属性;

- Web 服务包括 PDL 中的程序和它的服务动作, 例如购书服务;

• 一个 Web 服务可能会改变服务中对象的动态属性。因此, 谓词符号分为两种类型: 静态谓词符号和动态谓词符号, 动态谓词符号包含有动作变量和动作常量。

所以, PDL_w 模型在以下几点与其它 PDL 模型有所不同:

- 动态谓词的解释不同于可能世界;
- 可能世界不再是赋值, 因为将赋值作为可能世界, 动态谓词的解释在相应的赋值下将会是不变的。

另外, 常量服务也分为两种类型: 一种是改变赋值的, 另一种是改变谓词解释的。例如, 在一阶动态逻辑中, $\alpha = x; = t$ 是一个原子动作, α 在可能世界当中改变赋值; 在服务的例子中, $\alpha = \text{the buying book service}$, α 是一个购书服务, α 在可能世界中改变谓词 i 的解释。

一些模态逻辑变型的模型的本体特征:

模态逻辑

- 给出一个框架 (W, R) , W 是可能世界的集合且 R 是 W 上的二元关系 (可达关系);

- 给出基于框架 (W, R) 的一个模型 $M = (W, R, U, I)$, U 是论域并且 I 是一个解释, 对于任意常量 c 和可能世界 $w \in W, I(c, w) \in U$; 对于任意一个 n 元关系符号 r 和可能世界 $w \in W, I(r, w) \subseteq U^n$, 并且

- 对于任意公式 ϕ 和可能世界 w , 有 $M, w \models \phi$ 或者 $M, w \not\models \phi$ 。

给出框架 (W, R) , 有许多基于该框架的模型 M 。

动态逻辑

- 给出一阶逻辑模型 $M = (U, I)$, U 是论域并且 I 是一个解释;

- W 是 M 上所有赋值的集合, 也就是说, W 是从变量到论域中元素的所有函数的集合; 每一个原子动作 α 都和一个可达关系 $R_\alpha \subseteq W \times W$ 有关, 至此动态逻辑有一个模型 $M' = (M, W, \{R_\alpha; \alpha\})$;

- 对于任意公式 ϕ 和可能世界 w , 有 $M, w \models \phi$ 或者 $M, w \not\models \phi$ 。

给出模型 M , 动态逻辑有唯一的模型 M' 。

动态描述逻辑

- 给出框架 $(W, \{R_\alpha; \alpha\})$, W 是可能世界的集合, 对于每个原子动作 α, R_α 是关于 α 的可达关系;

- 给出基于框架 $(W, \{R_\alpha; \alpha\})$ 的一个模型 $M = (W, \{R_\alpha; \alpha\}, \Delta, I)$, Δ 是论域并且 I 是一个解释;

- 对于任意的概念 C , 语句 ϕ 和一个可能世界 $w \in W, C^{!w}$ 是 Δ 的一个子集并且有 $M, w \models \phi$ 或者 $M, w \not\models \phi$ 。

用于数据库查询的动态描述逻辑

- 给出一个描述逻辑的模型 $M = (\Delta, I)$, 该模型基于动态描述逻辑基于的框架;

- 对于任意一个查询 α , 描述逻辑有一个模型 M_α, M_α 从 M 通过 α 可达, 即 $(M, M_\alpha) \in R_\alpha$ 。设 $W = \{M_\alpha; \alpha\}$,

且

$$R_\alpha = \{(M', M'_\alpha); M' \in W\},$$

存在一个 DDL 模型

$$M' = (M, W, \{R_a : a\});$$

• 对于任意公式 ϕ 和可能世界 w , 有 $M, w \models \phi$ 或者 $M, w \models \neg\phi$.

给出模型 M , DDL 有唯一的模型 M' .

下面将给出描述 Web 服务的一阶动态逻辑, 它的模型的本体特征与模态逻辑、动态逻辑和数据库的动态描述逻辑不同。

4 PDL_{ws} : 描述 Web 服务的 PDL

PDL_{ws} 包含描述对象静态信息的一阶逻辑和描述 Web 服务动态信息的动态逻辑。这一节, 首先给出 PDL_{ws} 的语法表示, 之后给出 PDL_{ws} 的语义。

为简单起见, 将函数符号省略, 只用谓词符号。

PDL_{ws} 的静态部分包含以下符号:

- 常量符号: c_0, c_1, c_2, \dots ;
- 谓词符号: p_0, p_1, p_2, \dots ;
- 变量: x_0, x_1, x_2, \dots ;
- 逻辑联结符号和量词符号: $\neg, \rightarrow, \forall$;
- 辅助符号: $(,)$ 。

符号串 t 是一个项, 如果

$$t = c \mid x$$

式中, c 是一个常量符号。

符号串 ϕ 是一个公式, 如果

$$\phi = \mathbf{p}(t_1, \dots, t_n) \mid \neg\phi_1 \mid \phi_1 \rightarrow \phi_2 \mid \forall x\phi_1(x)$$

式中, \mathbf{p} 是一个 n 元关系谓词符号, 并且 t_1, \dots, t_n 都是项。

PDL_{ws} 的动态部分包含以下符号:

- 服务常量: $\alpha_0, \alpha_1, \dots$, 其中 α 可能是一个含变量的程序;
- 服务谓词符号: r_0, r_1, \dots ;
- 服务变量: ξ_0, ξ_1, \dots ;
- 模态词: $[\cdot]$ 。

简单起见, 假设每一个动态谓词符号 \mathbf{r} 是一个二元关系。

符号串 β 是一个动态项, 如果

$$\beta = \alpha \mid \xi$$

式中, α 是一个服务常量, ξ 是一个服务变量。

符号串 θ 是一个动态公式, 如果

$$\theta = \mathbf{r}(\beta, t) \mid \neg\theta_1 \mid \theta_1 \rightarrow \theta_2$$

式中, β 是一个动态项并且 t 是一个项。

符号串 Φ 是一个语句, 如果

$$\Phi = \phi_1 [\beta] \phi_2$$

式中, β 是一个动态项, ϕ_1, ϕ_2 是公式, ϕ_1, ϕ_2 分别是 β 的前置条件和后置条件。

PDL_{ws} 的模型是一个四元组

$$(W, \{R_a : a\}, U, I)$$

其中,

W 是可能世界的集合;

对于任意服务常量 α , $R_\alpha \subseteq W \times W$ 是 W 上的一个二元关系;

U 是论域;

- I 是一个解释, 有
- 对于任意常量符号 c , $I(c) \in U$;

• 对于任意 n 元静态谓词符号 \mathbf{p} , $I(\mathbf{p}) \subseteq U^n$; 对于任意 n 元动态谓词符号 \mathbf{p} 和可能世界 $w \in W$, $I(\mathbf{p}, w) \subseteq U^n$, 假定对于 $w, w' \in W$, $(I(\mathbf{p}, w) - I(\mathbf{p}, w')) \cup (I(\mathbf{p}, w') - I(\mathbf{p}, w))$ 是有限集合;

• 对于任意一个谓词符号 \mathbf{r} , $I(\mathbf{r}) \subseteq A \times U$, 其中 A 是所有服务常量的集合。

一个赋值 v 是一个函数, 这个函数是从变量和可能世界到 U 的映射, 或者是从服务变量到服务常量的映射。并且 v 满足以下条件:

• 如果 α 是一个程序类型的动作, 那么对于任意的 $w, w' \in W$, $(w, w') \in R_\alpha$, 蕴含对于任意变量 x , 有

$$v(x, w') = f(v(x, w), \alpha)$$

式中, f 是 w 和 α 的函数;

• 如果 α 是一个服务类型的动作, 那么对于任意的 $w, w' \in W$, $(w, w') \in R_\alpha$, 蕴含对于任意变量 x , $v(x, w') = v(x, w)$ 。

项 t 的解释 $t^{I, v, w}$ 为

$$t^{I, v, w} = \begin{cases} I(c), & \text{如果 } t = c \\ v(x, w), & \text{如果 } t = x \end{cases}$$

ϕ 的可满足关系定义为: $M, v, w \models \phi$ 当且仅当

$$\begin{cases} (t_1^{I, v, w}, \dots, t_n^{I, v, w}) \in I(\mathbf{p}), & \text{如果 } \phi = \mathbf{p}(t_1, \dots, t_n) \\ M, v, w \not\models \phi_1, & \text{如果 } \phi = \neg\phi_1 \\ M, v, w \models \phi_1 \Rightarrow M, v, w \models \phi_2, & \text{如果 } \phi = \phi_1 \rightarrow \phi_2 \\ Aa \in U(M, v(x/a), w \models \phi_1(x)), & \text{如果 } \phi = \forall x\phi_1(x) \end{cases}$$

式中, A 表示“对所有”。对于任意变量 y 和 $w \in W$, 有

$$v(x/a)(y, w) = \begin{cases} a, & \text{如果 } y = x \\ v(x/w), & \text{其他} \end{cases}$$

动态项 β 的解释 $\beta^{I, v}$ 为

$$\beta^{I, v} = \begin{cases} \alpha, & \text{如果 } \beta = \alpha \\ v(\xi), & \text{如果 } \beta = \xi \end{cases}$$

式中, ξ 是一个服务常量。假设对于任意的变量 ξ , $v(\xi)$ 是某个服务常量。因此, 对于任意的 $w, w' \in W$, 如果 $(w, w') \in R_{v(\xi)}$, 那么 $(w, w') \in R_{\alpha(c/c^{I, v, w}, v)}$, 其中 $\alpha(c/c^{I, v, w}, v) = \xi(x/v(w, x))$ 。也就是说, 在 w 中 ξ 在 I 和 v 下的解释就是 w 中 α 在 I 和 v 下的解释。

θ 的可满足关系定义为 $M, v, w \models \theta$ 当且仅当

$$\begin{cases} (\beta^{I, v}, t^{I, v, w}) \in I(\mathbf{r}), & \text{如果 } \theta = \mathbf{r}(\beta, t) \\ M, v, w \not\models \theta_1, & \text{如果 } \theta = \neg\theta_1 \\ M, v, w \models \theta_1 \Rightarrow M, v, w \models \theta_2, & \text{如果 } \theta = \theta_1 \rightarrow \theta_2 \end{cases}$$

$\phi_1 [\beta] \phi_2$ 的可满足性定义为 $M, v, w \models \phi_1 [\beta] \phi_2$ 当且仅当 $M, v, w \models \phi_1 \Rightarrow A w' ((w, w') \in R_{\beta^{I, v}} \Rightarrow M, v, w' \models \phi_2)$

5 举例说明

例子中包含的静态谓词符号有 $\mathbf{B}, \mathbf{P}, \mathbf{C}, \mathbf{N}, \mathbf{r}, \mathbf{n}$, 动态谓词符号有 \mathbf{I}, \mathbf{i} 。

c 是一个常量符号, 表示购物车。

α 是一个购书服务, 该服务购买的是 Dostoyevsky 写的 Crime and Punishment 这本书。 w, w' 是两个可能世界, $(w, w') \in R_\alpha$ 当且仅当

$$(i) w \models \mathbf{B}(b) \wedge \mathbf{P}(d) \wedge \mathbf{r}(b, d) \wedge \mathbf{C}(c) \wedge \neg \mathbf{i}(c, b)$$

$$(ii) w' \models \mathbf{B}(b) \wedge \mathbf{P}(d) \wedge \mathbf{r}(b, d) \wedge \mathbf{C}(c) \wedge \mathbf{i}(c, b)。$$

因为 $\mathbf{B}(b) \wedge \mathbf{P}(d) \wedge \mathbf{r}(b, d) \wedge \mathbf{C}(c)$ 是静态的, 有 $w \models \mathbf{B}(b) \wedge \mathbf{P}(d) \wedge \mathbf{r}(b, d) \wedge \mathbf{C}(c)$

当且仅当对于任意 $w' \in W$, 有
 $w' \models \mathbf{B}(b) \wedge \mathbf{P}(d) \wedge \mathbf{r}(b, d) \wedge \mathbf{C}(c)$

因此, 对于任意 $w \in W$,

$M, v, w \models \neg i(c, b) [a] i(c, b)$

当且仅当 $M, v, w \models \neg i(c, b)$ 蕴含对于任意的 $w', (w, w') \in R_a, M, v, w' \models i(c, b)$ 。

结束语 本文给出了一个描述 Web 服务的一阶动态逻辑。它与传统的一阶动态逻辑不同, 后者只是用来形式化程序的动态行为。 PDL_{ws} 的逻辑语言、语法和语义也不同于传统的一阶动态逻辑, 因为 PDL_{ws} 中的动作包括程序和其他的非程序类型的服务, 例如购书服务; 并且, PDL_{ws} 包括服务常量和变量, 服务变量是用 WSMO 中的本体来描述的。

下一步的工作包含对 PDL_{ws} 的逻辑分析: 它的公理表达式、完备性和可靠性; 描述 Web 服务的动态描述逻辑, 通过逻辑地分析这些形式化, 设计一个描述 Web 服务的、通用的一阶动态逻辑, 并且使其与现有 Web 服务的形式化兼容。在描述 Web 服务的动态描述逻辑中, 服务变量可以用服务概念表示, 这个与对象概念相同。

参考文献

[1] de Bruijn J, Lausen H, Polleres A, et al. The Web Service Modeling Language (WSML): an overview[C]//Sure Y, Domingue J,

eds. ESWC 2006, LNCS 4011. 2006:590-604

[2] Eiter T, Lukasiewicz T, Schindlauer R, et al. Combining answer set programming with description logics for the semantic Web [C]//Proc. of the International Conference of Knowledge Representation and Reasoning (KR04). 2004

[3] Harel D, Kozen D, Tiuryn J. Dynamic Logic [M]. The MIT Press, 2000

[4] Horrocks I, Patel-Schneider P F, Boley H, et al. SWRL: a Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML[EB/OL]. W3C Member Submission, <http://www.w3.org/Submission/2004/SUBM-SWRL-20040521/>, 21 May 2004

[5] Klusch M, Fries B, Sycara K. OWLS-MX: a hybrid semantic Web service matchmaker for OWL-S services, Web Semantics: Science, Services and Agents on the WorldWideWeb 7[S]. 2009: 121-133

[6] Martin D, Burstein M, Hobbs J, et al. OWL-S: Semantic markup for Web services[EB/OL]. Member Submission 22, W3C, <http://www.w3.org/Submission/2004/SUBM-OWL-S-20041122/>, November 2004

[7] OWL-S. Semantic markup for Web services [EB/OL]. W3C member submission, <http://www.w3.org/Submission/2004/SUBM-OWL-S-20041122/>, 2004-11-22

[8] Roman D, Keller U, Lausen H, et al. Web service modeling ontology[J]. Applied Ontology, 2005, 1(1): 77-106

(上接第 99 页)

SEIR 模型模拟的传播过程与实际情况差距较大, 而 SEInR 传播模型能够较为准确地模拟 P2P 特定信息的传播过程, 能够应用于 P2P 特定信息的传播规律分析。

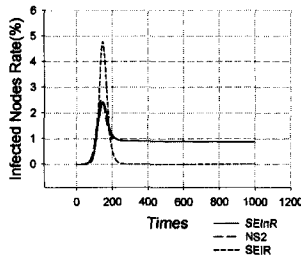


图 6 SEInR 模型效果验证

结束语 P2P 特定信息的大范围传播过程与传染病传播过程具有极大的相似性, 传播动力学是 P2P 特定信息传播的最新研究方向。本文针对 P2P 特定信息的传播特点, 对现有 SEIR 模型进行改进, 提出了 SEInR 模型。该模型的改进内容包括: 将传统的感染者 (I) 分为 n 个子类, 每个子类赋予不同的模型参数; 建立潜伏者 (E) 与移除者 (R) 之间的转换关系; 考虑复杂网络的不同度值对传播模型的影响等。应用现代数学中的矩阵理论, 对模型性能的关键参数——基本再生数 R_0 进行了推导。最后, 使用数据仿真的方法对模型的传播过程进行了分析, 仿真结果表明: 所提出的 SEInR 模型比传统 SEIR 模型能更准确地模拟 P2P 特定信息传播过程, 得到的基本再生数计算公式能准确地反映 P2P 特定信息的传播阈值。

参考文献

[1] Kermack W, McKendrick A. Contributions to the mathematical theory of epidemic[J]. Proc. Roy. Soc., 1927, A115: 700-721

[2] Kermack W, McKendrick A. Contributions to the mathematical theory of epidemic[J]. Proc. Roy. Soc., 1932, A138: 55-83

[3] 马知恩, 周义仓, 王稳地, 等. 传染病动力学的数学建模与研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2004

[4] 张达敏, 蔡绍洪, 周海平, 等. 复杂网络上的一种综合型 SIRS 模型[J]. 兰州大学学报, 2009, 45(3): 122-126

[5] 刘浩. P2P 网络的若干关键问题研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010

[6] 谭永基, 蔡志杰, 俞文. 数学模型 [M]. 上海: 复旦大学出版社, 2005

[7] 王方伟, 张运凯, 王长广, 等. Witty 蠕虫的传播模型与分析[J]. 华中科技大学学报, 2008, 36(2): 50-54

[8] Aron J, Schwartz I. Seasonality and period-doubling bifurcations in an epidemic model[J]. Theory Bio., 1984, 110: 665-679

[9] Earn D, Rohani P, Bolker B, et al. A simple model for complex dynamical transitions in epidemics[J]. Science, 2000, 287: 667-670

[10] Michael L, Wang L. Global stability in some SEIR epidemic models[J]. IMA Volumes in Mathematics and its Applications, 2001, 126: 295-311

[11] Pastor-Satorras R, Vespignani A. Epidemic Spreading in Scale-Free Networks[J]. Physical Review Letters, 2001, 86: 3200-3203

[12] 俞嘉地. BitTorrent 对等网文件共享系统关键技术研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007