

空间信息服务链模型的有向图表示及其验证

陈 科¹ 谢明霞^{1,2} 成 毅¹

(信息工程大学地理空间信息学院 郑州 450052)¹ (75719 部队 武汉 430074)²

摘 要 由于目前通用的 Web 服务组合语言不适合地理信息处理业务流程的直观表达,且学习成本高,不适合空间信息领域的用户使用,因此建立了一种基于有向图的空间信息服务链模型,并从模型组成元素、约束条件和控制模式 3 个方面对其进行了详细定义和设计。针对构建的服务链模型,从模型语法正确性、结构正确性和语义正确性 3 个方面进行研究,通过对空间信息服务链模型结构的分析,结合现有的图规约规则,研究并设计了空间信息服务链模型的语法、结构和语义验证方法,并给出了模型验证方法的具体算法和实现流程。通过具体的案例分析,说明了所提出的算法和设计的实施流程的有效性和可操作性。

关键词 服务链,模型,有向图,图规约

中图法分类号 P208 **文献标识码** A

Geo-serviceChain Model Expression by Directed Graph and Verification

CHEN Ke¹ XIE Ming-xia^{1,2} CHENG Yi¹

(Geospatial Information Institute, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China)¹

(75719 Troup, Wuhan 430074, China)²

Abstract Because the generic language of Web service composition is unsuitable for the visual expression of geographic information processing and the geo-spatial domain user, the Geo-serviceChain model was established by directed graph and it was defined and designed detailed from the model elements, constraints and control mode. We researched the Geo-serviceChain model from three aspects of grammatical correctness, structural correctness and semantic correctness and designed the algorithm and implementation flow combined with the graph reduction rules through analyzing the structure of Geo-serviceChain model. It approves the effectiveness and feasibility of the proposed algorithm and implementation flow through the practical case analyzing.

Keywords Service chain, Model, Directed graph, Graph reduction

1 引言

随着空间信息服务技术的不断发展和成熟,将会有越来越多的空间信息服务被发布到网络上供各种用户进行调用,这极大地促进了空间信息的共享和互操作。但是,单个的空间信息服务由于粒度较小,功能相对单一,一般只能完成简单的任务,现实中的应用往往比较复杂,需要将多个提供不同功能的服务协同组合起来。如何将这些分布在网络上的由不同提供商所提供的空间信息服务有效、方便地组合起来就成为我们必须解决的问题。空间信息服务链的概念和理论正是在这种背景下提出的,它以用户需求为焦点,将现有的空间信息服务有机组织聚集起来,通过小粒度服务相互之间的通信和协作来实现大粒度服务,提供个性化服务和按需服务。

服务链模型是服务链定义、执行的基础。ISO19119 中提出了服务链的概念和 3 种设计模式,并给出了以有向图方式展现、构建服务链的提议,但是对于服务链模型如何定义及服

务链如何可视化构建并未给出具体、成形的方案。通用 IT 领域的组合模型语言的研究和应用已经比较成熟,出现了许多相应的模型描述语言,如 BPEL4WS(Business Process Execute Language for Web Services, BPEL4WS)和 WSFL(Web Services Flow Language, WSFL)等,它们具有比较完备的流程控制结构和事务机制,兼容了诸多其它 Web 服务规范(如 WSDL, SOAP 等),并获得了大量商业软件的支持。这些模型语言为地理信息服务链模型的定义提供了很好的借鉴,但对于地理信息服务链模型的建立还存在一些问题^[1]。

(1)不适合地理信息处理业务流程的直观表达。地理信息处理流程是对地理数据处理、信息获取方法和步骤的形式化描述,其关注的重点是数据及其状态变化,具有以数据为中心的特点。因此,在描述控制流的同时,也需要直观地表达数据及数据流向。而现有模型,特别是工业界规范,大多以控制流为主导表达处理流程,不关注数据流或无法对其进行显式表达,不能体现地理信息处理以数据为中心,关注数据流的特

到稿日期:2011-12-05 返修日期:2012-03-16 本文受国家自然科学基金(41271392),数字制图与国土信息应用工程国家测绘局重点实验室开放研究基金项目(GCWD 201105)资助。

陈 科(1983—),男,博士生,主要研究方向为空间信息服务,E-mail:chenk626@yahoo.cn;谢明霞(1985—),女,硕士,助理工程师,主要研究方向为数据挖掘、空间信息服务;成 毅(1978—),男,副教授,主要研究方向为 GIS、空间信息服务。

点。

(2)学习成本高,不适合空间信息领域的用户使用。直接利用工业界规范虽然可以减少不必要的开发、维护成本,但是由于这些模型大多是面向通用 IT 领域的,模型语言复杂,不利于流程中抽象概念和知识的直观表达;在描述形式上注重底层实现细节,用户需要对相关的 XML 规范和 Web 服务规范有较为深入的了解,需对服务组合模型语言进行专门的学习。

因此,有必要建立面向空间信息领域的服务链模型。本文提出了一种基于有向图的空间信息服务链模型,并从服务链有向图语法正确性、结构正确性和语义正确性 3 个方面进行了相关研究;通过对空间信息服务链有向图结构、数据流传输规则进行分析,结合现有的图规约规则,研究并设计了空间信息服务链有向图的模型验证方法。

2 基于有向图的空间信息服务链模型

2.1 空间信息服务链模型组成元素

一个完整的基于有向图的空间信息服务链模型可以表达为式(1)所示的四元组:

$$DAG = \{S, D, C, L\} \quad (1)$$

式中, S 表示服务节点集合,由服务节点(ServiceNode)组成; D 表示数据节点集合,由数据节点(DataNode)组成; C 表示控制节点集合,由控制节点(ControlNode)组成; L 表示数据链接弧集合,由数据链接弧(DataLink)组成。服务节点、数据节点、控制节点和数据链接弧相互连接,它们描述了业务流程中所涉及的数据、处理操作、节点之间的逻辑关系及数据流向。

2.2 空间信息服务链模型约束条件

空间信息服务链模型约束条件是为了确保空间信息服务链模型的完整性而提出的。完整性是指模型各组成元素及其相互之间关系的正确性和相容性。引入约束条件的目的是为了防止出现不符合业务过程语义的数据、活动,防止错误信息的输入和输出,及其可能造成的无效操作和错误结果。空间信息服务链模型的约束条件包括以下几个方面:

$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 是有限空间信息服务集;

$D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ 是有限数据集;

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ 是有限控制节点集;

$L = \{L_1, L_2, \dots, L_n\}$ 是有限数据链接弧集;

服务链模型中有唯一的开始节点和结束节点,服务链始于开始节点,终止于结束节点;

开始节点的入度为 0,出度为 1;

结束节点的出度为 0,入度为 1;

$S \cap D \cap C = \emptyset$,即一个节点不能同时属于服务节点、数据节点和控制节点;

$S \cup D \cup C \neq \emptyset$,即服务节点集、数据节点和控制节点集不能同时为空;

$L \subseteq (S \times D) \cup (D \times S) \cup (S \times S) \cup (S \times C) \cup (C \times S) \cup (D \times C) \cup (C \times D) \cup (C \times C)$,即数据链接弧只能用于连接服务节点与数据节点,服务节点和控制节点,数据节点和控制节点,控制节点和控制节点,或者服务节点与服务节点,不能连接数据节点与数据节点;

任一节点和子链有且仅有一个出度和入度;

或分支、与分支节点的入度为 1,出度大于 1;

或合并、与合并节点的出度为 1,入度大于 1;

服务链模型中不能存在孤立节点。孤立节点为既没有输入也没有输出的节点,即节点的出入度都为 0;

服务节点必须同时具有前驱节点和后继节点,且该服务节点的每个输入参数必须与前驱服务节点的每个输出参数或前驱数据节点相匹配,该服务节点的每个输出参数必须与后继服务节点的每个输入参数或后继数据节点相匹配。

2.3 空间信息服务链控制模式

空间信息服务链的控制模式描述了服务链中各个空间信息服务之间的逻辑依赖关系,是服务链模型的基本构造单元。对于现实应用中可能出现的各种业务流程,可以通过不同的控制模式将空间信息服务进行组合,以形成不同的空间信息服务链流程。目前,对于服务链的控制模式,一般都是以工作流模式为基础进行研究和设计。关于工作流模式的研究,最具有代表性的是 Aalst 等通过对工作流程表达需求的分析而提出的基本控制流模式、高级分支和同步模式、结构化模式、多实例相关模式、基于状态的模式和取消模式 6 大类共 20 种工作流模式^[2]。这些工作流模式虽然完备、细化地定义和分辨了各种模式之间的差异,但是由于模式元素种类过多,使得模式的实现变得相当复杂。目前主流的工作流模型语言(如 WS-BPEL、WSFL 等)和产品均未对其完全显式支持^[3],这也在一定程度上说明了在实际应用中不需要完全实现这些控制模式也能够较好地表达现实应用。针对空间信息领域的应用需求,本文选择以下几种基本组合模式:顺序模式、并行模式、选择模式、循环模式和嵌套模式。

3 空间信息服务链有向图模型验证

在空间信息服务链进行具体绑定和执行前,需要对服务链模型的正确性进行验证。空间信息服务链模型的正确性主要体现在以下 3 个方面:

(1)空间信息服务链模型的语法正确性,即所建立的空间信息服务链模型符合模型的约束条件;

(2)空间信息服务链模型的结构正确性,即所建立的空间信息服务链模型是没有结构冲突的,在没有错误发生的情况下服务链是可以正常终止的;

(3)空间信息服务链模型的语义正确性,也就是说空间信息服务链在正常终止时应该达到所期望的业务目标。

3.1 空间信息服务链有向图模型的语法正确性分析

语法验证可以识别空间信息服务链模型的简单语法错误。一个语法正确的空间信息服务链模型必须满足 2.2 节所列出的约束条件。语法验证主要是对各节点的类型、出入度以及数据链接弧的连接节点类型进行判断。本章通过下述算法进行简单的空间信息服务链有向图语法检查。

Algorithm 空间信息服务链有向图语法检查; DAG :空间信息服务链模型; S :服务节点集; D :数据节点集; C :控制节点集; L :数据链接弧集。

if $S \cap D \cap C \neq \emptyset$

Message("语法错误");

return;

if $S \cup D \cup C \neq \emptyset$

```

Message("语法错误");
return;
for each node ∈ DAG
if((din(node) == 0) // (dout(node) == 0))
    Message("语法错误");
    return;
if node.type == startNode
    if((din(node) ≠ 0) // (dout(node) ≠ 1))
        Message("语法错误");
        return;
else if node.type == endNode
    if((din(node) ≠ 0) // (dout(node) ≠ 1))
        Message("语法错误");
        return;
else if node ∈ C
    if node.type == And-split
        if((din(node) ≠ 1) // (dout(node) ≤ 1))
            Message("语法错误");
            return;
    else if node.type == And-join
        if((din(node) ≤ 1) // (dout(node) ≠ 1))
            Message("语法错误");
            return;
    else if node.type == Or-split
        if((din(node) ≠ 1) // (dout(node) ≤ 1))
            Message("语法错误");
            return;
    else if node.type == Or-join
        if((din(node) ≤ 1) // (dout(node) ≠ 1))
            Message("语法错误");
            return;
for each link ∈ L
    if((node1(link) ∈ D) & & ((node2(link) ∈ D))
        Message("语法错误");
        return;

```

3.2 空间信息服务链有向图模型结构正确性分析

在对空间信息服务链模型进行语法正确性验证后(即保证了模型中节点类型、出入度、数据链接弧的连接关系的正确性以及图中不存在孤立节点),利用空间信息服务链的控制流图(控制流图中仅含有服务节点和控制节点,而不显式表达数据节点)对服务链模型的结构正确性进行分析。

3.2.1 结构冲突

结构冲突主要可分为两类:死锁和同步丢失。

1) 死锁

空间信息服务链模型的某个实例中,某一个或者多个节点不存在到达结束节点的执行路径,这样引发的结构冲突称为死锁。引起死锁的原因主要包括(见图1):

(1)死路^[4]。即空间信息服务链模型中存在某个节点,该节点不是终止节点,但其没有输出,也就是说模型中缺少将该节点连接到结束节点的路径或者该节点本身是多余的。

(2)不可达目标^[4]。即空间信息服务链模型中存在某个节点,该节点不是起始节点,但其没有输入,也就是说有向图模型中缺少连接到该节点的路径或者该节点本身是多余的。

(3)空间信息服务链模型中存在或分支与与合并对应的

情况,从而导致了与合并节点的输入弧至少有一条不能触发,服务链无法正常结束。

(4)空间信息服务链模型中存在循环出口始终无法成立的情况,从而导致了服务链或者服务链中局部过程无限循环,服务链无法正常结束。

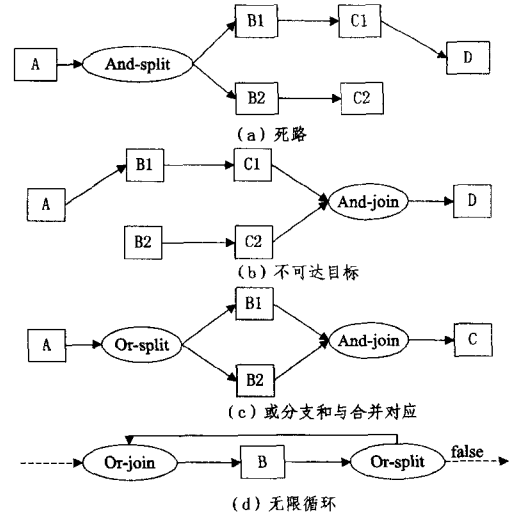


图1 死锁

2) 同步丢失

空间信息服务链模型的某个实例中,两个并行执行的分支本应该在某个节点同步后再执行后续操作,但是由于错误表示使得这两个分支失去同步。引起同步丢失的原因在于由与分支节点触发的并行输出分支,本该在与合并节点处同步后再继续执行,但由于错误地使用了或合并节点,使得这两个并行分支在或合并节点处失去了同步,导致后继节点多次被执行。同步丢失如图2所示。

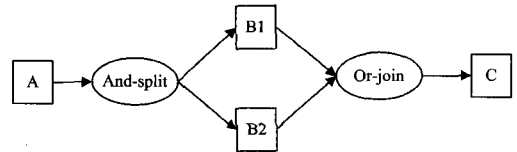


图2 同步丢失

3.2.2 结构冲突判断

对于死锁结构中的死路和不可达,通过分析空间信息服务链模型对应的关联矩阵^[5]进行判断。关联矩阵中全为0的行对应的节点为没有输出条件的节点,该结构为死锁结构中的死路情况;全为0的列对应的节点为没有输入条件的节点,即不可达目标;行列全为0的节点为孤立节点。假设 $DAG = \langle V, L \rangle$, 其中, $D, S, C \in V = \{v_1, v_2, \dots, v_p\}$, $L = \{l_1, l_2, \dots, l_q\}$, $p \times q$ 阶矩阵 $M(DAG) = (m_{ij})$, 其中,

$$m_{ij} = \begin{cases} 1, & v_i \text{ 为 } l_j \text{ 的始点} \\ 0, & v_i \text{ 与 } l_j \text{ 不关联} \\ -1, & v_i \text{ 为 } l_j \text{ 的终点} \end{cases} \quad (2)$$

称 $M(DAG)$ 为空间信息服务链模型的关联矩阵。对于死锁结构中的其他情况以及同步丢失结构,利用 Sadiq 等人^[6]针对有向无环图提出的规约规则进行判断。对空间信息服务链有向图反复使用规约规则,删除所有已被确认为正确的结构,保留冲突结构。若能将一个空间信息服务链模型规约简化为仅由一个起始节点、一个服务节点和一个结束节点

组成的有向图,则认为此空间信息服务链模型中无结构冲突;反之,则存在结构冲突。一个正确的空间信息服务链模型不可能通过消除结构冲突而得以保证,然而没有结构冲突的模型可以保证服务链控制模式遵守某些正确性准则^[7-9]。空间信息服务链模型的结构验证实质上是对服务链控制流图规约和化简的过程,其流程如图3所示。其中,Size(G)为空间信息服务链模型中节点和连接弧的总个数;lastSize为临时变量,初始设置为Size(G)+1,用来判断图规约后节点和弧的个数是否有变化,若无变化,则空间信息服务链模型规约结束。

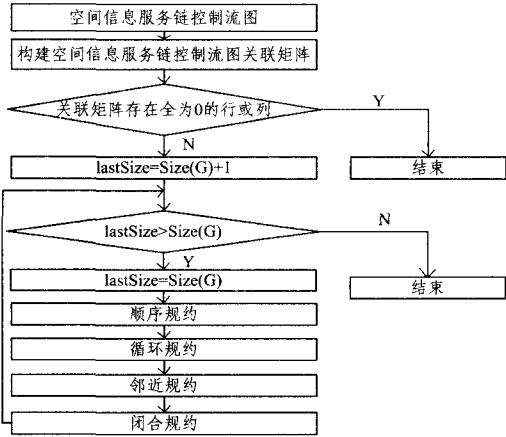


图3 空间信息服务链有向图模型结构验证

3.3 空间信息服务链有向图模型的语义正确性分析

空间信息服务链模型的语义正确性通过对数据依赖检查进行判断,本章利用空间信息服务链的数据流进行语义正确性分析。参考文献[10]中提出的基于图搜索的Web服务组合方法,定义空间信息服务链数据流执行正确的判断规则如下。

定义1 若空间信息服务链数据流满足以下条件:

- ① $r_{in} \supseteq s_{in}^1$;
- ② $r_{in} \cup s_{out}^1 \cup \dots \cup s_{out}^{i-1} \supseteq s_{in}^i (1 \leq i \leq n-1)$;
- ③ $r_{in} \cup s_{out}^1 \cup \dots \cup s_{out}^n \supseteq r_{out}$ 。

则判断相应的空间信息服务链语义正确。其中, r_{in} 为服务请求的输入参数, r_{out} 为服务请求的输出参数, s_{in}^i 为服务链第*i*层服务的输入参数, s_{out}^i 为服务链第*i*层服务的输出参数。

首先对空间信息服务链控制流图中各服务节点进行分层,即设置控制流图中各连接边的权值为1,计算开始节点到空间信息服务链控制流图中各服务节点的路径权值和,根据权值和设置服务节点的层数。然后获取各层服务节点的输入、输出参数。最后根据服务请求的输入、输出参数和空间信息服务链控制流图各层服务节点的输入、输出参数以及相应的本体库判断其包含关系是否满足定义1中的条件,若满足,则判断空间信息服务链有向图语义正确;反之,则判断有向图语义正确性验证不通过。

4 案例分析

通过空间信息服务组合操作能够把各种功能比较单一的空间信息服务组合起来,形成复杂的空间信息服务链,从而满足单一的空间信息服务所不能完成的复杂的实际应用需求。空间数据经过提取、合并、删除、拓扑重建和重组等一系列的

过程,必定会影响空间数据的质量。空间数据质量检查是指采用专业数学模型,根据相应的判断规则对某区域范围内的空间数据的定位精度、拓扑关系、逻辑一致性、要素完整性和地名指针正确性等进行检查,并输出存在的错误信息。本文主要从空间数据的矢量精度和属性精度两方面考虑空间数据质量检查服务链的构建和实施,其主要思想是首先由专业人员利用实验系统构建空间数据质量检查服务链元模型,然后对元模型进行语法、结构和语义验证,验证无误后,对空间数据质量检查服务链中各服务节点进行匹配和绑定,最后执行绑定后的服务链,获取对输入的空间数据的质量检查结果。选择制图生产完成的某地区某格式的地图数据,文中假定空间数据质量检查的具体流程如下:

Step 1 读取待检查的地图数据;

Step 2 检查地图元数据,根据地图矢量数据检查元数据中图幅号、图幅范围和单位等的正确性,若存在错误,则输出相关错误信息,执行Step 6;反之,执行Step 3;

Step 3 对地图要素编码的合理性和完整性进行检查,若存在错误,则输出相关的错误信息,执行Step 6;反之,执行Step 4;

Step 4 对地图数据进行地名指针和拓扑关系检查;

Step 5 对地图数据进行接边检查;

Step 6 输出错误文档信息。

以上设计的空间数据质量检查流程涉及地图数据读取服务、地图元数据检查、地图数据图层检查服务、地名指针检查服务、拓扑关系检查服务和地图数据接边检查服务。满足地图数据质量检查需求的服务链如图4所示。

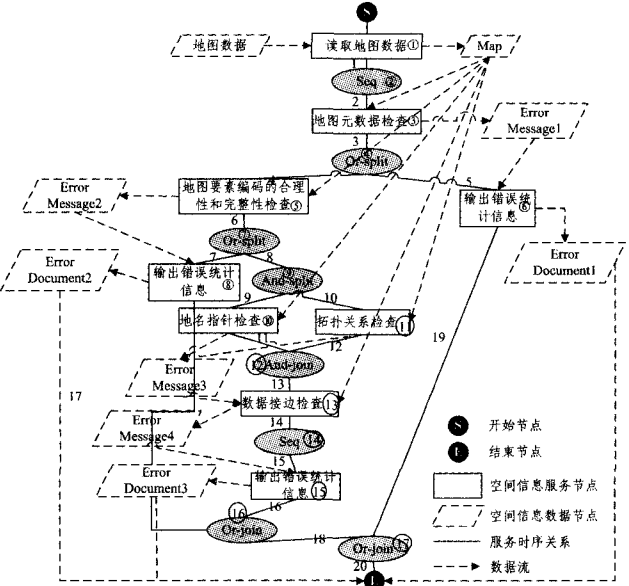


图4 地图数据质量检查服务链

首先根据空间信息服务链模型约束条件对其进行语法验证,其中,

$S = \{ \text{地图数据读取, 地图元数据检查, 地图要素编码的合理性和完整性检查, 地名指针检查, 拓扑关系检查, 数据接边检查, 输出错误统计信息} \}$

$D = \{ \text{地图数据, Map, ErrorMessage1, ErrorMessage2, ErrorMessage3, ErrorMessage4, ErrorDocument1, ErrorDocument2, ErrorDocument3} \}$

$C=\{Seq, Or-Split, Or-Join, And-Split, And-Join\}$

$L=\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20\}$

通过对约束条件的逐一判断验证地图数据质量检查服务链无语法错误。验证无误后,构建地图数据质量检查服务链控制流图的关联矩阵如表 1 所列。从表中可以看出,关联矩阵中不存在行或列全为 0 的情况,即设计的地图数据质量检查服务链没有死路、不可达目标以及孤立节点的问题。然后利用空间信息服务链模型规约规则对地图数据质量检查服务链控制流图进行结构规约,如图 5 所示。由图可知,地图数据质量检查服务链最终规约化简为仅由一个起始节点、一个服务节点和一个结束节点组成的有向图,则可判断此空间信息服务链模型中无结构冲突。最后根据本文提出的空间信息服务链语义正确性分析方法对地图数据质量检查服务链的数据流进行验证。其中,控制流图中服务节点分层情况如图 6 所示,从图中标识情况分析可得:

r_m : 地图数据 $\supseteq s_m^1$: 地图数据

$(r_m \cup s_{out}^1)$: 地图数据, $Map \supseteq s_m^2$: Map

$(r_m \cup s_{out}^1 \cup s_{out}^2)$: 地图数据, $Map, ErrorMessage \supseteq s_m^3$: $Map, ErrorMessage$

$(r_m \cup s_{out}^1 \cup s_{out}^2 \cup s_{out}^3)$: 地图数据, $Map, ErrorMessage, ErrorDocument \supseteq s_m^4$: $ErrorMessage$

$(r_m \cup s_{out}^1 \cup s_{out}^2 \cup s_{out}^3 \cup s_{out}^4)$: 地图数据, $Map, ErrorMessage, ErrorDocument \supseteq s_m^5$: Map

$(r_m \cup s_{out}^1 \cup s_{out}^2 \cup s_{out}^3 \cup s_{out}^4 \cup s_{out}^5)$: 地图数据, $Map, ErrorMessage, ErrorDocument \supseteq s_m^6$: Map

$(r_m \cup s_{out}^1 \cup s_{out}^2 \cup s_{out}^3 \cup s_{out}^4 \cup s_{out}^5 \cup s_{out}^6)$: 地图数据, $Map, ErrorMessage, ErrorDocument \supseteq s_m^7$: $ErrorMessage$

$(r_m \cup s_{out}^1 \cup s_{out}^2 \cup s_{out}^3 \cup s_{out}^4 \cup s_{out}^5 \cup s_{out}^6 \cup s_{out}^7)$: 地图数据, $Map, ErrorMessage, ErrorDocument \supseteq r_{out}$: $ErrorDocument$

表 1 地图数据质量检查服务链关联矩阵

Node	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Link																	
1	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
17	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
19	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

根据以上分析可判断本文设计的地图数据质量检查服务

链在正常终止时可以达到所期望的业务目标,即服务链本身无语义错误。

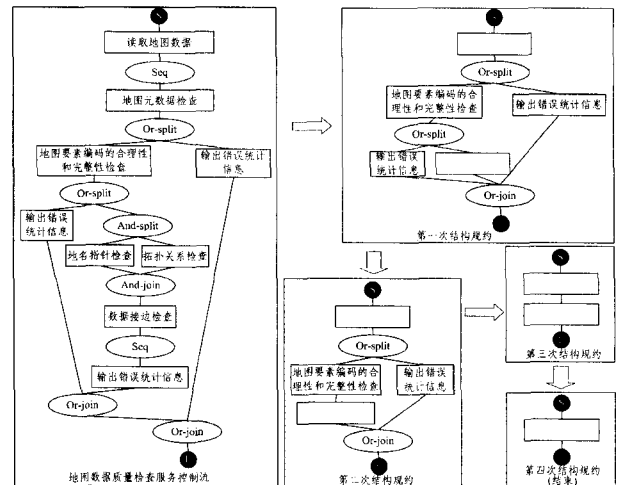


图 5 地图数据质量检查服务链控制流图结构规约

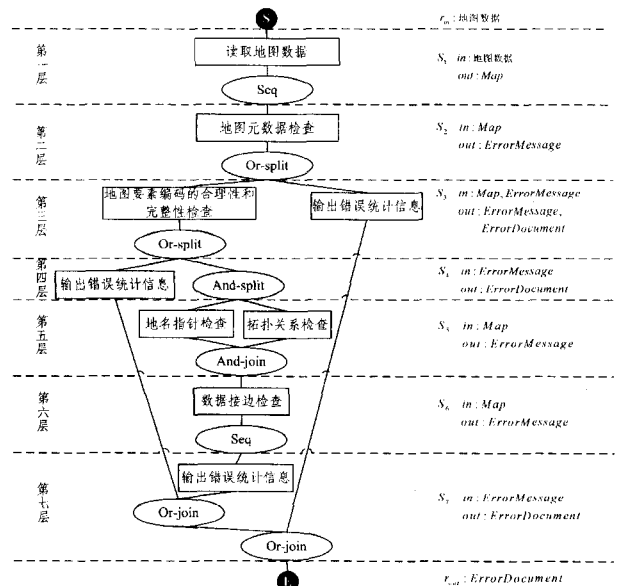


图 6 地图数据质量检查服务链控制流服务节点分层

结束语 空间信息服务链模型是对现实世界中空间信息服务处理流程的抽象表示,是空间信息服务组合的基础。如何定义一种简单、直观、尽可能地屏蔽面向 IT 的底层实现细节,满足空间信息领域用户需求的空间信息服务链模型是空间信息服务组合必须要解决的一个关键问题。本文的贡献主要在于:

(1) 针对目前通用 Web 服务组合语言不适合地理信息处理业务流程的直观表达、学习成本高、不适合空间信息领域的用户使用等问题,提出了一种基于有向图的空间信息服务链模型,并从模型组成元素、约束条件和控制模式 3 个方面对其进行了详细介绍。文中提出的空间信息服务链元模型充分利用了有向图与服务链间的相似关系,以及图的理论基础和丰富的表达和运算能力。

(2) 从服务链模型语法正确性、结构正确性和语义正确性 3 个方面进行了研究,通过对空间信息服务链模型结构进行分析,结合现有的图规约规则,研究并设计了空间信息服务链

(下转第 250 页)

三 I 算法就一定会由定理 5 和定理 6 中的结论。

定理 7 若式(4)中的模糊集 A, A^* 满足条件: $\exists x_0 \in E_y$ 使得当 $A(x_0)=0$ 时 $A^*(x_0)=1$, 且蕴涵算子 R 满足 Dubios-Prade 条件中的 (I3): $0 \rightarrow b=1$, 则无论式(1)中的模糊集 A, A^*, B 是怎样的, 由 R -型 FMP 三 I 算法得到的 B^* 都恒为 $B^*(y)=1, y \in V$ 。

证明: 当 $x=x_0$ 时, $A(x_0)=0$, 由蕴涵算子 R 满足 Dubios-Prade 条件中的 (I3): $0 \rightarrow b=1$ 知:

$$R(A(x_0), B(y)) = R(0, B(y)) = 1$$

则由 $\exists x_0 \in E_y$ 和

$$B^*(y) = \sup_{x \in E_y} [A^*(x) \wedge R(A(x), B(y))], y \in V \quad (16)$$

得

$$B^*(y) \geq (A^*(x_0) \wedge R(A(x_0), B(y))) = (1 \wedge 1) = 1, y \in V$$

即 $B^*(y)=1, y \in V$ 。证毕。

注记: 容易知道, 对于大多数蕴涵算子的三 I 算法, $\exists x_0 \in E_y$ 使得当 $A(x_0)=0$ 时 $A^*(x_0)=1$ 这个条件都是满足的。

三 I 算法将式(4)的推理模型解释为式(5)的蕴涵式, 并且要求推理算法所求得的 B^* 能使式(5)对一切 $x \in U$ 和 $y \in V$ 取得最大值。但值得注意的是, 对于式(5), 若 $B^*(y)=1, y \in V$, 那么无论 $A(x), A^*(x), B(y)$ 的取值是什么, 式(5)都是成立的。因此, 这里有一个使式(5)永远有效的解 $B^*(y)=1, y \in V$ 。显然, 三 I 算法要求解的 B^* 应该是要比这个永远有效的解更小的 B^* 。但是前面的定理 5—定理 7 说明, 三 I 算法在某些情况下不能求解出需要的 B^* , 即不能有效地解决式(5), 这可称之为三 I 算法的失效性。

以上分析表明, 现在的全蕴涵三 I 算法要能够有效地推理, 必须要求式(4)中的模糊集 A, A^* 满足条件: $\forall x_0$ 当 $A(x_0)=0$ 时 $A^*(x_0) \neq 1$ 。但这个条件在模糊推理中却太过苛刻: 在单一规则的模糊推理中尚不易满足, 在多重推理中就根本无法满足了。这样的缺陷导致三 I 算法还不能应用于多重推理, 也就不能应用于模糊控制, 这就大大限制了三 I 算法的作用。如果要解决这个问题, 可以考虑修改集合 E_y 的定义, 使 E_y 的范围再缩小一点, 以将 $B^*(y)=1, y \in V$ 的情况排除掉。

结束语 CRI 算法在模糊控制方面的应用已经取得了巨

大成功, 但因为其逻辑基础不够完善, 仍然受到质疑; 全蕴涵三 I 算法虽然在一定程度上解决了模糊推理在逻辑基础方面的问题, 但现在还不能应用到实际控制中。现在, 急需一种逻辑基础完善并且能够进行控制应用的模糊推理算法, 这也是今后研究的一个方向。

参考文献

- [1] Zadeh L A. The concept of linguistic variable and its application to approximate reasoning[J]. Inform. Science, part1-3, 1975(8): 199-249, 301-357, 1975(9): 43-80
- [2] 王国俊. 模糊推理的全蕴涵三 I 算法[J]. 中国科学(E 辑), 2002, 29(2): 88-104
- [3] 王国俊. 模糊推理的一个新方法[J]. 模糊系统与数学, 1999, 13(3): 1-10
- [4] 俞峰, 杨成梧. 直觉区间值模糊推理的三 I 算法[J]. 自动化技术与应用, 2008, 27(2): 5-7
- [5] 宋士吉, 冯纯伯. 关于模糊推理的全蕴涵三 I 算法的约束度理论[J]. 自然科学进展, 2000, 10(10): 884-889
- [6] 宋士吉, 吴澄. 模糊推理的反向三 I 约束算法[J]. 自然科学进展, 2002, 12(1): 95-100
- [7] 徐宗本, 张讲社, 郑亚林. 计算智能中的仿生学: 理论与算法[M]. 北京: 科学出版社, 2003
- [8] Tang Yi-ming, Liu Xiao-ping. Differently implicational universal triple I method of (1, 2, 2) type[J]. Computers and Mathematics with Applications, 2010, 59(6): 1965-1984
- [9] Zhao Zhi-hong, Li Yong-jin. Reverse triple I method of fuzzy reasoning for the implication operator R_L [J]. Computers and Mathematics with Applications, 2007, 53(7): 1020-1028
- [10] 王作真, 张兴芳, 阚婷. 基于剩余蕴涵算子族 L_p 的三 I 支持算法[J]. 模糊系统与数学, 2009, 23(1): 19-23
- [11] 胡凯, 汪德刚, 王加银. 基于不同蕴涵算子的三 I 算法构造的模糊控制器及其响应能力[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2009, 45(4): 344-349
- [12] 江欢. 模糊推理中 CRI 算法与全蕴涵三 I 算法的等价性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009
- [13] Dubois D, Prade H. Fuzzy sets in approximate reasoning [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1991, 40(1): 143-244
- [14] 广东工业大学, 2007
- [15] Diestel R. Graph Theory[M]. Springer, 2008
- [16] Sadiq W, Orlowska M E. Analyzing process models using graph reduction techniques. Information Systems[J]. 2000, 25(2): 117-134
- [17] 周小平. workflow 模型验证与数据访问冲突分析方法研究[D]. 南京: 东南大学, 2005
- [18] 李红巨, 史美林, 陈信祥. 工作流系统中的业务过程描述及分析[J]. 计算机研究与发展, 2001, 38(7): 798-804
- [19] 邹宇, 刘毅, 陈佩文. 基于图归约法的工作流模型验证[J]. 计算机应用, 2003, 23(4): 86-88
- [20] Seog Chan Oh, Byung Won On, Larson E J, et al. BF*: Web Services Discovery and Composition as Graph Search Problem [C]// Proceedings of IEEE e-Technology, e-Commerce and e-Service (EEE). Hong Kong, 2005: 784-786
- [21] (上接第 244 页)
- [22] 模型的语法、结构和语义验证方法, 并给出了模型验证方法的具体算法和实现流程。
- [23] (3) 通过对实际应用案例的服务链元模型的验证, 充分说明了本文设计的空间信息服务链有向图表达方法以及元模型语法、结构和语义验证方法的有效性和可操作性。
- [24] 吴华意, 章汉武, 桂志鹏, 等. 地理信息服务质量的理论与方法[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2011
- [25] van der Aalst W M P, et al. Workflow Patterns[J]. Distributed and Parallel Databases, 2003, 14: 5-51
- [26] 桂志鹏. 质量驱动的空间信息服务链建模、评估和优化研究[D]. 武汉: 武汉大学博士学位论文, 2011
- [27] 陈荣辉. 基于有向超图的工作流模型验证方法研究[D]. 广州: