

基于不确定性动作模型学习理论的软件需求获取方法

高 洁^{1,2} 卓汉魁¹ 李 磊¹

(中山大学信息科学与技术学院 广州 510275)¹ (吉林大学珠海学院 珠海 519000)²

摘 要 目前,软件系统已逐渐成为日常生活中不可缺少的组成部分。利用人工智能的方法进行软件需求获取,可以在短时间内自动获取软件需求,有利于避免人为的理解偏差以及节省人力时间成本。为了解决软件需求的自动获取问题,利用智能规划与机器学习的方法,将需求领域转化为部分规划域,并建立了具有不确定性效果的动作模型学习算法 AMLCP。应用该算法,可以获得完整规划域以及需求规格说明。

关键词 智能规划,机器学习,软件需求,知识获取

中图法分类号 TP301 文献标识码 A

Action Models Learning Algorithm with Indeterminate Effects for Software Requirement Specification

GAO Jie^{1,2} ZHUO Han-kui¹ LI Lei¹

(School of Information Science and Technology, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China)¹

(Zhuhai College, Jilin University, Zhuhai 519000, China)²

Abstract Software systems are becoming an integral part of all walks of life. This aggravates the need for an artificial intelligent perspective for requirements engineering, which allows for modeling and analysing requirements formally, rapidly and automatically, avoiding mistakes made by misunderstanding between engineers and users, and saving lots of time and manpower. For exacting software requirement specification automatically, we applied intelligent planning and machine learning methods to convert software requirement into an incomplete planning domain, and proposed an algorithm AMLCP to learn action models with indeterminate effects. Furthermore, we obtained a complete planning domain by applying this algorithm and converted it into software requirement specification.

Keywords Intelligent planning, Machine learning, Software requirement, Knowledge acquisition

1 介绍

软件需求是一个抽象的概念,其具体的表现形式一般被称为需求规格说明(Software Requirement Specification)。目前许多应用软件的失败并不是由于软件技术落后或编程水平低等原因,而是由于无法快速获取且准确表达用户的需求。软件工程师一般对于应用领域的了解程度有限,因此只能局限于分析和研究现有的业务职能和流程,而容易忽视管理模式中许多不确定因素,结果导致开发出来的应用软件无法适用于实际情况,甚至会造成软件开发工作半途而废。此外,领域用户通常很难按照软件开发的要求描述需求,如果没有给予必要的提示和指导,就很难给出正确且完整的需求描述,因此如何准确快速获取软件需求就成为软件需求领域的一个研究重点。

基于本体的软件需求获取方法^[1]是当前热点研究方法之一,其特点是通过领域用户熟悉的情景实例引导他们逐步提供系统信息,但是由于情景实例的采集是随机的,因此很难保证某组情景实例能覆盖整个现实系统,同时也很难引导用户

提供全面、深入的需求信息,所以该方法具有一定的局限性。本文研究了如何使用人工智能方法来自动获取需求规格说明。无论使用何种形式化语言描述需求,都要求需求分析人员能够全面、完整地描述需求,但这在实践中是很难做到,因此如果能够自动获取软件需求,将具有重要的实际意义。

目前,卓汉魁等^[2]已经提出了动作模型学习算法 LAMPS 及其在软件需求领域的应用,但是学习算法 LAMPS 仅适用于动作具有确定效果的前提下,而在实际问题中,动作的效果往往可能会有多个,具有不确定性。例如在 slippery-gripper 域中,无论镊子(gripper)是干的还是湿的,都存在两种可能的效果,即拿起木块(holding-block)或是拿不起木块(not holding-block),因此动作 pickup 模型的描述如表 1 所列。在这个动作模型中,当镊子(gripper)是干的时候,拿起木块(holding block)的概率是 0.95,拿不起木块的概率是 0.05;当镊子(gripper)是湿的时候,拿起木块(holding block)的概率是 0.5,拿不起木块的概率是 0.5。在传统的规划研究中,一般假设具有条件和概率效果的动作模型可以通过人工的方式获得,但是在实践中即使对于领域专家而言,要获得这样的

到稿日期:2011-10-10 返修日期:2012-02-17 本文受国家自然科学基金(61033010),国家教育部博士点基金(20100480806),澳门科学技术发展基金(013/2010/A)资助。

高 洁(1978—),女,博士生,讲师,主要研究方向为人工智能、软件工程、应用数学,E-mail:jietao26@163.com;卓汉魁(1982—),男,博士后,讲师,主要研究方向为人工智能、机器学习;李 磊(1951—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为软件工程、逻辑。

动作模型都是相当困难的。因此,给出了不确定性动作模型学习算法 AMLCP,即动作效果具有不确定性的动作模型学习算法,并将其实际应用于软件需求获取。

表 1 具有不确定效果的动作模型示例

<pre> action pickup :parameters(? b ? g) :preconditions((block ? b)(gripper ? g)) :effects(((0.95(gripper-dry ? g)(and(holding-block ? b))), (0.05(gripper-dry ? g)(and(not(holding-block ? b)))))) ((0.5(not(gripper-dry ? g))(and(holding-block ? b))), (0.5(not(gripper-dry ? g))(and(not(holding-block ? b))))))) </pre>
--

算法 AMLCP 的主要步骤包括:(1)将每一个规划迹编码为命题公式;(2)根据规划领域中的谓词以及动作的正确性约束,对每个动作手动地建立一组候选公式;(3)利用马尔科夫逻辑网络,学习每个候选公式的权重;(4)选择权重大于某个阈值的一些候选公式,并将其转化为带有条件与概率效果的动作模型。为了体现该算法的有效性,采用了两个规划领域来测试该算法。从实验结果可以发现,通过算法 AMLCP 学习得到的动作模型与理想的动作模型较为接近,领域专家只需花较少的代价调整即可学习得到的动作模型。表 1 给出了具有不确定效果的动作模型示例。

本文第 2 节介绍了相关工作,包括智能规划、动作模型学习及软件需求;第 3 节给出算法 AMLCP 的详细步骤;第 4 节将算法 AMLCP 应用于软件需求获取;最后对本文进行总结并给出将来的研究方向。

2 相关工作

下面介绍本文的相关工作,包括智能规划、动作模型学习和软件需求 3 部分。

2.1 智能规划

智能规划是一种问题求解技术,即从某个特定问题的初始状态出发,构造一系列动作以达到该问题的目标状态。1971 年,Fikes 和 Nils 设计的 STRIPS 系统^[3]引入了 STRIPS 操作符的概念,它在智能规划研究中具有重要的意义。1991 年,Soderland 和 Weld 等人设计了世界上第一个非线性规划系统 SNLP^[4],奠定了非线性规划系统的基础。1996 年 Kautz 等人把求解规划问题转化为可满足(SAT)问题^[5],利用在约束可满足问题算法上的突破,有效地解决了部分规划问题,并开辟了解决规划问题的新途径。1995 年,Avrim 和 Merrick 等人设计的图规划系统 Graphplan^[6]第一次采用图的方式来解决规划问题,并且提出了用于规划的规划图概念。1998 年,Malik 等人提出了规划领域定义语言(Plan Domain Definition Language,PDDL)^[7],随后 PDDL 逐渐成为规划领域模型表示和交流的通用标准,并最终成为国际智能规划比赛的标准语言。

近 10 年来,研究人员陆续提出了一些解决不确定性的规划算法,包括需要考虑到初始状态和动作效果不确定性的一致性规划问题^[8];需要在规划执行过程中感知动作的感知规划问题^[9];在生成规划迹时需要考虑时态约束和资源约束的时态规划问题^[10]和资源规划问题^[11];以及通过使用概率来刻画动作效果不确定性的概率规划问题^[12]。近年来,不

确定规划问题已成为人工智能规划领域的主要研究内容之一。人工智能杂志(Artificial Intelligence)在 2003 年组织了一期专刊来介绍和推广不确定规划问题。概率规划问题作为不确定规划问题的一个方向,也得到了研究者的广泛关注。在 2004 年举办的第四届国际智能规划竞赛中,智能规划研究人员举办了第一届概率规划组的比赛,Younes 和 Littman 提出了 PPDDL1.0^[13]用于处理动作带有不确定效果的概率规划问题并在概率规划组的比赛中使用。国内谷云祥教授的研究组对非经典规划算法也做出了深入的研究,其中周俊萍等人^[14]给出了一种在部分可观察强规划中约减观察变量的方法;闫书亚等人^[15]总结了国内外解决概率规划问题的常用方法,并指出目前概率规划能处理的问题主要集中在完全可观察环境下的问题,然而对于部分可观察环境下的问题研究很有限。

2.2 动作模型学习

对于目前所提出的一系列动作模型学习算法,按照中间状态信息是否要求完整进行划分,可以将算法分成两类:一类算法是从具有完整中间状态信息的规划迹中学习动作模型^[16-23],即要预先获得每个动作发生的前后状态信息,然后才能用统计或推理方法来学习动作模型的前提和效果。Yolanda 等人^[16]建立了 EXPO 系统,即从一个类似于 STRIPS 的领域描述开始,根据经验来补充完整领域描述。Tim 等人^[17]采用一般的分类系统学习动作的前提条件和效果。Matthew 等人^[18]在相关领域中采用近似计算来学习动作模型。Wang 等人^[19]给出了一种边做边学的自动学习动作模型的方法,即利用领域专家解决问题过程中所提供的信息来逐步学习动作模型。Hanna 等人^[20,21]展示了如何学习不带条件效果的概率动作模型。Michael 等人^[22]采用根据经验获得的人工合成项进行建模的方法构造动作模型。Thomas 等人^[23]提出了一种高效算法来学习描述网络服务的动作模型。另一类算法是基于不完整中间状态信息的动作模型学习^[24-30],即在动作发生的前后状态信息不完整甚至为空集的情况下,学习动作模型的前提和效果。Yang 等人^[24]利用 SAT 问题的求解器,建立了动作模型学习系统——ARMS 系统,以处理中间状态信息不完整的情形,并获得 STRIPS 动作模型。Eyal 等人提出的算法 SLAF^[25-28]可用于从大量不完整的中间状态信息中学习完整的动作模型,采用了说明空间和逻辑过滤两种技术,进而获得所有与“观察”一致的动作模型。为提高 SLAF 的运行效率,Dafna 等人^[26]进一步建立了一种学习确定性动作的前提条件和效果的高效学习方法。赖志锋等人^[29]在遗传算法的框架下,从中间状态信息不完整的规划迹中学习动作模型,建立了 AMLS 系统,解决了动作前提与效果列表为空的情形。为了学习表达能力更强的动作模型,Zhuo 等人^[30]建立了新的学习算法 LAMPS,该算法利用马尔科夫逻辑网络,最终可以获得带有量词和逻辑蕴涵的动作模型。本文在算法 LAMPS^[30]的基础上,建立了 AMLCP 算法。该算法着重于学习具有不确定性效果的动作模型,并将此算法应用于自动获取软件需求。

2.3 软件需求

软件需求的研究领域分为两大部分:需求开发和需求管

理。需求开发分为4个阶段:(1)需求获取(Requirement elicitation);(2)需求定义(Requirement Determination);(3)需求规格说明(Software Requirement Specification);(4)需求验证(Requirement Validation)。需求获取指通过与用户交流,对现有系统的观察及对任务进行分析,从而开发、捕获和修订用户的要求。需求定义指从用户最初的非形式化需求,到满足用户要求的软件产品的映射过程。它实际上是一个对用户意图不断进行揭示和判断的过程,其目的在于细化、精化软件的作用范围,确定拟开发软件的功能和性能、约束以及环境等。需求工程的结果是软件需求规格说明,作为开发者和用户之间的一个协约,软件需求规格说明是外部行为和系统环境接口的简洁、完整的描述性文档。软件需求规格说明的基本内容包括行为需求和非行为需求。行为需求定义系统需要“做什么”,描述系统输入、输出的映射及其关联信息,刻画系统功能、非行为需求定义系统的属性,描述与行为无关的目标系统特性,如性能、可靠性、安全性、易维护性、可用性、顺应性等。需求规格说明的基本描述方法包括形式化、非形式化和半形式化3种类型。需求验证指以需求规格说明为输入,通过符号执行、模拟或快速原型等途径,分析需求规格的正确性和可行性。

3 具有不确定性效果的动作模型学习算法 AMLCP

3.1 具有不确定性效果的动作模型学习问题定义

一个具有不确定性效果的 STRIPS 规划问题可定义为四元组 $\langle S, s_0, s_g, O \rangle$, 其中 S 表示允许的状态空间, 即状态的集合, 其中每个状态是一组命题的集合; s_0 表示初始状态(initial state), 即问题的初始条件; s_g 表示目标状态(goal state), 即从初始状态开始, 经过一系列的状态转变所到达的结束状态; O 表示动作模型的集合(action models), 其中每个动作模型由三元组 $\langle a, PRE, CPEFF \rangle$ 组成, 这里 a 表示动作框架(action schema), 由动作名字及其参数构成, 例如动作框架(pickup-fromtable ? b -block)。PRE 表示该动作的前提条件列表(preconditions), 是由谓词构成的集合。CPEFF 表示该动作的条件与概率效果列表(Conditional and probabilistic effects), 可形式化地表示为 $\langle (p_{i1}, c_i, e_{i1}) \dots (p_{ij}, c_i, e_{ij}) \dots (p_m, c_i, e_m) \rangle$, 其中 c_i 表示第 i 个条件, 由一系列文字(可为正文字或负文字)合取构成, c_i ($1 \leq i \leq k$) 是彼此互斥的; e_{ij} 表示所对应的第 j 个效果, p_{ij} ($1 \leq i \leq k$) 表示效果 e_{ij} 发生的概率, 且 $\sum_{j=1}^n p_{ij} = 1, p_{ij} \geq 0$ 。如果一个动作模型的前提条件 PRE 在状态 s 中可以满足, 则该动作可应用于状态 s , 并根据概率值 p_{ij} 选定效果 e_{ij} , 再由 e_{ij} 将状态 s 改变为新的状态 s' 。在将初始状态 s_0 转换为目标状态 s_g 的过程中, 一个可能的动作序列记为 $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ 。进一步称 $\langle s_0, a_1, s_1, a_2, \dots, s_n, a_n, s_g \rangle$ 为一个规划迹, 其中 s_i 为中间状态(可为空), a_i 是一个动作框架。

具有不确定性效果的动作模型学习问题可以描述为: 给定规划迹集合 T 、动作框架集合 A 和谓词集合 P 作为输入, 算法 AMLCP 输出 A 中每个动作的动作模型。在表 2 和表 3 中, 给出具有不确定性效果的动作模型学习问题的一个例子, 该例子来自不确定性规划领域 slippery-gripper, 其中表 2 描

述了该领域的输入信息集合, 表 3 为算法的输出结果。

表 2 算法 AMLCP 的输入

Input; Predicates P			
(block ? b), (gripper ? g), (gripper-dry ? g), (holding-block ? b), (block-painted ? b)(gripper-clean ? g)			
Input; Action Schemas A			
(pickup ? b ? g), (dry ? g), (paint ? b ? g)			
Input; Plan Traces T			
	Trace 1	Trace 2	Trace 3
Initial state	(gripper G)	(gripper G)	(gripper G)
	(block B)	(block B)	(block B)
	(gripper-clean G)	(gripper-clean)	(gripper-clean)
	(gripper-dry G)		
Action 1	(paint B G)	(pickup B G)	(pickup B G)
Observation 1		not(holding-block B)	(holding-block B)
Action 2	(pickup B G)	(dry G)	(paint B G)
Observation 2			
Action 3		(pickup B G)	
Observation 3			
Action 4		(paint G)	
Goal state	(gripper-clean G)	not(gripper-clean G)	not(gripper-clean G)
	(holding-block B)	(holding-block B)	(holding-block B)
	(block-painted B)	(block-painted B)	(block-painted B)

表 3 算法 AMLCP 的输出

Action schema	(pickup ? b ? g)
Preconditions	(block ? b)(gripper ? g)
Conditional effects and probabilistic effects	$\langle (0.95(\text{gripper-dry ? g}) \text{ and } (\text{holding-block ? b})), (0.05(\text{gripper-dry ? g}) \text{ and } (\text{not } (\text{holding-block ? b}))) \rangle$ $\langle (0.5(\text{not } (\text{gripper-dry ? g})) \text{ and } (\text{holding-block ? b})), (0.5(\text{not } (\text{gripper-dry ? g})) \text{ and } (\text{not } (\text{holding-block ? b}))) \rangle$

3.2 AMLCP 的框架

构建算法的目的是, 把概率动作模型学习问题转化为马尔科夫逻辑网络中公式权重的学习问题, 并利用马尔科夫逻辑网络进行统计和推理, 最后把所得到的结果转化为具有不确定性效果的动作模型。算法 AMLCP 的基本框架如表 4 所列。

表 4 AMLCP 算法的基本框架描述

算法输入	1. 若干个规划迹所组成的集合 T 2. 动作框架的集合 A 3. 谓词的集合 P
算法输出	A 中每个动作框架的前提条件、条件与概率效果
步骤	1. 将 T 中每个规划迹编码 2. 利用 A 和 P 建立前提条件列表和条件效果列表的候选公式集合 3. 利用马尔科夫逻辑网络学习每个候选公式的权重 4. 根据阈值选取部分候选公式并计算其概率, 最终转化为具有条件与概率效果的动作模型即为算法输出

下面分别介绍算法的每一个步骤。

3.2.1 步骤一: 规划迹编码

我们将集合 T 中的规划迹编码为由命题公式构成的数据库。首先, 可以利用命题公式来表示规划迹中的每一个状态; 其次, 可以把动作看作状态的转换, 从而将动作编码为命题公式。

按上面的方法, 可以把每个规划迹编码为一组原子公式的合取, 进而编码为一个数据库(DB), 这里数据库中的每条记录是一个原子公式, 记录之间的关系为合取关系。为了简化, 用 i 表示状态参量 s_i 。例如, 将表 2 给出的规划迹编码为

数据库,如表 5 所列。在本文中,作开放世界假设,即表 5 中没有记录的命题公式被认为是未知的。

表 5 将规划迹编码为数据库

DB1	DB2	DB3
(gripper G 0)	(gripper G 0)	(gripper G 0)
(block B 0)	(block B 0)	(block B 0)
(gripper-clean G 0)	(gripper-clean G 0)	(gripper-clean G 0)
(gripper-dry G 0)	(pickup B G 0)	(pickup B G 0)
(paint B G 0)	not(holding-block B 1)	(holding-block B 1)
(pickup B G 1)	(dry G 1)	(paint B G 1)
(gripper-clean G 2)	(pickup B G 2)	not(gripper-clean G 2)
(holding-block B 2)	(paint G 3)	(holding-block B 2)
(block-painted B 2)	not(gripper-clean G 4)	(block-painted B 2)
	(holding-block B 4)	
	(block-painted B 4)	

3.2.2 步骤二:建立动作的候选公式集

由 STRIPS 模型的特点可知,一个谓词如果是某个动作的负效果,则该谓词应该是该动作的前提条件;一个谓词不可能同时作为某个动作的正效果和负效果。考虑到这一特点,将每一个动作模型按照前提条件列表和效果列表两部分进行描述,并分别用候选公式集合表示。如果动作 a 的一个前提条件为 p ,那么前提条件 p 在该动作被执行时是满足的,因此可以形式化表示为:

$$\forall i, \bar{x}, \bar{y}, a(\bar{x}, i) \rightarrow p(\bar{y}, i) \quad (1)$$

式中, \bar{x}, \bar{y} 分别表示一组参数。注意到在式(1)中, $p(\bar{y}, i)$ 是动作 $a(\bar{x}, i)$ 成立的必要条件而不是充分条件。在学习公式的权重时,把权重大于某一阈值的公式中的 $p(\bar{y}, i)$ 作为动作 $a(\bar{x}, i)$ 的前提条件,从而构成动作模型的一个部分。如果 p 是当条件 c 成立时,动作 a 的一个正效果,那么在执行 a 以后,当条件 c 成立时, p 应被添加到下一个状态,可以被形式化地描述为:

$$\forall i, \bar{x}, \bar{y}, a(\bar{x}, i) \rightarrow p(\bar{y}, i) \wedge p(\bar{y}, i+1) \wedge c(\bar{z}, i) \quad (2)$$

式中, $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ 分别表示一组参数。如果 q 是当条件 c 成立时,动作 a 的一个负效果,那么在执行 a 的状态下,当条件 c 成立时, q 是成立的;而在执行 a 以后的下一个状态时, q 不成立,可以被形式化地描述为:

$$\forall i, \bar{x}, \bar{y}, a(\bar{x}, i) \rightarrow q(\bar{y}, i) \wedge \neg q(\bar{y}, i+1) \wedge c(\bar{z}, i) \quad (3)$$

式中, $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ 分别表示一组参数。进而不妨设当条件 c 成立时,动作 a 有一个正效果 p 和一个负效果 q ,则动作 a 的效果可以表示为:

$$\forall i, \bar{x}, \bar{y}, a(\bar{x}, i) \rightarrow p(\bar{y}, i) \wedge p(\bar{y}, i+1) \wedge q(\bar{y}, i) \wedge \neg q(\bar{y}, i+1) \wedge c(\bar{z}, i)$$

式中, $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ 分别表示一组参数,即可以把动作的每一条效果表示为若干个原子公式的合取。通过式(1)与式(4),可以获得动作的前提条件列表和效果列表的候选公式集合。

例如,在 slippery-gripper 域中,动作 pickup 的前提条件列表与效果列表的候选公式如表 6 和表 7 所列。

表 6 根据式(1)建立前提条件列表的候选公式

ID	weights	formulas
1	0	$\forall i, b, g, (\text{pickup } b \text{ } g \text{ } i) \rightarrow (\text{gripper } g \text{ } i)$
2	0	$\forall i, b, g, (\text{pickup } b \text{ } g \text{ } i) \rightarrow (\text{block } b \text{ } i)$
3	0	$\forall i, b, g, (\text{pickup } b \text{ } g \text{ } i) \rightarrow (\text{gripper-dry } g \text{ } i)$
4	0	$\forall i, b, g, (\text{pickup } b \text{ } g \text{ } i) \rightarrow (\text{holding-block } b \text{ } i)$

表 7 根据式(4)建立条件效果列表的候选公式

ID	weights	formulas
1	0	$\forall i, b, (\text{pickup } b \text{ } g \text{ } i) \rightarrow (\text{gripper-dry } g \text{ } i)$ $\wedge \neg (\text{holding-block } b \text{ } i) \wedge (\text{holding-block } b \text{ } i+1)$
2	0	$\forall i, b, (\text{pickup } b \text{ } g \text{ } i) \rightarrow (\text{gripper-dry } g \text{ } i)$ $\wedge (\text{holding-block } b \text{ } i) \wedge \neg (\text{holding-block } b \text{ } i+1)$
3	0	$\forall i, b, (\text{pickup } b \text{ } g \text{ } i) \rightarrow \neg (\text{gripper-dry } g \text{ } i)$ $\wedge \neg (\text{holding-block } b \text{ } i) \wedge (\text{holding-block } b \text{ } i+1)$
4	0	$\forall i, b, (\text{pickup } b \text{ } g \text{ } i) \rightarrow \neg (\text{gripper-dry } g \text{ } i)$ $\wedge (\text{holding-block } b \text{ } i) \wedge \neg (\text{holding-block } b \text{ } i+1)$
5	0	$\forall i, b, (\text{pickup } b \text{ } g \text{ } i) \rightarrow (\text{holding-block } b \text{ } i)$ $\wedge (\text{gripper-dry } g \text{ } i) \wedge \neg (\text{gripper-dry } g \text{ } i+1)$
...

3.2.3 步骤三:学习候选公式的权重

根据文献[31],马尔科夫逻辑网络 L 是由一些二维数组 (F_i, ω_i) 所构成的集合,其中 F_i 表示一阶逻辑公式,表示公式的权重(用实数表示),将其应用于一个常数集合 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$,就定义了马尔科夫逻辑网 $M_{L,C}$ 。这里 $M_{L,C}$ 包含一个二值节点集合,每个二值节点对应 L 中的一个谓词实例化的原子命题。如果其对应的实例化原子命题为真,则该节点的值为 1;否则为 0。 $M_{L,C}$ 包含一个特征集合,每个特征对应 L 中的某个公式 F_i 进行实例化,如果其对应的实例化公式为真,则该特征的值为 1,否则为 0。这个 ω_i 特征的权重为 ω_i ,即是 L 中公式 F_i 的权值。

使用 Alchemy 系统^[32]来学习候选公式的权重,使用的方法为加权伪极大似然法。对于每个原子命题,如果其出现在 DBs 中,则对应的 $x_i = 1$,否则为 0,从而可以得到所生成公式的权重。有关利用 MLNs 学习公式权重的详细步骤可以查阅文献[31]。首先根据式(1)、式(4)分别得到动作的前提条件列表和效果列表的候选公式集合,然后利用 MLNs 学习该候选公式集中所有公式的权重。例如,表 5、表 6 中候选公式的权重如表 8、表 9 所列。

表 8 前提条件列表中候选公式的权重

ID	weights	formulas
1	0.3	$\forall i, b, g, (\text{pickup } b \text{ } g \text{ } i) \rightarrow (\text{gripper } g \text{ } i)$
2	0.5	$\forall i, b, g, (\text{pickup } b \text{ } g \text{ } i) \rightarrow (\text{block } b \text{ } i)$
3	-0.4	$\forall i, b, g, (\text{pickup } b \text{ } g \text{ } i) \rightarrow (\text{gripper-dry } g \text{ } i)$
4	-0.2	$\forall i, b, g, (\text{pickup } b \text{ } g \text{ } i) \rightarrow (\text{holding-block } b \text{ } i)$

表 9 效果列表中候选公式的权重

ID	weights	formulas
1	0.77	$\forall i, b, (\text{pickup } b \text{ } g \text{ } i) \rightarrow (\text{gripper-dry } g \text{ } i)$ $\wedge \neg (\text{holding-block } b \text{ } i) \wedge (\text{holding-block } b \text{ } i+1)$
2	0.12	$\forall i, b, (\text{pickup } b \text{ } g \text{ } i) \rightarrow (\text{gripper-dry } g \text{ } i)$ $\wedge (\text{holding-block } b \text{ } i) \wedge \neg (\text{holding-block } b \text{ } i+1)$
3	0.44	$\forall i, b, (\text{pickup } b \text{ } g \text{ } i) \rightarrow \neg (\text{gripper-dry } g \text{ } i)$ $\wedge \neg (\text{holding-block } b \text{ } i) \wedge (\text{holding-block } b \text{ } i+1)$
4	0.47	$\forall i, b, (\text{pickup } b \text{ } g \text{ } i) \rightarrow \neg (\text{gripper-dry } g \text{ } i)$ $\wedge (\text{holding-block } b \text{ } i) \wedge \neg (\text{holding-block } b \text{ } i+1)$
5	-0.3	$\forall i, b, (\text{pickup } b \text{ } g \text{ } i) \rightarrow (\text{holding-block } b \text{ } i)$ $\wedge (\text{gripper-dry } g \text{ } i) \wedge \neg (\text{gripper-dry } g \text{ } i+1)$
...

3.2.4 步骤四:获得具有不确定性效果的动作模型

在前提条件的候选公式集合中,选择权重大于某一阈值的候选公式构成一个集合,并将该集合转化为动作模型的前提条件列表。在效果列表的候选公式集合中,同理,我们可以选定

一些候选公式,并求出每个选定公式对应的概率值,进而转化为具有不确定性效果的动作模型。

马尔科夫逻辑网络中,公式的权重反映了该公式为真的可能性,可以理解为公式的权重越大,其例化后的公式为真的个数越多。我们首先需要确定一个权重的阈值,例如,设置阈值为 0,那么可以从表 7 中选择权重大于 0 的所有公式,结果为:

$$\forall i, b, g, (pickup\ b\ g\ i) \rightarrow (gripper\ g\ i)$$

$$\forall i, b, g, (pickup\ b\ g\ i) \rightarrow (block\ b\ i)$$

即公式中的谓词(*gripper g i*), (*block b i*)为动作(*pickup b i*)的前提条件;同理在表 8 中选择权重大于 0 的所有公式,再求出相应的概率,即得到动作(*pickup b i*)的不确定性效果。这样可以得到具有不确定性效果的动作模型,如表 10 所列。

表 10 所获得的动作模型

Action schema	pickup(? b ? g)
Preconditions	block(? b), gripper(? g)
Indeterminate effects	$((0.87(gripper\ dry\ ?\ g)\ (and(holding\ block\ ?\ b))),$ $(0.13(gripper\ dry\ ?\ g)\ (and(not(holding\ block\ ?\ b))))$ $((0.48(not(gripper\ dry\ ?\ g))\ (and(holding\ block\ ?\ b))),$ $(0.52(not(gripper\ dry\ ?\ g))\ (and(not(holding\ block\ ?\ b))))$

4 软件需求的获取及实例

本节主要介绍利用动作模型学习算法 AMLCP 自动获取软件需求。其主要思路是,首先在软件需求领域抽取部分的规划域描述,并根据软件业务流程抽取出一个规划迹集合;然后利用 AMLCP 算法自动获取具有不确定性效果的动作模型,从而得到需求领域的完整规划域描述。

需求是一个抽象的概念,通常用需求规格说明来具体表示需求。本文试图使用规划语言(PDDL)来表示需求规格说明。然而使用形式化语言完整地描述需求,要求分析人员能够全面描述需求,但是这是很费时间和人力的,所以本文尝试先将需求描述为部分规划域,再对其加以完善,得到完整规划域。首先,给出部分规划域和完整规划域的概念。

定义 1(部分规划域) 设 T 为参数类型集合、 P 为谓词集合、 A 为动作框架集合,每个动作框架由动作的名称与包含的参数构成。我们将 (T, P, A) 称为一个部分规划域。

定义 2(完整规划域) 设 T 为参数类型集合、 P 为谓词集合、 A 为动作框架集合。对于每一个动作框架 $a \in A$, PRE 表示动作 a 的前提条件列表, CPEFF 表示动作 a 的条件与概率效果列表,三元组 $\langle a, PRE, CPEFF \rangle$ 表示一个完整的动作模型。由 (T, P, A) 与 A 中所有动作框架所对应的完整动作模型所构成的集合称为完整规划域。

下面通过一个实例来描述如何将软件需求转化成为部分规划域。

例 1 一个工厂的生产销售系统包括获取客户订单、组织生产、采购原材料、产品入库以及产品发货 5 个流程。因为需求实际涉及的动作较多,描述篇幅较大,所以我们对需求进行了一定程度的简化。可以用 PDDL 语言将需求描述为部分规划域,如表 11 所列。

(define(domain factory-manufacture)
(:types product person)
(:predicates
(marketdepartment ? x-person) 某人属于市场部
(manufacturedepartment ? x-person) 某人属于生产部
(buyingdepartment ? x-person) 某人属于采购部
(warehousedepartment ? x-person) 某人属于仓储部
(deliverydepartment ? x-person) 某人属于发货部
(ordered ? y-product) 客户已订购了某种产品
(deliveryform y-product) 已填写了某产品的送货表单
(orderform ? y-product) 已填写了某产品的订货表单
(manufactureform ? y-product) 已填写了某产品的生产表单
(buyingmaterialform ? y-product) 已填写了某产品的原材料购买表单
(instorageform ? y-product) 已填写了某产品的存储货物表单
(enoughmaterialinstorage ? y-product) 某产品的原材料有足够库存
(enoughspacefor ? y-product) 仓库内能容纳某产品
(:action schemes
Order(x-person, y-product) 订购产品
Manufacture(x-person, y-product) 生产产品
Buy(x-person, y-product) 采购产品的原材料
putinstage(x-person, y-product) 入库
deliver(x-person, y-product) 送货

下面,从实际业过程中抽取这 5 个流程相关的实例,并以规划迹的形式进行表示,实例一如表 12 所列,其中斜体部分表示初始状态描述,加粗体部分表示动作序列,最后部分表示目标状态。实验中抽取了 20 个类似这样的实例作为样本集。

表 12 从实际业务过程中抽取实例

<i>(ordered productA)</i>
<i>(marketdepartment staff1)</i>
<i>(deliverydepartment staff5)</i>
<i>(buyingdepartment staff3)</i>
<i>(warehousedepartment staff4)</i>
<i>(manufacturedepartment staff2)</i>
order(staff1, productA)
(orderform productA)
manufacture(staff2, productA)
(buyingmaterialform productA)
buy(staff3, productA)
(enoughmaterialinstorage productA)
manufacture(staff2, productA)
(manufactureform productA)
putinstorage(staff4, productA)
(instorageform productA)
deliver(staff5, productA)
(deliveryform productA)

本文利用动作模型学习工具 AMLCP,以上面得到的部分规划域、样本集和领域公理作为输入,得到动作的不确定效果(条件与概率效果)。因为学习得到的动作模型并不能完全准确地描述需求,所以有必要由领域专家根据经验对动作模型进行人工调整,得到的最终动作模型,如表 13 所列。

以动作 $Manufacture(? x-person, ? p-product)$ 的模型为例,其意义如下:某人 x 组织生产某产品 p 的前提条件是: x 是属于生产部门的员工,并且已填写了产品 p 的订货表单,其效果是:当有足够的原材料生产产品 p 时,有 0.9 的概率为可填写产品 p 的生产表单,有 0.1 的概率为不可填写产品 p 的生产表单,比如说,此时生产机器有故障等情况发生。当没有足够的原材料生产产品时,有 0.8 的概率为可填写购买生产产品 p 所需原材料的表单,有 0.2 的概率为不可填写购买生产产品 p 所需原材料的表单,比如说,此时资金紧张等情

况发生。其它动作模型可以类似地解释。

表 13 自动获取的具有不确定性效果的动作模型

Order(? x-person, ? p-product)
Precondition: (marketdepartment ? x-person) (ordered ? p-product)
Effects: 0, 9 (orderform ? p-product) 0, 1 ! (orderform ? p-product)
Manufacture(? x-person, ? p-product)
Precondition: (orderform ? p-product) (manufacturedepartment ? x-person)
Effects: when(enoughmaterialinstorage ? p-product), 0, 9 (manufactureform ? p-product) 0, 1 ! (manufactureform ? p-product) when ! (enoughmaterialinstorage ? p-product), 0, 8 (buyingmaterialform ? p-product) 0, 2 ! (buyingmaterialform ? p-product)
Buy(? x-person, ? p-product)
Precondition: (buyingdepartment ? x-person) (buyingmaterialform ? p-product)
Effects: 0, 9 (enoughmaterialinstorage ? p-product) 0, 1 ! (enoughmaterialinstorage ? p-product)
Putinstorage(? x-person, ? p-product)
Preconditions: (warehousedepartment ? x-person) (manufactureform ? p-product)
Effects: when(enoughspacefor ? p-product), 0, 9 (instorageform ? p-product) 0, 1 ! (instorageform ? p-product) when ! (enoughspacefor ? p-product), 0, 6 (instorageform ? p-product) 0, 4 ! (instorageform ? p-product)
Deliver(? x-person, ? p-product)
Preconditions: (deliverydepartment ? x-person)
Effects: when(instorageform ? p-product), 0, 9 (deliveryform ? p-product) 0, 1 ! (deliveryform ? p-product) When ! (instorageform ? p-product), 0, 3 ! (deliveryform ? p-product) 0, 7 (deliveryform ? p-product)

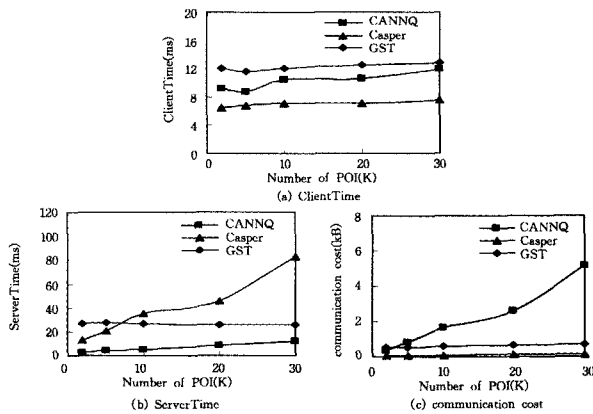
结束语 本文利用智能规划与机器学习的方法,将需求领域转化为部分规划域,并采用 PDDL 语言对其进行形式化描述,进而对规划样本进行学习得到完整规划域以及需求规格说明。该方法可以用于自动获取软件需求,以减少对需求领域进行人工分析的工作量,并可以利用规划求解器对需求说明进行验证,从而实现需求验证自动化。在今后的工作中,将进一步扩展 AMLCP 系统以实现资源规划领域的动作模型学习。

参考文献

- [1] 金芝. 基于本体的需求自动获取[J]. 计算机学报, 2000, 23(5): 486-492
- [2] Hankui Z, Lei L, Qiang Y. Learning Action Models with Quantified Conditional Effects for Software Requirement Specification [C]//International Conference on Intelligent Computing(ICIC-08). 2008; 874-881
- [3] Fikes R, Nils J N. Strips: A new approach to the application of theorem proving to problem solving[J]. Artificial Intelligence, 1971, 2(3): 189-203
- [4] Soderland S, Weld D. Evaluating nonlinear planning[R]. TR 91-02-03. University of Washington CSE, 1991
- [5] Kautz H, McAllester D, Selman B. Encoding plans in propositional logic [C] // Proceedings of the 5th International Conference of Principles of Knowledge Representation and Reasoning. 1996; 1084-1090
- [6] Avrim L B, Merrick L F. Fast planning through planning graph

- analysis[C]//Proceeding of the 14th International Joint Conferences on Artificial Intelligence. 1995; 1636-1642
- [7] Malik G, Adele H, Craig K, et al. PDDL-the planning domain definition language[OL]. <http://www.informatik.uni-ulm.de/ki/Edu/Vorlesungen/GdKI/WS0203/pddl.pdf>, 1998
- [8] Smith D, Weld D. Conformant graphplan [C]// Proceeding of 15th National Conference on Artificial Intelligence. 1998
- [9] Weld D, Anderson C, Smith D. Extending graphplan to handle uncertainty and sensing actions[C]//Proceedings of 15th National Conference on Artificial Intelligence. 1998
- [10] Chen Y. Constrained partitioning in penalty formulations for solving temporal planning problems [J]. Artificial Intelligence, 2006, 170(3): 187-231
- [11] Philippe L. Algorithms for propagating resource constraints in AI planning and scheduling; existing approaches and new results [J]. Artificial Intelligence, 2003, 143(2): 151-188
- [12] Omid M, Steve H, Anne C. On the undecidability of probabilistic planning and related stochastic optimization problems[J]. Artificial Intelligence, 2003, 147: 5-34
- [13] Younes H, Littman M L, Weissman D. The first probabilistic track of the international planning competition [J]. Journal of Artificial Intelligence Research, 2005, 24: 851-887
- [14] 周俊萍, 殷明浩, 谷云祥, 等. 部分可观察强规划中的约减观察变量的研究[J]. 软件学报, 2009, 20(2): 290-304
- [15] 闫书亚, 殷明浩, 谷云祥, 等. 概率规划的研究与发展[J]. 智能系统学报, 2008, 3(1): 9-22
- [16] Yolanda G. Learning by experimentation: Incremental refinement of incomplete planning domains [C]//Proceeding of the Eleventh International Conference on Machine Learning (ICML 1994). 1994; 87-95
- [17] Tim O, Paul R C. Searching for planning operators with context-dependent and probabilistic effects [C] // Proceedings of the Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI 1996). 1996; 865-868
- [18] Matthew D S, Tim O, Paul R C. Learning planning operates in real-world, partially observable environments [C]//Proceedings of the Fifth International Conference on Artificial Intelligence Planning Systems (AIPS 2000). 2000; 246-253
- [19] W Xue-mei. Learning by observation and practice: An incremental approach for planning operator acquisition [C]//Proceeding of the Twelfth International Conference on Machine Learning (ICML 1995). 1995; 549-557
- [20] Hanna M P, Luke S Z, Leslie P K. Learning and planning with probabilistic relational rules [C]//Proceedings of the Fourteenth International Conference on Automated Planning and Scheduling (ICAPS 2004). 2004; 73-82
- [21] Hanna M P, Luke S Z, Leslie P K. Learning symbolic models of stochastic domains [J]. Journal of Artificial Intelligence Research, 2007, 29(1): 309-352
- [22] Michael P H, Charles L J. Schema Learning: Experience-based construction of predictive action models [C]//Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS 2004). 2004
- [23] Thomas J W, Michael L L. Efficient learning of action schema and web-service descriptions [C]//Proceedings of the Twenty-Third AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI 2008). 2008; 714-719

(下转第 177 页)



CANNQ; ClientL=0.01, NeighborValue=0.002, Distance=0.05,
 K=1; Casper; K=1, Amin=0.000317; GST; K=1, dist(q, q')=0.0178

图9 CANNQ与基于TTP方法Casper、基于TTP-free方法GST对比实验结果

结束语 针对现有的基于可信第三方的保护位置隐私近邻查询方法存在的不足,难以寻找满足要求的可信第三方,可信第三方容易成为系统的瓶颈而造成系统查询效率和扩展性较差,本文提出一种不依赖可信第三方的基于坐标和的保护位置隐私查询方法CANNQ。客户端通过向LBS服务提供方发送其当前位置的二维坐标之和,实现对查询发起用户位置隐私的保护;LBS服务器通过设置基于坐标和的查询处理策略将包含查询结果的候选解反馈给客户端,进一步通过对候选解的有效剪枝,有效降低了通信和客户端的处理代价。下一步,就如何减少CANNQ方法的通信量做出改进,使之更加有效。

参考文献

[1] Gedik B, Liu L. Protecting location privacy with personalized k-anonymity: Architecture and algorithms[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2008, 7(1): 1-18

[2] Gedik B, Liu L. A customizable k-anonymity model for protecting location privacy[C]//Proceedings of the IEEE International

conference on Distributed Computing Systems(ICDS'05). 2005; 620-629

[3] Bamba B, Liu L, Pesti P, et al. Supporting anonymous location queries in mobile environments with privacy grid[C]//International World Wide Web Conference WWW. 2008; 237-246

[4] Solanas A, Domingo-Ferrer J, Martinez-Ballester A. Location privacy in location-based services: Beyond TTP-based schemes[C]//Proc. 1st Int. Workshop PiLBA. 2008; 12

[5] Rohunen A, Markkula J. Approaches to Privacy Protection in Location-Based Services[C]//NDT 2010, part I, CCIS 87. 2010; 402-409

[6] Domingo-Ferrer J. Microaggregation for database and location privacy[C]//Etzion O, Kuflik T, Motro A. eds. Next Generation Information Technologies and Systems-NGITS. Volume 4032 of LNCS, Berlin/Heidelberg, Springer, 2006; 106-116

[7] Chow C, Mokbel M F, Liu X. A peer-to-peer spatial cloaking algorithm for anonymous location-based services[C]//Proceedings of the 14th Annual(GIS'06). 2006; 171-178

[8] Yiu M L, Jensen C S, Huang X, et al. Spacetwist: Managing the trade-offs among location privacy, query performance, and query accuracy in mobile services[C]//IEEE 24th International Conference on Data Engineering ICDE'08. 2008; 366-375

[9] Ghinita G, Kalnis P, Khoshgozaran A, et al. Private queries in location based services: Anonymizers are not necessary[C]//Proceedings of the 2008 ACM SIGMOD international conference on management of data(SIGMOD '08). Vancouver, BC, Canada, ACM, June 2008; 121-132

[10] Mokbel M F, Chow C-Y, Aref W G. The new Casper: query processing for location services without compromising privacy[C]//Proceedings of the 32nd international conference on Very Large Data Bases. Seoul, Korea, September 2006; 12-15

[11] 潘晓, 肖珍, 孟小峰. 位置隐私研究综述[J]. 计算机科学与探索, 2007, 1(3): 268-281

[12] 魏琼, 卢炎生. 位置隐私保护技术研究进展[J]. 计算机科学, 2008, 35(9): 21-25

(上接第146页)

[24] Qiang Y, Kangheng W, Yunfei J. Learning action models from plan examples using weighted max-sat[J]. Artificial Intelligence, 2007(2/3): 107-143

[25] Eyal A. Learning partially observable deterministic action models[C]//Proceedings of the Nineteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence(IJCAI 2005). 2005; 1433-1439

[26] Dafna S, Allen C, Eyal A. Learning partially observable action models: Efficient algorithm[C]//Proceedings of the Twenty-First National Conference on Artificial Intelligence(AAAI 2006). 2006; 920-926

[27] Dafna S, Eyal A. Learning partially observable action schema [C]//Proceedings of the Twenty-First National Conference on

Artificial Intelligence(AAAI 2006). 2006; 913-919

[28] Megan N, Adam V, Eyal A. Reasoning about partially observed actions[C]//Proceedings of the Twenty-First National Conference on Artificial Intelligence(AAAI 2006). 2006; 888-893

[29] 赖志锋, 姜云飞. 智能规划中基于遗传算法的动作模型的学习[J]. 计算机学报, 2007, 30(6): 945-953

[30] Zhuo H H, Yang Q, Derek H H, et al. Learning complex action models with quantifiers and logical implications[J]. Artificial Intelligence, 2010, 147(18): 1540-1569

[31] Matthew R, Pedro D. Markov logic networks[M]. USA: Department of Computer Science and Engineering, University of Washington, 2004

[32] Stanley K, Parag S, Matthew R, et al. The Alchemy System for Relational AI[M]. University of Washington, Seattle, 2005