

# 面向自主计算的主体服务匹配:研究综述<sup>\*</sup>)

张 琨<sup>1,2</sup> 许满武<sup>1</sup> 刘凤玉<sup>2</sup>

(南京大学计算机科学与技术系 南京 210093)<sup>1</sup> (南京理工大学计算机科学与技术学院 南京 210094)<sup>2</sup>

**摘 要** 主体服务能力描述和能力匹配是实现自主单元自配置的关键,也是基于主体的自主计算技术中的核心内容。在简要介绍自主计算基础上,重点对主体服务描述语言和主体服务匹配算法的研究成果进行了综述,并指出未来的发展趋势。

**关键词** 主体服务匹配,自主计算,主体服务描述,自主单元

## Agent Service Matchmaking for Autonomic Computing: A Survey

ZHANG Kun<sup>1,2</sup> XU Man-wu<sup>1</sup> LIU Feng-yu<sup>2</sup>

(Department of Computer Science & Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)<sup>1</sup>

(School of Computer Science & Technology, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Agent service capability description and matchmaking are the key for self-configuration in autonomic unit, and are also important issue for agent-based autonomic computing. On the basis of brief introduction for autonomic computing, many research results on agent service description language and agent service matchmaking algorithm were detailedly summarized. Finally, the future study directions were pointed out.

**Keywords** Agent service matchmaking, Autonomic computing, Agent service description, Autonomic unit

### 1 引言

针对日益复杂的计算环境中所面临的管理与成本问题,2001年IBM公司提出了自主计算<sup>[1]</sup>(Autonomic Computing)的概念。自主计算是为了满足人们日益增长的按需计算需求,其最终目标就是使得IT系统能自我管理 and 自适应,包括自配置、自恢复、自优化和自保护。

近几年,随着主体(Agent)和多主体(Multi-Agent)系统<sup>[2-7]</sup>越来越受到分布式人工智能领域研究人员的广泛关注,基于主体的自主计算逐渐成为研究热点<sup>[8-13]</sup>。这些研究以主体充当自主计算元素(自主单元),重点关注如何利用主体和多主体系统为用户提供各种有效和高效的服务(即基于主体的服务),通过自配置使自主计算实现自我管理能力。当自主计算系统中安装或部署了新的自主单元时,需要通过自配置使新的自主单元在系统中处于合适的位置,并与其它自主单元的连接参数要配置完好。也就是说,当自主单元进入自主计算系统时,根据用户定制的策略或商业目标,它需要提供一定的服务。然而,它可能需要在一定的条件下或需要一定的帮助才能提供(或者更好地提供)这些服务,即它需要其他自主单元提供的服务才能完成用户定制的策略。在这种情况下,自主计算系统需要实现自主单元的服务匹配,对这些自主单元主体进行能力描述和能力匹配,从而实现高效、快速的自配置。对主体的能力描述称为主体服务描述,对主体的能力匹配称为主体服务匹配。其中,主体服务描述是主体服务匹配的前提和基础。

本文综述了面向自主计算的主体服务匹配技术的最新研究进展,分别从主体服务描述语言和主体服务匹配算法两个

方面总结了这些研究成果,并指出未来的发展趋势。本文第2节简要叙述自主计算的概念,第3节对几种主体服务描述语言进行分析,第4节综述主体服务匹配算法,最后展望进一步的工作和全文小结。

### 2 自主计算

随着计算机技术的飞速发展和网络分布式系统的迅猛增长,计算机软件系统结构和计算机组织结构的复杂性日益增加。而且,规模的不断扩大导致了配置、运行这些分布式系统的复杂度不断增加,也使得操作管理人员逐渐失去对系统的有效管理,并导致管理、维护成本的不断上升。因此,为了解决软件复杂性危机,IBM公司于2001年提出了自主计算的概念<sup>[1]</sup>。其后,各大IT公司及科研机构均不断地投入到自主计算的研究中。

自主计算就是通过设计、构建一个能够“Self-Management”的计算系统来实现系统的自我管理,以便将管理人员从复杂管理任务中解脱出来,降低系统的复杂性,减少管理成本。它的本质是由系统主动监视自身的运行状态,并按照管理策略针对不同的运行状态自动执行相应的处理操作。

自主计算的灵感来自人体复杂的自主神经系统,它以同样的方式预测系统的需求和清除故障——在无需人工干预的情况下聪明地运行,所要解决的是日益复杂的计算环境中所面临的管理与成本问题。自主计算系统与人体自主神经系统的重要差异在于,人体做出的很多自主决定是不自觉的,而计算机系统的自主计算组件则遵循人所下达的命令。自主计算不同于人工智能,虽然后者在某些方面对其有借鉴意义。自主计算并不将模仿人类思维作为主要目标,而是要具有适

<sup>\*</sup>)基金项目:国家自然科学基金重点项目“可信软件风险多层次综合管理技术”,项目批准号:90718021。张 琨 副教授,硕士生导师,博士,博士后;许满武 教授,博士生导师;刘凤玉 教授,博士生导师。

应动态变化环境自我管理能力。自主计算使计算机系统具有自我管理能力<sup>[1]</sup>,包括4个部分:(1)自配置。系统根据组件的增减或流量的变化动态地自我重新配置,以使架构始终保持强健和高效。(2)自恢复。系统能够监测到运行中的错误,并且在不妨碍系统正常工作的前提下自动修正错误,这对提高系统的可用性有很大帮助。(3)自优化。系统根据用户在不同时刻的不同需求或流量重新调配资源,以保证最佳的服务质量(QoS)。(4)自保护。确保当未授权的入侵、病毒攻击等具有敌意的行为或系统过载发生时,系统能够及时发现并实施保护。

在面向主体的自主计算实现过程中,如何对这些自主单元主体进行能力描述和能力匹配,以实现高效、快速的自配置,是目前的研究难点和热点。下面对这两方面的研究成果进行综述分析。

### 3 主体服务描述语言

要实现主体服务匹配,首要任务就要实现主体的能力描述,即构造主体服务描述语言。在 Gonzalez<sup>[14]</sup>对服务描述研究基础上,文献[11]提出了主体服务描述语言应该满足的几项条件:(1)表达能力强。不仅能表达信息、知识,还要能表达服务。自主单元能力的描述应该在抽象层,不应该在实现层。(2)灵活性。能适应不同的自主单元使用,能提供继承机制、概念语言和状态语言。(3)推理功能。自主单元能自治地完成服务匹配、服务调用、服务组合及服务验证等一系列服务推理问题。(4)基于语法的描述。只在语法层上描述服务不能解决自主计算系统中服务的互操作问题。在描述服务时,应该在语义层上描述,即要考虑本体的使用。(5)支持服务的协商机制。服务的调用、组合、协作等都离不开自主单元的自动协商。(6)支持数据类型。服务的输入和输出等属性不是简单的字符串,应该考虑数据类型的使用,如整型、实型和日期型等,这样才能客观地描述服务。(7)要考虑服务质量与服务效率的关系。有的自主单元以服务质量为优先条件,有的自主单元以服务效率为优先条件,而有的自主单元要考虑两者的平衡。(8)语法要尽可能简单,方便用户使用。

有关主体服务描述语言的研究工作可追溯到上世纪末。英国爱丁堡大学的 Wickler 博士<sup>[15]</sup>在 1999 年研制了一种主体能力描述语言 CDL(Capability Description Language),它采用动作语言来表示能力,原则是要保持动作表达中的结构,继承功能强大的逻辑表达能力,同时保留主体通信语言 KQML<sup>[16]</sup>的灵活性。为了实现表达机制,引入了一种解耦动作表达语言概念从动作中分离状态。但它的描述是基于语法的,没有考虑在语义层上的描述;另外,它没有考虑服务的协商机制,也不支持数据类型的定义。美国马里兰大学的 Arisha 等人<sup>[17]</sup>提出一种服务描述语言 SDL(Service-Description Language),该语言非常简单,只定义了服务名、输入/输出和服务属性。它主要利用分层机制和同义词词典来刻画服务描述的语义问题,但它不支持数据类型的定义,不能有效地描述服务。

卡耐基梅隆大学的机器人技术实验室<sup>[18]</sup>长期对主体服务技术进行研究<sup>[19-24]</sup>,具有代表性的成果是 Sycara 等人<sup>[19]</sup>采用 LARKS(Language for Advertisement and Request for Knowledge Sharing)语言来描述主体服务。该语言巧妙地平衡了匹配过程中语言的表达性和有效性,既支持语法级匹配,又支持语义级匹配,而且允许通过概念语言 ITL(Information

Terminological Language)<sup>[24]</sup>表达概念规范。LARKS 语言考虑了服务质量与服务效率的平衡,但没有考虑服务描述的继承机制和主体状态语言,因而灵活性比较差。更为重要的是,它没有考虑服务的协商机制。

Lee 等人<sup>[25,26]</sup>提出一种基于可能性 Petri 网(Possibilistic Petri Net)的主体服务描述语言 PPN-ASDL,用于指导和规范开放信息环境下主体服务的发布、请求和匹配。PPN-ASDL 使用可能性 Petri 网<sup>[27]</sup>作为基础,采用 DAML+OIL 本体标记语言共享领域知识。通过信用迁移、输入(出)变量、输入(出)位置等特征来描述主体服务能力。PPN-ASDL 使用带有前置条件和后置条件的逻辑机制,具有较强的表达能力;采用 PPN 提高了不确定性表达能力;采用本体标记语言增强了语义服务匹配描述的能力。

国内的主要研究成果包括:文献[28]对主体的性能、多主体之间的相互影响、能力的动态属性以及由多个关系较为密切的主体组成的一组主体集合的能力描述等方面进行深入研究,给出一个完整的主体能力描述语言 ACDL(Agent Capability Description Language),该语言可以实现对单个主体、一组主体以及主体代理(Agency)的能力描述,该描述语言支持基于能力的学习功能,能力描述中涉及的某些方面,如性能、影响因子等,可能受运行环境的影响而需要动态调整。由于 ACDL 语言综合考虑了主体的特殊属性,因此具有较良好的适应性和灵活性。蒋运承和张海俊等人<sup>[11,29]</sup>针对 CDL,SDL 和 LARKS 等服务描述语言存在的不足,提出了一种带语义、继承以及支持协商机制的服务描述语言 SDLSIN(Service Description Language with Semantics and Inheritance and supporting Negotiation),该语言是一种带槽结构的框架表示语言,其概念语言用描述逻辑 DL<sup>[30]</sup>来表示,状态语言用一阶谓词逻辑来表示。SDLSIN 语言不仅考虑了从语义上来描述服务,而且考虑了服务描述的继承机制、状态语言和服务的协商机制,并且支持数据类型的定义,从而克服了 CDL<sup>[15]</sup>,SDL<sup>[17]</sup>和 LARKS<sup>[19]</sup>的不足。胡军等人<sup>[13,31]</sup>运用本体论来描述主体的服务能力,采用领域概念化语言 DCL(Domain Concept Language)描述领域概念集合,采用了概念-关系-属性和约束规则的形式表示领域本体论,并在此基础上建立对主体服务的描述。该语言将主体服务的整体描述分为 2 个部分:上部是有关服务的逻辑描述,由服务名、综合信息、参数列表、应用约束和操作列表组成;下部是实现服务各类操作的 Web 服务,采用标准的 WSDL 语言<sup>[32]</sup>描述。由于 DCL 语言通过概念-属性和概念约束槽的形式能够表达复杂的概念和概念的约束,进而支持描述复杂的主体服务和约束,有效解决了主体服务表示能力不足的问题。

## 4 主体服务匹配算法

### 4.1 主体服务匹配种类

自基于主体的自主计算技术研究以来,研究人员已经提出了许多主体服务匹配算法<sup>[11,13-15,17,19,25,26,29,31,33-44]</sup>。根据对服务能力的匹配角度不同,这些服务匹配算法的种类也不尽相同。

针对主体服务描述信息的丰富程度的不同,主体服务匹配可分为基于语法的匹配和基于语义的匹配。基于语法的匹配<sup>[11,15]</sup>大多是基于服务描述中的关键字匹配,这种匹配算法相对简单,但查准率较低,很难保证基于主体的服务组合的相容性。基于语义的服务匹配<sup>[17,19,31,33]</sup>通常采用

本体论方法来解决传统语法级服务描述的异构性,增强对主体服务的功能、行为的语义描述。这些匹配算法通常依赖于逻辑演绎和推理,具有查准率高、匹配效率不佳,实用性、灵活性较差等特点。其实,基于语法的匹配和基于语义的服务匹配不是对立的,在实际应用中,可以根据不同的需要和领域特点选择使用。它们也可以同时使用,这时需要对两种匹配分别赋予适当的权值,并求加权和,来确定匹配的程度<sup>[11]</sup>。

根据主体服务的匹配准确度不同,主体服务匹配又可分为近似匹配、精确匹配和插入匹配<sup>[29]</sup>。其中,近似匹配只要求请求服务与提供服务相似,这种相似可以是基于语法的,也可以是基于语义的;精确匹配要求请求服务与提供服务在语义上是等价的;插入匹配介于近似匹配和精确匹配之间,从语义上要求提供服务“包含”请求服务,即相对于请求服务来说,提供服务能提供更多的服务,请求服务能够插入到提供服务中。显然,精确匹配是一种插入匹配,而插入匹配是一种近似匹配。

其他类型的主体服务匹配包括:有些学者在匹配时考虑主体在服务代价、时间、可靠性和服务质量等非功能属性上的差异,提出基于服务质量(QoS)的主体服务匹配算法<sup>[34,35]</sup>;一些学者考虑到主体服务匹配大都是在精确服务描述条件下进行的,即服务描述中不能含有模糊或不确定描述的情况,提出主体服务的模糊匹配,研究在模糊或不确定服务描述条件下的主体服务匹配<sup>[36]</sup>。

#### 4.2 典型的主体服务匹配算法

本节将对一些典型的主体服务匹配算法进行综述,以供研究人员参考。最早研究服务匹配的是 ABSI 服务器(Facilitator)<sup>[37]</sup>,它采用 KQML 通信语言,并用 KIF 作为它的内容语言,但没有提出主体服务描述语言,应用范围非常有限。它利用简单的合一来实现能力匹配运算,没有考虑语义匹配问题。

早期的主体服务匹配算法还包括:Kuokka 和 Harada 实现了服务匹配系统 SHADE 和 COINS<sup>[38]</sup>,它们也是基于 KQML 通信语言的。其中 COINS 的内容语言是没有任何限制的自由文本,它的匹配算法采用 TF-IDF 来实现;SHADE 的内容语言有两部分:一部分是 KIF 的子集,一部分是结构化逻辑表示语言 MAX,采用一个像 Prolog 的合一器进行匹配运算,没有知识库,仅仅使用基于前向规则程序来完成匹配判断。它们没有提出主体服务描述语言,也没有考虑语义匹配问题。Bayard 等人实现了一个基于服务代理(broker)的信息系统 InfoSleuth<sup>[39]</sup>,该系统是一个基于主体的信息发现和检索系统,所采用的内容语言是 KIF 和演绎数据库语言 LDL++,利用约束推理匹配来实现服务匹配。它也没有提出主体服务描述语言,并且匹配算法的应用范围也非常有限(主要是数据库领域)。Wickler 在研制的主体能力描述语言 CDL 基础上,采用简单的逻辑合一的匹配机制进行服务匹配<sup>[15]</sup>,从而匹配算法只能是精确匹配,没有考虑近似匹配以及服务质量与效率的平衡。在 IMPACT<sup>[17]</sup>中,主体服务通过动词-名词对的简单数据结构来表示,服务的匹配通过计算由这些动词-名词对构成的有向无环图的最短距离来表示的、主体服务间的相似度来实现。显然,它的服务表示能力是十分有限的。

卡耐基梅隆大学的 Sycara 等人<sup>[19]</sup>采用 LARKS 语言来描述主体服务,并且利用了语义距离的机制来实现近似服务匹配,提供了多种匹配策略,考虑了服务质量与服务效率的平衡;整个匹配过程使用了 5 种筛选方法,即上下文匹配、摘要文件(Profile)的比较、相似度匹配、基调(Signature)匹配和语

义匹配。不同程度的匹配可以利用这些筛选方法的不同组合,而且筛选方法的使用由用户或者请求者主体来决定。但是,由于语义距离的建立工作量大,主观因素和不确定性因素很重,因而它们的服务匹配算法的实用性和可靠性都有一定的局限性<sup>[33]</sup>。该研究小组在主体服务匹配研究基础上,还研制了一个主体服务匹配系统——“A-Match”<sup>[40]</sup>,用于动态判别主体的进入和离开系统。“A-Match”提供了基于 Web 接口的匹配器,用于帮助用户找到能提供服务的主体。匹配器由它们所提供的输入和它们返回的输出来表示,同时当服务提供失败时能提供恢复功能。

Lu Hongen 等人<sup>[41]</sup>在 Wickler 等人提出的主体能力描述语言 CDL 基础上,增加了 Privacy 和 Quality 两个属性说明,提出了基于本体的主体服务描述语言 ACDL,并给出了相应的服务匹配算法<sup>[41]</sup>。同时,为了形成主体间的协同,将主体服务匹配和协同综合考虑,提出了多种策略的灵活、语义主体服务匹配<sup>[42]</sup>。作者将主体服务间的关系定义为 5 种类型:等价服务( $S_1 = S_2$ )、子服务( $S_1 \subset S_2$ )、可替代服务( $S_1 \leftrightarrow S_2$ )、部分可替代服务( $S_1 \cap S_2 \neq \emptyset$ )和互逆服务( $\exists S = (S_1 \cup S_2) \text{ AND } (S_1 \cap S_2) = \emptyset$ ,则是  $S_1$  和  $S_2$  是  $S$  的互逆服务)。为了适应主体服务请求者的不同需求,提出 5 种匹配策略,即类型匹配、约束匹配、精确匹配、部分匹配和私有匹配。文献<sup>[26,27]</sup>在提出的可能性 Petri 网主体服务描述语言 PPN-ASDL 基础上,实现了主体服务和请求主体间的近语义松弛匹配,使用可能性和必要性程度来表示主体服务,能为请求主体提供特定服务的信用级别,取得了较好的匹配效果。

国内中科院的蒋运承等人对主体服务匹配进行了深入研究<sup>[11,29,33,35,36,43,44]</sup>。其中,文献<sup>[29]</sup>研究了基于 SDLSIN 主体描述语言来实现主体的动态匹配,分别给出了基于语法的近似服务匹配、基于语义的近似服务匹配、精确服务匹配(利用术语本体推理和约束推理)以及插入服务匹配算法,这些算法相对灵活,比较适合开放、动态系统服务匹配的要求。文献<sup>[33]</sup>利用描述逻辑的思想来研究服务匹配问题,将描述逻辑有效的推理功能,特别是对概念包含关系的有效自动推理,与多主体系统服务推理紧密结合起来。采用描述逻辑描述服务概念进而实现概念的自动分层(即判断概念间包含关系),提出了基于描述逻辑的主体服务匹配算法。该方法是基于语义的服务匹配,利用服务分层机制实现了有效和高效的主体服务匹配,弥补了基于语义距离进行服务匹配的不足。

胡军等人<sup>[13,31]</sup>提出服务语义相容度的概念,通过计算概念的相容度来定义服务语义的相容度,实现基于语义的服务匹配。该方法直接利用领域本体论中概念的分类体系,根据概念的上下位关系计算出概念的相容度,比手工建立的术语间的语义距离而得出的术语相似度的方法更快捷。与文献<sup>[33]</sup>提出的基于描述逻辑方法相比,该算法采用 DCL 已包含描述逻辑的描述能力,通过对概念实例的约束描述出服务的约束,为服务协商提供了更好的支持。

文献<sup>[34]</sup>和<sup>[35]</sup>针对上述这些匹配算法没有考虑服务代价、时间、可靠性和服务质量等非功能属性的影响等问题,分别提出相应的主体服务匹配算法。其中,Zhang 等人<sup>[34]</sup>提出了跟踪记录(Track Records)的概念,利用跟踪记录来判断多个主体中哪个主体是用户(即服务请求主体)最满意的,即匹配算法能根据完成类似任务的历史记录来选择服务,而不是随机选择。但是,该算法的跟踪记录的值过于主观,因为它的值完全由用户给出,而实际中不能排除用户的主观性和恶意

性的存在;另外,他的跟踪记录模型过于简单,即用户得到服务结果后,对该服务结果给出非常满意、满意、...、非常不满意等7种选择中的一种选择作为这次服务的跟踪记录值,而不能用来作为准确判断服务好坏的标准<sup>[35]</sup>。文献[35]提出一个服务质量(QoS)模型来客观反映主体服务非功能属性的特征,研究了该QoS模型上各质量标准所对应的初始化方法、计算和评价方法以及QoS模型的总体评价方法,并在QoS模型的基础上给出了一种新的主体服务匹配算法。但该匹配算法是语法层的服务匹配,无法表达出主体服务间的语义相关性并实现基于语义的服务匹配。

除此之外,其他一些主体服务匹配还包括模糊匹配<sup>[43]</sup>和快速匹配<sup>[44]</sup>。其中,文献[43]考虑到主体服务匹配大都是在精确服务描述条件下进行的,即服务描述中不能含有模糊或不确定描述的情况,研究了在模糊或不确定服务描述条件下的主体服务匹配问题。作者在模糊服务描述的基础上,根据模糊集理论,提出了4种模糊匹配算法:基于语法的近似模糊匹配算法、基于语义的近似模糊匹配算法、等价模糊匹配算法和插入模糊匹配算法。文献[44]分析现有服务匹配算法效率不高的一个主要原因是没有对中间主体上所注册的服务进行合理组织,即中间主体将服务请求与它目录实体中所有注册的服务顺序地、一个一个地进行匹配判断,因此提出一种基于本体的快速主体服务匹配算法。该算法对中间主体上注册的服务根据服务本体进行合理的分层组织,因而当中间主体进行服务匹配时,它可以在组织后所注册的服务上进行快速匹配,从而提高服务匹配的效率和匹配质量。

**结束语** 随着自主计算技术研究的不断深入,以主体充当自主单元,研究基于主体的自主计算已成为热点。其中,主体服务描述语言和主体服务匹配算法是利用主体和多主体系统为用户提供各种有效和高效的的关键。本文详细综述了主体服务描述语言和主体服务匹配算法的国内外研究成果,为研究人员提供参考。然而,自主计算虽描述了美好的蓝图,完全实现却不是一蹴而就的。在自主单元自配置过程中,有关服务能力描述和服务能力匹配的研究还在继续和深入。未来的研究方向包括:进一步提高主体服务的描述能力、主体服务匹配算法的效率和匹配质量;研究如何在服务描述精度和匹配效率之间取得更好的折衷;研究异构条件下的服务匹配、基于服务质量等非功能属性的服务匹配以及主体服务模糊匹配等。

## 参 考 文 献

[1] Jeffrey O K, David M C. The Vision of Autonomic Computing [J]. Computer, 2003, 35(1): 41-59

[2] Genesereth M R, Ketchpe S. Software Agents [J]. Communications of the ACM, 1994, 37(7): 48-53

[3] Wooldridge M, Jennings N R. Intelligent Agents: Theory and Practice [J]. The Knowledge Engineering Review, 1995, 10(2): 115-152

[4] Padgham L, Winikoff M. Prometheus: a methodology for developing intelligent agents [C]// Proceedings of the First International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems; part 1. Bologna, Italy, 2002

[5] Ferber J. Multi-agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence [M]. Addison Wesley, 1999

[6] DeLoach S, Wood M, Sparkman C H. Multiagent systems engineering [J]. International Journal of Software Engineering and

Knowledge Engineering, 2001, 11(3): 231-258

[7] 史忠植. 智能主体及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000

[8] Gerald T, David M C, William E, et al. A Multi-agent Systems Approach to Autonomic Computing [C]// Proceedings of AAMAS'04. New York, USA, 2004: 464-471

[9] Tom D W, Tom H. Towards Autonomic Computing: Agent-Based Modeling, Dynamical Systems Analysis, and Decentralized Control [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Informatics, 2003: 470-479

[10] Paolo B, Anna P, Paolo G, et al. An Agent-oriented Software Development Methodology [J]. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 2004, 8(3): 203-236

[11] 张海俊. 基于主体的自主计算研究 [D]. 博士论文. 北京: 中科院, 2005

[12] 廖备水. 基于PDC-Agent的面向服务的自治计算研究 [D]. 博士论文. 浙江大学, 2006

[13] 胡军. 面向自治计算的基于政策的多agent协同体系研究 [D]. 博士论文. 浙江大学, 2006

[14] Gonzalez C J, Trastour D, Bartolini C. Description Logics for Matchmaking of Services [C]// Proceedings of Workshop on Applications of Description Logics. Vienna, Austria, 2001: 74-85

[15] Wickler G J. Using expressive and flexible action representations to reason about capabilities for intelligent agent cooperation [D]. Edinburgh, UK; University of Edinburgh, 1999

[16] Labrou Y, Finin T A. Proposal for a new KQML specification. Draft; University of Maryland Baltimore County, 1996. <http://www.cs.umbc.edu>

[17] Arisha K, Kraus S, Ozcan F, et al. IMPACT: the interactive Maryland platform for agents collaborating together [J]. IEEE Intelligent Systems, 1999, 14 (2): 64-72

[18] Robotics Institute, 2007. <http://www.ri.cmu.edu/>

[19] Sycara K, Widoff S, Klusch M, et al. LARKS: dynamic match-making among heterogenous software agents in cyberspace [J]. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 2002, 5 (2): 173-203

[20] Klusch M, Sycara K. Brokering and Matchmaking for Coordination of Agent Societies: A Survey [M]// Omicini A, et al. eds. Coordination of Internet Agents. Springer, 2001

[21] Sycara K, Lu J, Klusch M, et al. Dynamic Service Matchmaking Among Agents in Open Information Environments [J]. Journal ACM SIGMOD Record, Special Issue on Semantic Interoperability in Global Information Systems, 1999

[22] Sycara K, Lu J, Klusch M, et al. Matchmaking Among Heterogeneous Agents in the Internet [C]// Proceedings of AAAI Spring Symposium on Intelligent Agents in Cyberspace. Stanford, USA, 1999

[23] Sycara K, Giampapa J A, Langley B K, et al. The RETSINA MAS, a Case Study [C]// Proceedings of Software Engineering for Large-Scale Multi-Agent Systems: Research Issues and Practical Applications. LNCS 2603. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2003: 232-250

[24] Sycara K, Lu J, Klusch M. Interoperability among heterogeneous software agents on the Internet [R]. Technical Report CMU-RI-TR-98-22. PA: Carnegie Mellon University, 1998

[25] Lee J, Wu C L, Shin J L, et al. A Possibilistic Petri-Nets-based Service Discovery [C]// Proceeding of IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control. Taipei, Taiwan, 2004, 1: 670-675

- Description Logics. *Studia Logica*, 2001, 69: 5-40
- [6] Haarslev V, Lutz C, Muoller R. A description logic with concrete domains and a role-forming predicate operator. *Journal of Logic and Computation*, 1999, 9: 351-384
- [7] Kaplunova A, Haarslev V, Möller R. Adding ternary complex roles to ALCRP(D) // *Proceedings of the International Workshop on Description Logics (DL2002)*. Toulouse, France, 2002: 45-52
- [8] Wessel M, Haarslev V, Möller R. ALCRA-ALC with Role Axioms // *Proceedings of the International Workshop in Description Logics 2000 (DL2000)*. Aachen, Germany, 2000
- [9] Wessel M. Some Practical Issues in Building a Hybrid Deductive Geographic Information System with a DL-Component // *Proceedings of the 10th International Workshop on Knowledge Representation meets Databases 2003 (KRDB 2003)*. Hamburg, Germany, 2003
- [10] Lutz C, Milicic M. A Tableau Algorithm for Description Logics with Concrete Domains and General TBoxes. *Journal of Automated Reasoning*, 2007
- [11] Motik B, Maedche A, Volz R. A Conceptual Modeling Approach for Semantic-Driven Enterprise Applications // Meersman R, Tari Z, et al, Eds. *Proceedings CoopIS/DOA/ODBASE*. Springer-Verlag, LNCS 2519. 2002: 1082-1099
- [12] Jarrar M, Demey J, Meersman R. On Using Conceptual Modeling for Ontology Engineering // *Journal on Data Semantics*, Spacapietra S. Ed. Springer, LNCS 2800. 2003: 185-207
- [13] Zhou Q, Fikes R. A Reusable Time Ontology. Technical Report, KSL-00-01. Knowledge Systems Laboratory, Stanford University, 2000
- [14] Córcoles J E, García-Consuegra J, Peralta J, et al. A spatio-temporal query language for a data model based on XML // 6th EC-GI & GIS Workshop. Lyon, France, 2000
- [15] Grenon P. The spatio-temporal ontology of reality and its formalization // *AAAI Spring Symposium on Foundations and Applications of Spatio-Temporal Reasoning (FASTR)*. 2003
- [16] Bittner T, Smith B. Granular spatio-temporal ontologies // *AAAI Spring Symposium on Foundations and Applications of Spatio-Temporal Reasoning (FASTR)*. 2003
- [17] 黄茂军. 地理本体的形式化表达机制及其在地图服务中的应用研究. 博士学位论文. 武汉大学, 2005
- [18] 景东升. 基于本体的地理空间信息语义表达和服务研究. 博士学位论文. 中国科学院研究生院, 2005
- [19] Uitermark H T, van Oosterom P J M, Mars N J I, et al. Ontology-based integration of topographic data sets. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2005, 7: 97-106
- [20] Fu F, Jones C B, Abdelmoty A I. Building a Geographical Ontology for Intelligent Spatial Search on the Web // *Proceedings of IASTED International Conference on Databases and Applications (DBA2005)*. 2005
- [21] Na Kwan-Sang, Kong Hyunjang, Cho Miyoung. Multimedia Information Retrieval Based on Spatiotemporal Relationships Using Description Logics for the Semantic Web. *International Journal of Intelligent Systems*, 2006, 21: 679-692
- [22] Kokou Yétongnon, Seksun Suwanmanee, Djamel Benslimane, et al. A web-centric semantic mediation approach for spatial information systems. *Journal of Visual Languages and Computing & Computing*, 2006, 17: 1-24
- [23] Lutz M, Klien E. Ontology-based retrieval of geographic information. *International Journal of Geographical Information Science*, 2006, 20(3): 233-260

(上接第 4 页)

- [26] Lee J, Liu K F R, Wang Y C, et al. Possibilistic Petri nets as a basis for agent service description language [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2004, 144(1): 105-126
- [27] Lee J, Liu F K R, Chiang W L. Modeling uncertainty reasoning with possibilistic Petri nets [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man Cybernetics: Part B*, 2003, 33(2): 214-224
- [28] 赵龙文, 候义斌. 合作 agent 的能力描述 [J]. *小型微型计算机系统*, 2003, 24(2): 220-224
- [29] 蒋运承, 张海俊, 董明楷, 等. 多主体系统中的动态服务匹配 [J]. *电子学报*, 2004, 32(3): 457-461
- [30] Baader F, Calvanese D, McGuinness D, et al. *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications* [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2002
- [31] 胡军, 高济, 李长云. 多主体系统中基于本体论的服务相容匹配机制 [J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2006, 18(5): 694-701
- [32] Christensen E, Curbera F, Meredith G, et al. *Web Services Description Language (WSDL) 1.1*, 2007. <http://www.w3.org/TR/wsdl>
- [33] 史忠植, 蒋运承, 张海俊, 等. 基于描述逻辑的主体服务匹配 [J]. *计算机学报*, 2004, 27(5): 625-635
- [34] Zhang Z L, Zhang C Q. An improvement to matchmaking algorithms for middle agents [C] // *Proceedings of the First International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*. New York, USA: ACM Press, 2002: 1340-1347
- [35] 蒋运承, 史忠植. QoS 驱动的主体服务匹配 [J]. *小型微型计算机系统*, 2005, 26(4): 687-692
- [36] 蒋运承, 王驹. 多主体系统中的模糊匹配 [J]. *智能系统学报*, 2006, 1(1): 79-83
- [37] Singh N. A Common Lis PAPI and Facilitator for ABSI [R]. Technical Report; Report-Logic-93-4. USA: Computer Science Department, Stanford University, 1993
- [38] Kuokka D, Harrada L. On using KQML for matchmaking [C] // *Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems, ICMAS95*. Cambridge, MA: MIT Press, 1995: 239-245
- [39] Bayardo R J, Bohrer W, Brice R, et al. InfoSleuth: Agent-based Semantic Integration of Information in Open and Dynamic Environments [C] // Huhns M N, Singh M P, eds. *Readings in Agents*. St Louis: Morgan Kaufmann Press, 1998: 205-216
- [40] Paolucci M, Niu Z D, Sycara K, et al. Matchmaking to Support Intelligent Agents for Portfolio Management [EB/OL]. <http://www.cs.cmu.edu/softagents/a-match/>, 2007
- [41] Lu H E. Agent Services Description and Matching [C] // *Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications*. Nevada, USA, 2003: 1040-1048
- [42] Lu H E. Agent Services Matchmaking for Cooperation [C] // *Proceedings of the 2003 International Conference on Cyberworlds*. 2003: 274-278
- [43] 蒋运承, 史忠植. 一种基于本体的主体服务快速匹配算法 [J]. *计算机工程*, 2004, 30(20): 28-29
- [44] 蒋运承. 基于主体的智能 Web 中的服务研究 [D]. 博士论文. 北京: 中科院, 2004