

知识网格环境下基于 TMs 的协同认知^{*})

刘茜萍¹ 襄万春¹ 蔡士杰¹ WANG Jie² 孙娟¹

(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京 210093)¹

(南京大学计算机科学与技术系 南京 210093)¹

(Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, CA 94305, USA)²

摘要 协同认知,形式上表现为问题解决环境下拥有各自知识的实体,根据一定的学习规则在个体认知的基础上,协同完成某项认知任务。协同认知的参与者可能处于不同地点,因而分布式环境下的知识共享显得尤为重要。本文通过对网格环境下 Topic Maps (TMs)这一知识表示手段的应用扩展,对网格环境下的知识表示和知识传播进行了研究,提出了有别于传统网络查询的查询机制。在对协同认知的元学习及群学习进行分析与定义的基础上,将机器处理和心智学习有机结合,构造了一个面向知识网格环境的协同认知学习机制,并相应地给出了一个基于 TMs 的认知实例。

关键词 知识网格, TMs, 协同认知, 元学习, 群学习

TMs-Based Cooperative Cognition on Knowledge Grid

LIU Xi-Ping¹ DOU Wan-Chun¹ CAI Shi-Jie¹ WANG Jie² SUN Juan¹

(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093)¹

(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University, Nanjing 210093)¹

(Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, CA 94305, USA)²

Abstract Cooperative cognition is a process to implement certain cognition task. Generally, it's developed under problem solving environment (PSE) based on individual cognition according to individual knowledge piloted by some learning principles. As the individual cognition task may be executed at different place, distributed knowledge sharing is important for promoting cooperative cognition. By expanding the application of knowledge representation technology of topic maps (TMs), with an improved Web query mechanism, the knowledge representation and propagation are discussed on knowledge grid. By taking into account of the machine processing and mental processing, the meta-learning and group-learning is defined and the learning mechanism is researched. Accordingly, a learning architecture is explored for supporting cooperative cognition on knowledge grid. Furthermore, a case of the cooperative cognition is discussed based on our research. At last, the conclusions are presented.

Keywords Cooperative cognition, Knowledge grid, Topic maps (TMs), Meta-learning, Group-learning

1 引言

一般而言,协同是多方进行的复杂问题解决过程中,对个体活动之间需要协同方参与的交互行为进行管理的过程,是促进复杂问题有效解决的必要手段^[1]。面向复杂问题解决过程的协同认知,从形式上表现为问题解决环境下拥有各自知识的实体,根据一定的学习规则在实现个体局部认知的基础上,协同完成某项认知任务。协同认知的参与者可能处于不同地点,因而参与者之间进行有效高质的相互通信,以保证分布式环境下的知识共享显得尤为重要。随着网络环境的日益发展,来自不同地方的人彼此之间已经能够进行一定程度的交流和信息交换,但这仍与理想要求相距很远。我们不仅需要信息交换,更希望得到直接的知识启发与知识交流。尽管某些知识表示技术可在一定程度上对分布式的知识进行表示和共享,如 RDF 等^[2],然而目前网络用户仍然十分缺乏存储、管理和共享分布在网络上的知识的有效手段^[3]。

作为下一代的网络,网格能使分布的计算资源被共享、管理、协调和控制,这些资源可以是机器、网络、数据、任何类型的设备。网格的主旨是任何兼容设备可在任何地方接入网格获取服务,无需考虑场所的限制,就如同插头接入插座获取电力一样方便地获得网格上的各种资源^[4,5]。目前出现了适用于不同应用领域的网格技术,其中知识网格受到了越来越多的关注。诸葛海认为知识网格是一个有助于活动主体有效地提取、发布、共享和管理知识资源,进而通过提供知识服务以支持知识创新、协同工作、问题解决和辅助决策的一个智能互连环境^[5]。这样,网络上的知识资源可以当作整个网络社会的一般知识资产得到迅速的积聚和发展。由于知识网格能够以一种有效的方式提供全球分布的知识资源的共享^[6],正好满足了协同认知过程中的知识交流需要,因而协同认知是非常适合在知识网格环境下进行的。

知识网格环境下的协同认知是在参与者彼此能进行有效知识交互的前提下展开的。有效的知识表示是知识交互的基

^{*} 本文受国家自然科学基金资助项目 60303025、江苏省基础研究计划(创新人才)BK2004411 项目联合资助。刘茜萍 博士在读;襄万春 副教授;蔡士杰 教授;Wang Jie 副教授;孙娟 硕士在读。

础,客观上它需要适当的知识表示技术予以实现,而基于特定知识表示技术的知识传播则是知识交互的关键。认知过程本身是协同认知的主体,其具体实现依赖于良好的学习机制。因而,研究知识网格环境下的协同认知,必须解决好知识表示和传播,以及学习机制的问题。本文第2节初步探讨了协同认知的若干关键技术;第3节介绍了 TMs 概念并对网格环境下的 TMs 做了一定扩展,在此基础上构造了一个协同认知模型,并研究了支撑认知过程的学习机制;第4节分析了一个具体的应用实例;最后对全文进行了总结并提出了下一阶段的研究工作。

2 认知过程

定义1 从根本上说,认知过程是认知个体基于已有知识和过去经验,应用自身掌握的学习规则,针对复杂问题的解决而进行的学习过程。下面通称执行认知过程的个体为学习者。

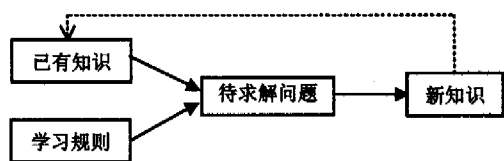


图1 对应定义1的认知模型

认知过程可以形式化地描述为图1。其中,待解决问题是学习的背景,已有知识是学习的基础,学习规则则体现了学习者的认知能力,而产生的新知识即是对应的认知结果。这里的新知识不单是指新生的知识,还蕴涵了原有的知识,即为更新后的知识。由于学习是渐进的、螺旋上升的发展过程,元学习也是往复发展的,因而产生的新知识还可作为已有知识继续进行更深入的学习。多个与知识网格相连的参与者共同执行某项认知任务时,即为知识网格环境下的协同认知。

协同认知有两种形式:一种是单个学习者应用自己以及他人的知识独立完成的认知。这里,非学习者参与协作的方式只是向学习者提供知识。另一种是多个学习者应用自己以及他人的知识共同完成一项认知任务。这里,每个学习者通过提供知识以及个体的局部认知结果参与协作,而非学习者仅通过提供已有知识参与协作。第二种形式下,各学习者之间建立良好的协作接口,以协调各学习者的局部认知结果是非常重要的环节。通过协同,各学习者可以通过协同的最终结果与自身认知结果的对比,对自己的认知过程进行内省,改善原有的学习规则,进而实现自我认知能力的提高。根据这两种形式,我们将知识网格环境下的协同认知分为元学习和群学习两类。

定义2 对某一学习者来说,元学习是指该学习者应用自身持有的学习规则,对其从知识网格中所能获取的知识独立地进行处理,以产生新知识的过程。

定义3 群学习由多个元学习过程组成,但并非多个元学习过程的简单叠加。在各元学习独立完成的基础上,群学习需要应用协同认知接口协调各学习者的独立认知结果,包括元学习结果在参与协同认知者中的传播、评价、改进等等,并最终获得一个全局有效的协同认知结果。

知识网格环境下的协同认知主要涉及3个关键技术:知识表示、知识传播和学习机制。所谓知识表示即将已有的知识用某种形式有效地表示出来,这种形式最好是机器可识别、

理解和操作的。知识传播指的是每个参与者通过请求,从其它参与者处获取知识,同时也通过回应其它参与者的请求来向其提供自己所拥有知识的过程。学习机制则需解决如何对已有知识应用一定的规则来获取新的知识。

目前,用来表示知识的技术很多,如语义网 SN、资源定义框架 RDF、概念图 CG、主题地图 TMs 等等^[2,7-9]。尽管各项技术在知识表示的方法上各有不同,不过大多数表示方法都倾向于将数据连接成图的形式来表示各数据之间的关系。它们不是盲目地建造信息的刚性结构,而是提供柔性方式以导航和获取存在于分离的数据资源中的信息^[10]。TMs 是用以描述知识结构并将其与信息资源相联系的 ISO 标准^[11],它能在任何类型的资源上建立有价值的信息网络^[12]。TMs 可以方便地将某一资源提供的知识转换成在别处也可使用的形式,以支持异构系统间的知识共享^[10]。资源层和提取出的知识层之间的分离使得 TMs 的性能比语义网更胜一筹。而 TMs 可由 XTM (XML Topic Maps) 实现,可用于一般的网络环境^[7,8],这一点较概念图技术更为实用。此外,TMs 能表示任意数目的事物之间的联系,较 RDF 技术更容易表示事物间的复杂关系^[2]。由于 TMs 在网格环境下的知识表示和管理方面拥有众多的优势,因此我们采用 TMs 来完成协同认知中的知识表示。而今也出现了许多学习,认知活动的研究是以 TMs 知识表示为基础进行的,诸如电子课程学习^[13]、协作知识重用^[14]等等。

针对现有知识,应用特定的学习规则进而获得新知识的学习过程有两种实现方法:一是由机器自动执行,二是由人脑执行。第一种方式涉及机器理解和推理,这是与人工智能相关的问题,其处理能力有赖于人工智能中各项技术的发展。在较好的知识表示方法下,机器理解和推理能够更有效地进行,然而目前还没有任何一种表示方法能使得机器理解和推理具有与人脑一样强大的处理能力。但是有些认知过程辅以机器处理,在认知质量与认知效率方面更为有效。因而,在以可视的、易理解的形式表示知识的 TMs 技术支持下,我们将机器和人脑两种认知方式结合起来,由机器认知完成 TMs 的合并和简单的学习推理,并基于机器处理的结果由人脑进行深层次的抽象认知,以获得最佳的认知效率和效果。

3 知识网格环境下基于 TMs 的协同认知

3.1 知识表示

TMs 提供了一个通用的管理框架,该框架对互联的信息对象集合进行有效的管理,这些信息对象在 TMs 中可以表示为主题(Topic)的形式^[10]。主题是 TMs 中最基本的概念,它可以是实体、概念、本体等我们所关心的任何事物。不管该事物是否存在,是否有什么特殊的特征,都可以用主题的概念进行表征或描述^[11]。主题有3种特性:name, occurrence, association, 本文采取“主题名”、“主题链接”以及“关联”的译法。

每个主题都有多个基本名,这些基本名都各自对应着名变量,任何在相同作用域内拥有相同基本名的主题都意味着指示了同一个事物。一个主题可与一个或多个主题链接相连,主题链接指的是与主题相关的信息资源,它可以以任意形式表现,如关于特定主题的专论、描述主题的一张图片或者一段视频,对主题的解释等等。这些资源是跟主题自身相连的,也就是说任何引用该主题的人都能自动获得使用主题链接以获取主题的更多信息的权限。主题和主题链接是两个分离的层。由于信息资源和主题地图的分离,相同的主题地图可以

构架在不同的信息池之上,同时不同的主题地图也可以构架在相同的信息池之上。这样,分离性提供了不同发布者相互交换 TMs 以及合并一个或多个 TMs 的可行性。一个主题关联断言了两个或更多主题之间的联系,其中每个参与关联的主题都扮演着关联中的一个角色,并且主题间关联的数目并没有严格的限制。主题、主题链接、关联等都有各自的类型,这更大大增强了主题地图的表达能力^[2,7,11]。图 2 展示了一个简单的主题地图,其中不同的形状代表着不同的类型。

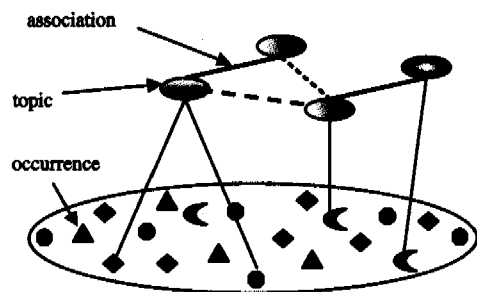


图 2 主题地图示例

主题特性的分配总是在特定的上下文中进行的,该处的上下文不一定显式分布。TMs 认为一个主题任一特性的分配都是在一定限制下才有效,分配的有效性限制即为主题的作用域。如果相同作用域下两个 TMs 含有指示相同事物的主题,则可以合并。合并后,会产生一个新的主题,拥有原有主题的特性之外,新的主题地图将包含原有主题地图的所有信息。如果一张主题地图中,每个事物仅有一个主题与之对应,不能再进行合并或副本删除操作,则被称作一致的主题地图。

在网格环境下,可以对一般的 TMs 模型进行一些扩展。TMs 中的主题链接不仅可以是与主题相关的信息资源,还可以是该主题所拥有的计算资源。通过 TMs,我们可以用主题指示任何对象并用 TMs 表示与该对象相关的知识。主题的主题链接特性表明了主题所拥有的信息资源以及计算资源,其中信息资源可以详细描述相关主题,而计算资源可以被任何引用该主题的实体使用。这样,资源的全面共享体现了网格的主旨。主题间的关联可以表示多个主题间的任意联系。此外,通过主题、主题链接、关联的类型,以及作用域等相关技术,TMs 可以更完整地表示这个世界上存在的知识,它为知识构建出一个形式化的结构,以更容易全面地实现机器理解,并使得这些知识能直接应用于知识网格环境下的协同认知过程。

3.2 知识传播

在 TMs 中,知识的传播可以直接通过主题传播得以实现。当一个学习者试图从它处获取某些知识的时候,就通过一系列主题来表达特定的知识请求,这里的知识请求可以通过对主题的类型、名字、主题链接、关联等对象加上限制条件,以作为寻求适合知识的约束。当其它参与者收到主题请求时,会各自检查自己的主题地图中是否有学习者需要的相关主题。如果参与者的个人知识中蕴涵这样的主题,则将相应的主题及其特性以主题地图形式反馈给提出请求的学习者,这里的特性包括主题名、主题链接也即是主题拥有的信息资源和计算资源,以及该主题所参与的一切关联。

相比当前因特网上的信息传播,在知识网格环境下以

TMs 为基础的知识传播更为全面、人性化。在因特网上查询某个相关信息时,一般是通过输入关键词,使用搜索引擎搜索相关页面。搜索结果以超文本的形式展现,用户所看到的是大篇幅含有关键词的叙述性文字的堆叠,需要用户一一查看结果并对感兴趣的页面进行链接。而在基于 TMs 的知识网格环境下,用户可以通过对主题的类型及特性的描述进行查询,能够更加具体、详尽地表示用户对关键词的条件限制,以获得用户真正需要的、更准确的查询结果。例如,南京大学 bbs 网站又名小百合,若一人想查找该网站相关知识,却仅知道“百合”这一关键词,在传统检索中,他只有在关键词栏输入“百合”,这就可能得到若干并不相关的“百合花”的知识;然而在以 TMs 为基础的查询中,他还可通过对“百合”这一主题加上类型限制——网站,从而轻松获取其真实想要获得的知识。另外,查询到的知识以图形展现,使用户对该知识的构架一目了然,而且主题链接所指示的资源除了以任何类型表现的信息资源,还可以是主题所拥有的计算资源。这样,用户不仅可以访问与主题相关信息资源以对其进行深入研究,还获得了使用主题拥有的计算资源的权利,这一点是网格环境下所独具的特色。

3.3 元学习分析

知识网格环境下协同认知的参与者都有着各自的学习规则和表示其所拥有知识的主题地图。元学习,这一协同认知过程中的基本单元,需要学习者对所能访问的主题地图,亦即是所能获取的知识,应用其持有的规则,以获得新的知识,元学习所产生的新知识则以更新的主题地图表示。在基于已有知识进行认知的过程中,将会激发新知识的产生,从而实现知识的创新。

根据不同的理解和推理能力,基于 TMs 的元学习可分为机器学习过程和人脑学习过程两种。在机器处理阶段,执行的是合并以及简单的推理,其中合并包括多个主题地图的合并以及多个主题的集成,而简单推理则是指计算机根据预先定义的推理规则所能够处理的推理过程。经过机器处理后,主题地图变得一致,所有与同一主题相关的信息资源和计算资源都被自动收集到一起,这为人脑认知提供了良好的基础。在人脑处理阶段,由人脑执行认知过程并将认知过程中产生的新知识以主题形式表示出来。同时,人脑认知还可能对原有的主题地图结构进行重组,认知完成以后,将得到一张新的主题地图。经过人脑认知后,还需要对其结果调用机器处理过程,以使人脑认知的结果保持一致。由于人的认知是不断发展的,在对认知结果进行整理、重申的过程中,可能会引起新的认知需求,因而元学习是一个往复进行的过程。完整的元学习过程如图 3 所示,具体步骤如下:

(1)将初始知识集,亦即学习者所能访问的所有主题地图,合并为一张一致的主题地图,以作为元学习的初始知识,以 InitialK 表示;

(2)对初始知识执行人脑处理,并以 NewK 表示处理所获得的结果;

(3)对 NewK 执行机器处理,以获得一致的主题地图,以 ReNewK 表示;

(4)将 ReNewK 与 InitialK 比较。若相同,则停止学习并将 ReNewK 作为结果输出;若不同,则将 ReNewK 作为下一轮认知的初始知识返回(2),直至 ReNewK 与 InitialK 相等。

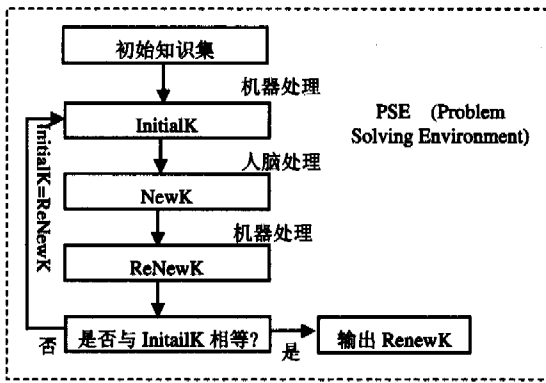


图3 基于 TMs 的元学习机制

3.4 知识网络环境下的协同认知

知识网络环境下的群学习,是其中的多个参与者为了某个共同目标以利用知识网络上的知识进行协同认知的过程,其中的学习者各自分担部分认知任务。群学习的流程如图4所示,其中:

- (1)每个学习者向知识网络发送知识请求,请求以一系列主题表示;
- (2)每个参与者处理来自其他参与者的请求。如果满足要求,则向请求者提供符合的结果。返回的结果以主题地图形式表示,包括相关主题及其特性;
- (3)每个提交请求的学习者利用自己以及他人反馈的知识各自执行元学习,并获得新的主题地图;
- (4)若学习者的认知无需与他人进行交互,则直接将元学习认知结果固定下来;若需交互,则通过知识网络提供的协作接口与他人协调认知结果,并最终将有价值的认知结果正式固定下来,同时改善自身学习规则,提高学习能力。

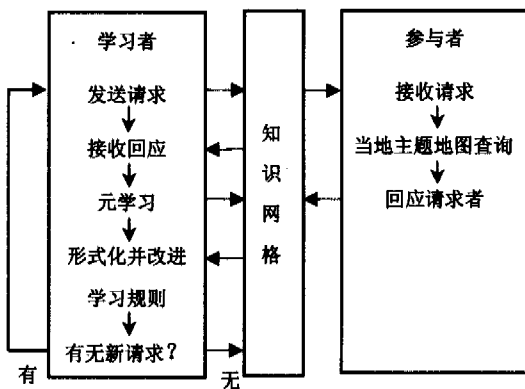


图4 基于 TMs 的群学习机制

4 实例分析

为了更好地理解知识网络环境下基于 TMs 的认知机理,下面结合一认知实例,进行具体的应用分析。该实例是一个简化的单一学习者的认知过程,即协作参与者只提供知识协作,无认知结果协作,并不涉及多个学习者之间的协调工作。

张某是一名刚毕业的大学生,他找了一份在南京的工作,但从小生活在北方的小张除了知道南京是江苏的省会之外,对南京知之甚少,于是他通过如下过程进行了对南京的一次简要认知活动:

(1)向知识网络发出以“南京”为名的主题请求,并以“城市”为类型条件,以免返回诸如南京商业银行、南京十二小等

无关知识,寻求有关南京这座城市的各方知识,以加深有关南京的认知。

(2)知识网络的参与者收到请求后,各自检索是否有相关主题。若干满足请求的参与者将相关的主题地图发给小张,包括南京的历史、旅游景点、商务、饮食等各方面知识。

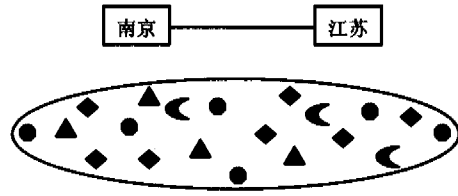


图5 小张的原始主题地图

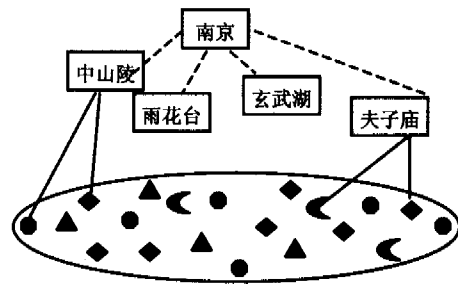


图6 从知识网络中搜索到的南京旅游景点主题地图

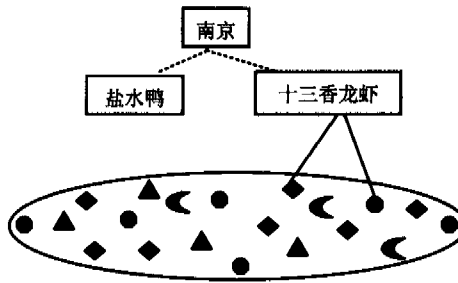


图7 从知识网络中搜索到的南京饮食主题地图

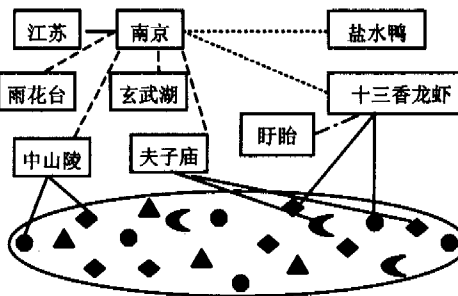


图8 小张的认知结果

(3)小张对与旅游景点以及饮食相关的主题地图给予了特别关注。图5是小张原有相关知识的主题地图表示,其中的实线表示南京是江苏省会的关联;图6是从知识网络上获取的有关南京旅游景点的主题地图,其中的关联表示各景点位于南京;图7则是饮食方面的主题地图,其中的关联表示是南京的名吃。小张就通过对这三张主题地图的处理开始了对南京的进一步的认知活动。经过机器处理和人脑认知后,小张获得了如图8所示的一张主题地图,代表着他目前对南京这座城市的认知。其中的“盱眙”是小张在访问了十三香龙虾所拥有的一个信息资源,即其产地介绍后所产生的认知,该处

的关联表示盱眙是十三香龙虾的原产地。

(4)该认知活动中,小张是单一学习者,无需与他人交互,进而图 8 即为其对南京这次认知的最终结果。当然,如果他还有更多的认知需求,可以再次向知识网格提出请求,对南京进行更进一步的了解。

其中部分主题、关联以及合并操作的 XTM 实现如下,其它的 TMs 相关实现均与此类似:

```
<! - 小张的主题地图中的“南京”主题 ->
<topic id="南京">
  <instanceOf>
    <topicRef xlink:href="# city"/>
  </instanceOf>
  <baseName>
    <baseNameString>
      南京</baseNameString>
    </baseName>
  <occurrence>
    {resourceSet}
  </occurrence>
</topic>
<! - 图 6 中“中山陵位于南京”的关联 ->
<association>
  <instanceOf>
    <topicRef xlink:href="# is located in"/>
  </instanceOf>
  <member>
    <roleSpec>
      <topicRef xlink:href="# some place"/>
    </roleSpec>
    <topicRef xlink:href="# 南京"/>
  </member>
  <member>
    <roleSpec>
      <topicRef xlink:href="# scenery"/>
    </roleSpec>
    <topicRef xlink:href="# 中山陵"/>
  </member>
</association>
<! - 将图 6 与当前持有知识即图 5 合并 ->
<mergeMap xlink:href="# 图 6">
  <resourceRef xlink:href="# 图 6"/>
</mergeMap>
```

结束语 知识表示和传播对于知识网格环境下的协同认知至关重要。本文利用 TMs 技术这一知识表示的有效手段,对协同认知进行了深入的研究。基于网格的特点,提出了对 TMs 的扩展,使其不仅能提供对信息资源的访问,还能使引

用某主题的实体获得该主题所拥有计算资源的使用权。并根据 TMs 的特点提出了有别于传统信息查询的新型查询机制,使得用户能够更准确地得其所需。本文针对协同认知的不同形式,定义了元学习和群学习过程,将机器学习和人脑学习结合进行,以更好地完成认知,有效地引领了认知的顺利开展。后续研究中,我们拟将对网格环境下基于 TMs 知识表示的内容查询、认知过程中的学习机制、协同方式,以及通过主体自省以提高学习能力的具体实现做进一步的研究。此外,我们会试图将 TMs 模式应用到更多的网格引用中,特别是知识网格,尽管会伴随更多的挑战。

参考文献

- Hoc J M. Towards a cognitive approach to human-machine cooperation in dynamic situations. *Int J Human-Computer Studies*, 2001, 54:509~540
- Garshol L M. Living with TMs and RDF. <http://www.ontopia.net/topicmaps/materials/tmrdf.html>
- Hai Zhuge. A Knowledge grid model and platform for global knowledge sharing. In: *Expert systems with application*, Elsevier, 2002, 22:313~320
- Foster I. An anatomy of grid. *Intl J Supercomputer Applications*, 2001
- Hai Zhuge. Semantics, Resource and Grid. In: *Future generation computer systems*, Elsevier, 2004, 20:1~5
- Hai Zhuge. A knowledge flow model for peer-to-peer team knowledge sharing and management. In: *Expert systems with applications*, 2002, 23:23~30
- <http://www.topicmap.com>
- <http://www.topicmap.org/xtm/1.0>
- Sova J F. Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations. Brooks/Cole, 2000
- Power R. TMs for context management, July, 2003
- Pepper S. The TAO of TMs. <http://www.ontopia.net/topicmaps/materials/tmrdfoldaml.html>
- Hai Zhuge. Semantic Resource Exploitation with TMs
- Abel M H, Lenne D, Moulin C, et al. Using topic maps in an E-learning context. In: *ICWE2004, LNCS3140*, 2004. 581~582
- Chen Weiqin. Reuse of collaborative knowledge in discussion forums. *ITS2004, LNCS3220*, 2004. 800~802
- 窦万春. 知识网格环境下认知协作的工作流原理、集成方法与原型系统研究. 国家自然科学基金资助项目 60303025 申请书

(上接第 213 页)

表 2 实验结果

类型	数量	正确数	错误数	正确率
人名	92	71	21	77.2%
地点	630	412	218	65.4%
数字	878	509	369	58.0%
时间	422	320	102	75.8%
简称	88	72	16	81.8%
总计	2110	1384	726	65.6%

结论 本文实现了一个基于互连网的中文开放式自然语言问题自动回答的原形系统,利用命名实体识别、语义依存关系和案例规则模板实现答案抽取,对有明确答案的简单问题具有较高的正确率。今后我们将不断完善问题自动回答系统,进一步深化和细化命名实体识别、语义依存关系分析和案例规则模板。同时运用范例推理,建立知识库、规则库和过程库,提高答案抽取的正确率,使系统具有在线问题回答能力。

参考文献

- Brill E, Dumais S, Banko M. An analysis of the Ask-M3R Question-answering system. In: *Proc. of 2002 Conference on Empirical*

- Methods in Natural Language Processing*, 2002
- Chinchor N, Marsh E. MUC-7 Information Extraction Task Definition (version 5.1). In: *the Proceedings of MUC-7*, 1998
- Srihari R, LI Wei. Information Extraction Supported Question Answering. In: *the Proceedings of TREC-8*, 1999
- Vicedo, Luis J, Ferrández, Antonio. A Semantic approach to Question Answering systems. In: *the Proc. of TREC-9*, 2000
- Oh J H, Lee K-S, Chang D-S, Seo C W, Choi K-S. TREC-10 Experiments at KAIST: Batch Filtering and Question Answering. In: *the Proceedings of TREC-10*, 2001
- Bellot P, Crestan E, El-Bèze M, Gillard L, de Loupy C. Coupling Named Entity Recognition, Vector-Space Model and Knowledge Bases for TREC-11 Question Answering Track. In: *the Proceedings of TREC-11*, 2002
- CHANG Yi, XU Hongbo, BAI Shuo. TREC 2003 Question Answering Track at CAS-ICT. In: *the Proceedings of TREC-12*, 2003
- TAN Wei, CHEN Qunxiu, MA Shaoping. THUIR at TREC 2004, QA. In: *the Proceedings of TREC-13*, 2004
- LI Mingqin, LI Juanzi, WANG Zuoying, LU Dajin. A Statistical Model for Parsing Semantic Dependency Relations in a Chinese Sentence. *Chinese Journal of Computers*, 2004, 12(7)