

发展心理学与智能系统构造^{*}

Developmental Psychology and the Construction of Intelligent System

危 辉

(复旦大学计算机科学系 上海200433) (浙江大学计算机科学系/人工智能研究所 杭州310027)

Abstract A number of issues on cognitive development are researched in developmental psychology, that will be very beneficial for us to understand the essence of intelligence. In artificial intelligence giving our attention to the process of cognitive development namely is not to separate the knowledge and its acquisition process, and to study intelligence roundly while it is going to be simulated. To do so make us not only know the appearance of intelligence, but also know the inside mechanism of its working. This inspires us with a method to construct the artificial intelligent system developmentally.

Keywords Developmental psychology, Cognitive model, Artificial intelligence

一、知识与认知过程不可分割

在专家系统的构造时碰到两个难题:知识获取瓶颈和知识窄台阶,解决这两个问题的根本方法是通过机器学习来完善知识库,知识库是专家系统的核心,包括内容、结构和构造方法三个方面。在教育心理学看来,与学习相连的记忆过程是:将新的知识内化或组织到已有的知识结构中去,以便在将来的某一个时期可以利用或再现它,有时也将内化称为整合或同化。这个过程不是机械地储存,而是信息组合再加工。新学习的发生是在已有的知识结构的基础之上,即它们的意义应该是能以实质的(非字面上的)相关性同任何相应的知识结构形成联系;学习者的知识结构中已包含着新材料可以与之联系的,起固定作用的概念,称为锚概念(anchor idea)。现在的问题是知识库怎样通过机器学习构造起来,其中知识的依赖性就体现在构造过程中,具体说就是要为新的知识准备锚概念。

心理学对语义发展^[2]的研究清楚地表明了知识的依赖性,这种依赖性关系正好说明语义发展的进化性,例如尺寸描述概念的语义的一个发展次序是:大-小,长-短,高-矮,宽-窄,厚-薄,深-浅,等等。知识的依赖性问题也就是语义的依赖性和层次性问题,它反映的是语义体系建立的基础问题,即语义体系是建立在什么基础上和怎样建立的问题。知识的依赖性是和人的学习过程并存共生的,所以一个正常发展的人是不可能没有知识依赖性的,问题就是以人智能为原型的人造智能系统的构造过程不是一个认知发展过程,而是一个知识堆砌过程,是一个跳跃的非连续过程,所以发生知识脱节的可能性是很大的。

从根本上说我们现在讨论的“知识获取时考虑知识依赖性的问题”是人工智能的本质问题之一,即“Can we study cognition separately from learning?”,说得更直接些就是这样一个问题:智能系统所需的知识能和学习过程分开来研究吗?

通常,以专家系统为代表的、以知识为核心的智能系统是“再现智能”的系统,即它以一定量的、现成的知识为核心,至于通过怎样的手段获得这些知识,以及在获得它们的过程中

有什么样的潜在前提条件并不重要,只要有那么一堆够用的知识摆在那就行,智能系统设计者接下来关心的是选择与应用方式相匹配的知识表达方式。可见这样做的出发点是如何使所设计的系统更有用,而不探究所使用的模型在智能结构中能否符合整体性和一致性的要求,这是实用主义的做法。这种“就体现出某种智能的实际应用而模拟该种智能行为”的智能系统设计是带有问题针对性的,它不探究智能的本质,将智能的表现和获得智能的过程割裂开。当我们考察智能系统的灵活性、适应性、通用性和健壮性时,就能发现这种割裂的危害性。就解决某单个问题的方法而言,不能比较人的智能和算法智能之间的差别,甚至后者可能更快一些,但当把问题的范围扩大时算法智能就往往不能应付了,哪怕扩大仅是针对同一类问题的。原因在于算法智能仅是对人智能某一片段的模拟,有“断章取义”之嫌。文[5]所述“人智能的一个特点就是能从极不相同的粒度上观察和分析同一问题。……而计算机缺少描述不同粒度世界的手段”是目前智能系统设计中过分依赖形式化问题描述方法的结果。人复杂的智能是需要由简至繁的发展过程来实现的,这样才能有一个丰富的语义基础,有足够丰富的语义基础就能用问题的本来面目来表示它,避免不必要的符号转义,在纯语义推理的范畴中进行问题求解。

二、发展心理学的启示

发展心理学的研究主要涉及两个问题:一是有关心理发展原理或规律的一类理论问题,另一个是个体发展各年龄阶段的心理特征^[3]。其中与人工智能密切相关的是人的认知发展过程(Cognitive Development),它是指一个从婴儿、通过幼年、直到成年的时期里,智力的成熟过程,也可以说是思维(thought)和知识(knowledge)不断发展演化的过程。这方面的研究对于给心智(mind)一个科学的解释有重要意义,因为它能告诉我们关于心智的起源。对认知发展的研究,主要包括对知觉发展、空间认知发展、概念获取能力的发展、推理与问题求解能力的发展,以及语言能力的发展的研究。

当代的认知科学家纷纷致力于建立一个在逻辑上一致、心理上合理、生物上可行的所谓心智(mind)的模型。发展心

^{*} 本研究获得基础研究重大项目前期研究专项项目“信息和知识共享”的系统理论研究、复旦大学青年科学基金(项目批准号01-13)的资助。危辉 副教授,研究方向:人工智能,认知科学。

理学的研究不仅有助于建立这样一个模型的努力,同时也对模型进行约束,排斥那些与认知发展过程不符的假设。通过对认知发展的研究,有助于我们了解人的智能是如何获得的:可能是先天的(如躲避可能造成伤害的刺激的能力),也可能是通过经验学习的(如语言能力)。其揭示的是这样一个过程:一个具备正常神经系统的婴儿,除了条件反射外,一无所知,通过生理上的成熟和与社会环境交流,婴儿长成了一个智能健全的成人。作者经常使用这样一个比喻:认知发展就象培养晶体,首先需要知道什么样的晶核合适,再放到什么样浓度的溶液里,需要多高的温度,辅以恰到好处的冷凝过程,才能使晶核象滚雪球那样长大。人的知识的获得也是这样一个过程!也就是说,通过研究人认知的发展过程,知道哪些“元知识”、“元结构”、“元机制”对使人的认知结构能滚动式发展是至关重要的。由此可以获得一个从无知到有知的知识获取模型,这对人工智能具有极大的吸引力。一个现实的例子是自然语言理解系统和机器视觉系统,它们可以从人获取语言和知觉的研究中得到启发,尽管这样的启发,就目前来看,还是很零乱的。

研究认知发展的心理学家所面临的难题是:(1)婴儿和孩子知道些什么?他们如何表达他们所知道的(知识)?他们又是如何获得这些经验的?婴儿所具备的知识的最初状态是怎样的?(2)他们的智能如何随着成长过程而发展?(3)思维是如何在脑中被生物机制实现的?支持认知和认知行为变化的生物解释是怎样的?

解答上述这些问题的理论必须经得起以下四个问题的挑战:(1)如何更好地表示认知的组构,这是心智得以构造起来的途径;(2)经验和生理如何结合以构成心智发展的决定性因素;(3)如何将大脑的生长——在神经学水平上的发展和概念的增长——在行为水平上的发展联系起来;(4)如何更好地说明与年龄相关的认知能力和容量变化的本质、形式和波及程度。

为了建立一个认知发展的完整理论,可以通过假设展现此理论的认知结构这一方式来进行,通过认知结构来说明信息的加工过程。但它受到几个因素的制约:(1)逻辑限制,例如在量子力学层次来解释意识^[6]显然还需好几个中间逻辑层次的补充;(2)行为限制,对行为实验数据解释的过头和不足都会使人对此认知模型产生怀疑;(3)生物限制,认知发展是发生在由神经元组成的生物结构和组织上的,认知模型显然应该是对生理系统的抽象。以上的约束使得并非所有假设的理论模型都有意义。作者认为发展心理学和神经科学都是新兴的学科,所能提供的解释或是太抽象——如“认知发展的中心是记忆与学习”;或是太细微——如“突触的生长”。这些都还不足以用来作为设计计算模型的参考。我们需要知道:(1)神经系统的初始状态;(2)学习与记忆的神经机制;(3)心理功能发展的顺序性与制约关系;(4)影响心理功能发展的关键环境因素。它们为我们以学习为基础的计算机系统提供以下范型:(1)系统硬件结构;(2)计算机制;(3)功能模块的层次性与相互关系(流程);(4)学习样本集。

尽管回答上述问题要经过许多年的努力,但在已有的成果上仍然可以得到很具操作性的启示。以语言发展为例,语言发展的第一步是发音系统和听觉神经系统等生理机能的完善。在心理上,语言发展经历的第一个过程是语义系统的初步建立;然后是语法的获得,呈现一个语法语义同时发展的阶段;在语法技能成熟后,语义系统继续丰富。其中语义系统是第一位的,它依赖于各认知能力发展的综合,如知觉经验、问

题求解、注意机制等。语法的发展过程经过了单词阶段、双词阶段和后语法发展期^[7]。由于语义系统的建立与单词阶段、双词阶段以致于后语法发展阶段都有密不可分的“等价表征”关系;且语法和语义是共存的,所以语义和语法应当被同时建立于同一个语言模型中。语法应当被视为对语义系统进行的一个概率统计而得出的大致规律,因为许多不合语法规则的表达同样也是有效的,所以语法不是语言的首要特征。可以发现无论何种语言的语法,句法结构“主谓宾”(或某一形式的变种)都是其中最重要的规则,但它的获得是对大量的、存在于直接的知觉经验中的模式——“动作的施者+动作+动作的受者”——进行归纳的结果,也就是说句法结构是从“感知—运动”活动中分化出来的,这依赖于认知的发展。这种依赖性恰恰证明了构造智能系统时保持正确的历史观的重要性。所以第一步就以语法体系为蓝本来构造深层结构的自然语言理解算法是片面的,说它片面是因为它不能说明言语信息加工的实质过程。语言理解也是一个基于实例的系统,分词需要很多常识性知识,这些常识性知识的获取都是通过例句来获得的,所以进化式的学习算法是必需的。另外系统启动进行析句时不能考虑任何语法因素,而是纯粹按语义因素来进行的,而“语义规则”却不能象语法规则那样进行预先设置,所以要实现“句法—语义”分析一体化只能靠对不间断学习的依赖。和传统的寄希望于发现少量的、通用性强的规则来解决分词问题的方法不同,我们回避对一个词进行个别处理(对它的语义、语法和语用进行归纳学习),因为学习本来就是个性化的。基于少量规则的系统在实现上虽然对计算机的资源需求相对较少,但它们是不成功的。作者建议基于知觉过程来考虑分词模型,因为:若以知觉单位为节点,以直接映射为连接,构造一个有动力学特性的动态语义网^[8]作为语言的计算模型,超越传统语义网的表示功能,将学习、表示、计算集中于整个网上,那么知觉的表示和加工过程都可以在这个和脑神经系统动力学相容的系统上得到体现。它不但具备很好的对神经系统的暗喻,而且它可高度细粒度并行的特性使其能适合从大规模并行计算机到网络计算机群等不同的环境,其记忆与计算不分离的特征可看作是一种新的体系结构。

三、智能系统构造的发展观

在计算机科学中被广泛接受的形式语义方法在自然语言理解问题上最易引发疑问:该如何定义理解呢?或说到达什么样的知晓程度才堪称理解呢?Searle 从他的“汉语实验室”得出结论:处理符号而不赋予这些符号内涵不能实现理解。如果我们通过知识依赖性使所要解释的知识逐级和它的基础发生联系,一直传递到作为所有语义基础的直接知觉经验层,如此这样由抽象到直观的过程将提供一种根本不同于形式语义的直接语义方法。即使目前还不能实现对语义的直接表达,概念间依赖性的建立也为参照解释提供了更多的途径。有无建立起知识的依赖性对系统性能影响很大,认识到知识的依赖性意义如下:(1)将知识的概念化(knowledge conceptualization)与为概念提供语义基础(grounding concepts)分离的模式在表达和推理上有许多弊端^[1],通过依赖性建立的知识系统具备“语义基础”,能提供参照解释,可以较少地使用公理化手段;(2)在概念间建立起依赖性关系,就为采用比演绎更多的推理方式提供了条件,能优化推理;(3)有了依赖性可以引起继承等新的知识获取方式;(4)无依赖性,即使相关的知识在知识使用的操作上也是分立的,若有依赖性,则可以相连表

示;(5)提供锚点,降低每次知识获取的难度(跳跃度)。

事物是普遍联系和不断发展的,我们需要智能的系统观。从长远来看,对人工智能的基础学科—认知科学的研究才是问题的出路。例如,从发展心理学来看,人的认知发展过程是连续的,任何一个智能行为的发生都不是孤立的,不是可分离的,不能割断发展的前后联系性,就某一单个智能行为就事论事地进行模拟是很片面的,在人工智能问题上也应该有历史观。通过对关于 Nature 和 Nurture 问题的讨论,我们可以获得许多关于智能系统的模型构造设计和学习样本设计的极有价值的启发,所以应该给智能系统设计学习子系统,用一种发展的、进化的、循序渐进的观点来实现系统功能的进步^[4]。

传统的符号化人工智能采用的是“再现智能”的方法,设计的模型往往是对一种以某种形式表现、应用于某一局部领域的智能现象的模拟,对模型的认知意义并不刻意追求。这种指导思想对智能就事论事,缺乏对其本质的一个深刻洞察,没有将此智能现象作为人所有智能的一部分放在人的心智体系中进行全面系统地考察、放在认知发展全过程的前因后果序列中考察、放在无法回避的认知约束下进行考察。我们已经不满足于其中的形式推理,而转向实现更朴素和本源的基于语义的推理。要想根本性地提高人工智能系统的性能,实现向“解释智能”的转变就必须将人工智能放在认知科学这个交叉学科的背景下去修正,后者通过适当地使用还原和整合的策略说明高层次的智能现象如何突现。认知是包括知识获取、存储、回忆和使用的全部精神活动。认知的相关性就是认知结构在所加工信息的形态、加工流程、结构的组成、学习对结构的影响等方面的依赖关系。对这些相关性的研究对于知识获取、知识表示和知识应用的分阶段模型和联合模型的结构,以及构造过程研究具有重大意义。认知的相关性约束要求我们考虑智能的发生、发展和完善的过程,以不割裂的观点看待智

能行为的模拟,这就是智能模型构造的系统观点。通过对认知发展过程的研究使我们能更清楚、全面地看到智能的本质,而不仅仅是它的外表。认知相关性要求和系统的智能观是建立在统一的认知结构的基础之上,这个结构的基础和统一的体现是对信息的直接表达,这是一种对知觉信息的表达,是对语义的直接表达,它是心智的计算理论中心智表达和心智计算的核心,通过基于神经元网络的直接表达的实现能够找到整体主义和还原主义、天赋论和建构论的结合点。语言是最具代表性的智能行为,对个人言语的计算结构研究能最大限度的体现认知心理学对于言语的信息加工算法、生理心理学对言语加工模型的体系结构、计算神经科学对于这个加工结构的实现、发展心理学对计算模型的进化作用的影响。

参考文献

- 1 Kirsh D. Foundations of AI: the big issues. Artificial Intelligence, 1991, 47: 4~20
- 2 Collins W A, Kuczaj S A II. Developmental Psychology: childhood and adolescence, New York: Macmillan Publishing Company, 1991. 167~199
- 3 林崇德. 发展心理学. 北京:人民教育出版社, 1995. 10~11, 50~63
- 4 危辉. 智能脑机制的认知结构核心之元态——表象式语义网及其构造:[北京航空航天大学研究生院博士学位论文]. 1998
- 5 张钹, 张铃. 问题求解理论及其应用. 北京:清华大学出版社, 1990. 4~5
- 6 (美)威廉·卡尔文. 大脑如何思维. 杨雄里、梁培基译. 上海:上海科学技术出版社, 1996. 32~33
- 7 朱智贤. 儿童心理学(1993年版). 北京:人民教育出版社, 1993. 125~129, 158~167, 211~229
- 8 朱平, 危辉, 何新贵. 动态模糊语义网及其并行执行. 系统工程与电子技术, 1998, 20(6): 53~56

(上接第55页)

文章着重讨论了三个问题:如何判定两条知识之间是否存在联通?如何建立正确的联通?如何保证联通是有意义的?针对这些问题,我们主要是通过分析 CR-模型中关系的性质逐一解决的。对于第一个问题,我们提出了两个概念的最小上界和最大下界等概念,然后由命题3.1~命题3.4判定知识之间是否存在联通。对于后两个问题,先是提出知识泛化和特化,两条知识正是通过泛化或特化建立联通的。为了保证是正确的、有意义的联通,文章采用了如下的策略:给定 $S = C1RC2$, 设 $Dom(RC2) = \{C \in C | CRC2 \in S\}$, α 是从 $C1$ 到 T 的路径上节点的集合。如果有 $\alpha \subseteq Dom(RC2)$, 则对于 $C1$ 的任何上位概念 C , $S' = CRC2$ 是 S 的有意义泛化。如果 $\alpha \not\subseteq Dom(RC2)$, 则对于 $C \in Dom(RC2) \cap \alpha$, $S' = CRC2$ 是 S 的有意义的泛化;否则 $S' = CRC2$ 是 S 的无意义的泛化。

在知识联通中,我们认为还存在很多问题值得讨论。例如如何利用本体在概念之间建立联通,如何在不同的本体之间建立联通?如何建立一个合适的联通测度?对于概念联通,我们可以借鉴 MindNet 的加权语义路径等技巧。如果这些问题得到较好的解决,我们认为将对 ITS 和知识共享方面都是有意义的。

致谢 中国科学院计算技术研究所大规模知识处理课题

组的曹存根研究员对本文的工作给予了指导,博士生张春霞同学对本文的完成提出了许多有益的建议,在此一并表示感谢。

参考文献

- 1 Johnson P E. What kind of expert should a system be? Medicine and Philosophy, 1983, 8: 77~97
- 2 Gallant S I. Connectionist expert systems. Communications of the ACM, 1988, 31: 152~169
- 3 伍谦光. 语义学导论. 湖南:湖南教育出版社, 1987. 6~241
- 4 Miller G A, et al. Introduction to WordNet: An On-line Lexical Database. Princeton University, 1993
- 5 Lenat D B. Cyc: A Large-Scale Investment in Knowledge Infrastructure. Communications of the ACM, 1995, 38(11): 1~38
- 6 Richardson S D, Dolan W B, Vanderwende L. MindNet: acquiring and structuring semantic information from text. Microsoft Research Technical Publications (MSR-TR-98-23), 1998. 网址: <ftp://ftp.research.microsoft.com/pub/tr/tr-98-23.doc>
- 7 Richardson S. Determining similarity and inferring relations in a lexical knowledge base: [PhD. dissertation]. City University of New York, 1997
- 8 董振东. 语言知识库和常识库的建设——《知网》简介. 见:钟义信. 中国人工智能进展. 北京:北京邮电大学出版社, 2001. 967~970
- 9 孟庆武, 程虎, 等. 基于知识联接的自动推理方法及应用. 见:史忠植, 怀进鹏, 田启家. 人工智能进展. 北京:清华大学出版社, 2001. 29~34
- 10 史忠植. 高级人工智能. 北京:科学出版社, 1998. 101~125