

基于神经网络的言语的计算结构研究初探^{*}

危 辉

(复旦大学计算机科学系 智能信息处理开放实验室 脑科学研究中心 上海200433)

The Computational Architecture for Language Based on ANN

WEI Hui

(Department of Computer Science & Intelligent Information Processing Lab, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract Language acquisition, understanding and production are three core problems in the field of cognitive linguistics and computational linguistics. After the investigation of information processing mechanism from the physiological psychology view, we get that the procedures of language processing are executed by some structure, that is to say all mental activities concerned with acquisition, understanding and production are the appearances of this structure, and it is developmental with the growing of cognition development including language. Thus three detail problems are pivotal, they are representation problem, learning problem and computation problem.

Keywords Artificial intelligence, Cognitive architecture, Computational linguistics

1. 语言获得、理解与生成是一个统一认知结构上的不同行为

目前在西方认知科学界中占主导地位的“认知的计算理论”认为“认知即是计算”^[1],强调任何一种智能行为都有其出现的内在机制,发现思维的认知结构是认知科学的中心问题。对人类语言进行其内在机制的研究是上述趋势的代表。自Chomsky提出“转换--生成”理论和语言具有的表层/深层结构理论以来,心理语言学^[2]对言语发生的机制的研究不断深入,而且神经生理学对言语发生的中枢机制^[3]的研究从根本上丰富了我们对于语言学的认识。所有这些研究都应该成为计算机科学的理论基础。

关于语言使用的问题包括语音识别、语言获得、语言理解和语言生成。我们针对后三个问题进行研究。我们认为语言的加工过程是在某种结构上进行的,也就是说上述关于语言理解与生成的加工都发生在这个结构上,且这个结构是可发展的,它的建立过程是由语言获得过程决定的。由此推出的三个具体问题是:(1)表示问题,即语言加工结构的形态是怎样的,这是一个神经心理学和心理生理学问题;(2)学习问题,即语言加工结构是怎样通过样本依赖的学习过程构造起来的,这是一个发展心理学和逻辑学问题;(3)计算问题,即语言理解与生成的认知加工算法,以及算法在语言加工结构上实现的物理形式,这是一个认知心理学和体系结构问题。这三个问题同等重要,尤其是学习问题容易被忽视,而且这三个问题要在同样的理论框架中求得解决。

我们认为语言理解与生成问题的核心是发生在语言加工结构上的重构过程;由先前对大量样本进行的理解和生成练习过程就是学习过程;以动态语义网及网上浸润^[5]机制构成的动力学系统就可作为语言加工结构的表示原型。我们强调表示问题,就是为了强调计算的观点,为了说明包括语言在内的高级心理行为也有决定其外观的结构和算法。我们把动态

语义网看作是知识结构,它的静态表示和动力学行为是认知结构的核心。近30年来,发展心理学者们已经习惯了在统一的知识表达方式的前提下来考察认知结构的构造问题。构造主义的观点在认知发展中的重要性和核心地位已取得广泛共识。

神经生理学家通过研究从内耳到一些中继神经核再到听觉皮层这样一个信号传导和处理通路,希望发现声音是如何被编码的,也就是听觉的皮层机制问题。虽然目前的研究成果还不很丰富但有一些却可确认:整个通路至少由 10^7 数量级的神经元构成;存在许多具有频率特异响应的神经元;听觉皮层与耳底膜间存在类似于视觉感受野的拓扑映射关联,也就是说频率可转换到空间上来表达;听觉皮层能对超越频率与强度等简单特征的复杂音调模式进行辨认^[9,10]。这些成果对于由语音构成(代表词的)符号的直接表达具有很大的意义!再加上Broca's区对语言产生的作用和Wernicke's区对语言理解的作用的研究,尤其是对知觉信息基本表达的研究,都为突破在计算机的计算模型上只能对语义进行符号表达的局限作了基础准备。这使我们在理论上能弥补Searle在“汉语实验室”中所指出的符号语义并不能真正实现对语言的理解的根本缺陷。

2. 研究内容与目标

研究内容主要围绕语言加工结构的表示和构造这两大问题展开,它们是:

- (1)基于语言符号知觉的直接表示研究;
- (2)动态语义网的表示与基于语言发展的语义网构造过程研究;
- (3)语言深层结构在动态语义网结构上的形式与作用研究;
- (4)动态语义网上浸润的实现机制研究;
- (5)基于动态语义网的语言理解的浸润解释;

^{*} 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”(2001CCA03000)、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,博士后,研究方向:人工智能,认知科学。

(6) 基于动态语义网的语言生成的浸润解释。

本研究拟解决的关键问题是:以直接知觉经验为语义基础的、建立在亚符号表示基础上的、由发展心理学中语言发展过程为导向的动态语义网的建立过程,和在动态语义网结构上语言理解与生成的浸润计算过程。

目标是:为语言的获得、理解与生成找到一个逻辑上一致、心理上合理、生理上可行的计算结构,并在此结构上对语言的表层/深层结构、语义结构、基于概念(词)的抽象思维进行形态和过程解释。本研究所构造的语言信息加工模型希望实现以下四点:第一,动态语义网可通过学习来构造;第二,语言理解是网上的一个构造行为;第三,语言产生也是网上的一个构造行为;第四,两个构造行为的完成机制是一致的。在工程和应用上实现一个基于言语接受学习的知识获取、表示与应用系统。

目前国内外对语言机制的研究还有待在学科的交叉性上进一步深入。目前心理学界大多集中于语言的认知心理过程的研究;而神经生理学界对与语言相关的若干脑区的研究还很有限,还不能为语言的心理过程在实现上提供直接表示和计算解释;计算机学界集中于对自然语言理解进行基于符号逻辑的研究的同时,忽略了语言的发展心理学过程,因此计算机学界的“计算语言学”还谈不上对语言的机制研究有很深刻的贡献。所以只有在认知科学这样一个综合的角度才能发现语言的内在机制。

3. 科学意义与学术价值

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,而是不可分离的,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^[8]。我们遵循这样一种思想。

专家系统构造的一个难点是知识获取,如果有了对自然语言进行学习、理解、表示和应用的系统,那么只要是涉及可用语言表达的知识的获取的任务就可以交给它来完成;而且由于用发展的方式来构造系统,在推理中发挥重要作用的基础性、常识性知识的获取工作在系统构造的初期就会被重视,否则知识结构就没有根基。所以本研究对知识获取和常识问题都很有意义。

另外这是一个涉及认知和发展心理学、语言学、神经科学和人工智能等学科的交叉渗透研究,其中也涉及到象知觉表达、思维结构等最基本的问题,这也是本研究更深刻的意义所在。

学术界目前还没有为语言建立一个能完整、统一解释其获得、理解和使用三过程的计算结构,因此这一研究的意义在于:(1)以直接表示的方式构建动态语义网,语义有知觉的形态基础;(2)在动态语义网上对语义结构、深层结构进行映射解释;(3)动态语义网上浸润的实现方法;(4)动态语义网对语言理解、生成过程的计算解释;(5)语言获得过程的计算模式演变;(6)渐进的、进化的、发展的智能系统构造观(由简至繁的体系结构完善过程)。其主要特色是将语言的内在机制归结为表示结构和计算结构的一体化。

这一研究的应用前景是自然语言理解、基于言语接受学习的知识获取与应用系统等。

4. 研究方法与技术路线

研究方法:对语言的研究是思维科学研究的前沿之一。语言研究的传统方法的基本点就是:思维是语言性的——即根据一个逻辑机制或语法,思维被标识或符号化,然后再操纵这些符号。语言是思维中最易被以符号来描述的方面。然而对于这种最为符号化的认知活动,符号主义表现不力。Chomsky 在1964年提出的语言的表层与深层结构理论在一定程度上说明了为什么仅表层语法处理是不够的,但他也知道这一理论还不能解释深层结构是如何受到语义的习惯性方面的影响。更有,自然语言不象逻辑或数学的形式语言,它没有 Chomsky 模型所设想的规范性。Pinker(1991)的新观点认为语言既是规则驱动的也是可联想的,它们分别作用于语言的产生与解释侧面,是一个很好的符号方法和连接方法共同“发掘大脑真正运算能力”的例子。几乎所有的人都能够顺利地、从语言获得、语言理解到语言产生的全过程。这个事实说明语言的发展过程仅仅基于一些最普通、最朴素的机制,这些机制得以实现的基础应该是几乎人人具备的,其中不存在什么特殊性,而且这种机制的核心不受主体所使用语言的种类、受教育程度的制约。认识到这一点对于建造语言加工过程的模型是极为重要的,比如精密化的语法是对语言现象中规律的总结,虽然从系统化的角度来看它们很重要,但它们不是第一性的而是第二性的,它们是语言加工内在机制的外在表现,是结果而不是原因。每个人所使用的语法严格来说是不一样的,大的方面受语种的影响,小的方面受个人成长环境的影响,这种个体性差异使得不能从语法的层次来归纳语言加工机制的共性,所以语法结构不应当成为研究语言加工过程的出发点。上述关于语法地位的例子说明建立一个言语信息的加工模型要从最基本的语言现象出发。上述事实决定了我们的研究方法不是传统的符号逻辑中的语法加形式语义的方法,不是计算机自然语言理解所希望的通过对语法规则和语义的形式化而一步到位的方法。我们强调直接的知觉经验对符号语义的支持;强调动态语义网是建立在神经元网络上的、前者是对后者概念化抽象;强调语言发展的渐进过程、用连续的和历史的观点来看待语言理解和产生问题。所以我们的研究方法是力求从语言自身的发展规律的角度来构造它的计算模型,我们首先研究的不是如何将语法进行一个全面的描述,而是语义的获得和在直接知觉经验上的表达;然后是动态语义网构造的基础研究;再是动态语义网的发展过程研究和语言理解与产生时发生在网上的重构过程^[12~14]。

技术路线:我们先构造语言计算结构的理论模型,然后在人工神经网络和浸润的基础上实现这个模型:将语义节点映射到一个可异步的人工神经网络模型上,由此网络来记忆语义和语义关系,然后通过在网上实现浸润,使语义网不仅可以表示语义,还具备了动态行为,浸润的实现采取面向对象和消息机制。

参 考 文 献

- 1 陈霖. 认知科学中若干基本问题的研究进展. 中国科学院院刊, 1993(2): 112~118
- 2 Collins W A, Kuczaj S A I. Developmental Psychology: childhood and adolescence. New York: Macmillan Publishing Company, 1991. 167~199

(下转第121页)

中的应用研究奠定了良好的基础。

参 考 文 献

- 1 Wei B G, Sen S. *Adaptation and Learning in Multiagent Systems*. Springer Verlag, Berlin, 1996
- 2 Asada M, Uchibe E, Noda S, et al. Coordination of multiple behaviors acquired by vision-based reinforcement learning. In: Proc. of IEEE/RSJ/GI Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS'94), 1994. 917~924
- 3 Uchibe E, Asada M, Hosoda K. Behavior coordination for a mobile robot using modular reinforcement learning. In: Proc. of IEEE/RSJ/GI Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS'96), 1996. 1329~1336
- 4 Littman M L. Markov games as a framework for multi-agent reinforcement learning. In: Proc. of the Eleventh Intl. Conf. on Machine learning, San Mateo, CA, 1994. 157~163
- 5 <http://www.cs.ubc.ca/nest/lci/soccer>
- 6 Stone P, Veloso M. Beating a defender in robotic soccer: Memory-based learning of a continuous function. In: Touretzky D S, Mozer M C, Hasselmo M E, eds. *Advances in Neural Information Processing Systems 8*, The MIT Press, Cambridge, MA, 1996. 896~902
- 7 Stone P, Veloso M. Towards collaborative and adversarial learning: A case study in robotic soccer. *International Journal of Human-Computer Systems (IJHCS)*, 1997
- 8 Stone P, Veloso M. A layered approach to learning client behaviors in the RoboCup soccer server. *Applied Artificial Intelligence*, 1998, 12: 165~188
- 9 Matsubara H, Noda I, Hiraki K. Learning of cooperative actions in multi-agent systems: A case study of pass play in soccer. In *Adaptation, Coevolution and Learning in Multiagent Systems: Paper from the 1996 AAAI Spring Symposium*. AAAI Press, Menlo Park, CA, 1996. 63~67
- 10 Balch T. Learning roles: Behavioral diversity in robot teams. [Technical Report GIT-CC-97-12]. College of Computing, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, March 1997
- 11 Luke S, Hohn C, Farris J, et al. Co-evolution soccer softbot team coordination with genetic programming. In Kitano H, editor, *RoboCup 97: Robot Soccer World Cup I*, Springer Verlag, Berlin, 1998. 398~411
- 12 Stone P, Veloso M. Task decomposition, dynamic role assignment and low-bandwidth communication for real-time strategic teamwork. *Artificial Intelligence*, 1999, 110 (2): 241~273
- 13 Quinlan J. *C4.5: Programs for Machine Learning*. Morgan Kaufman, San Mateo, CA, 1993. 93, 95, 116, 119, 122
- 14 Watkins C. *Learning from Delayed Rewards*. [PhD thesis]. Kings College, Cambridge, UK, 1989. 93, 138
- 15 Stone P, Veloso M. Team-partitioned, opaque-transition reinforcement learning. In: Asada M, Kitano H, eds. *RoboCup-98: Robot Soccer World Cup I*. Springer Verlag, Berlin, 1999. 135
- 16 Marsella S, Adibi J, et al. Experiences Acquired in the Design of RoboCup Teams: A Comparison of Two Fielded Teams. *Autonomous Agents and Multi-agent Systems*, special issue on Best of Agents'99, 1999, 4: 115~129
- 17 Riedmiller M, Merke A. Karlsruhe Brainstormer-A Reinforcement Learning approach to robotic soccer. *RoboCup-01: Robot Soccer World V*, LNCS, Springer
- 18 Barto A G, Bradtke S J, Singh S P. Learning to act using real-time dynamic programming. *Artificial Intelligence*, 1995, 72: 81~138
- 19 Sutton R S, Barto A G. *Reinforcement Learning: An Introduction*. MIT Press, 1998
- 20 Riedmiller M, Braun H. RPROP: A fast and robust backpropagation learning strategy. In: Jabri M, ed. *Fourth Australian Conf. on Neural Networks*, Melbourne, 1993. 169~172
- 21 Andou T. Refinement of soccer agent's positions using reinforcement learning. In: Kitano H, ed. *RoboCup-97: Robot Soccer World Cup I*, Springer Verlag, Berlin, 1998. 373~388
- 22 郭磊, 艾早阳, 陈世福. 多 agent 系统的构造环境 ABE 的研究. *计算机科学*, 1999, 26(8): 58~61
- 23 葛翔, 周志华, 陈兆乾. 构造性归纳综述. *计算机科学*, 1999, 26(8): 62~64
- 24 戈也挺, 陈世福, 等. 行动推理中若干问题的研究. *计算机科学*, 2000, 27(3): 85~89

(上接第109页)

- 3 彭聃龄. *语言心理学*. 北京: 北京师范大学出版社, 1991. 2, 179, 245
- 4 Groves P M, Schlesinger K. *Biological Psychology (2nd Edition)*. Wm. C. Brown Company Publishers, 1982. 288~292
- 5 何新贵. *模糊知识处理的理论与技术*. 北京: 国防工业出版社, 1994. 524~551
- 6 孟绍兰著. *婴儿心理学*. 北京: 北京大学出版社, 1997. 260~300
- 7 杨雄里著. *视觉的视觉机制*. 上海科学技术出版社, 1996. 215~267
- 8 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
- 9 Kimble D P. *Biological Psychology*. Holt, Rinehart and Winston Inc., 1988. 385~405, 179~184
- 10 Groves P M, Schlesinger K. *Biological Psychology (2nd Edition)*. Wm. C. Brown Company Publishers, 1982. 288~292
- 11 姚天顺, 等. *自然语言理解*. 北京: 清华大学、广西科学技术出版社, 1995. 3
- 12 危辉. 基于知觉加工模式的发展式分词算法. *计算机研究与发展*, 2001, 38(11): 1281~1289
- 13 危辉, 危炜. 言语获取、理解和生成过程中的语义推理问题. *计算机科学*, 2002, 29(5): 94~96
- 14 危辉. 讨论: 认知语言学对推理型人工智能系统构造的指导作用. 中国人工智能学会第九届年会2001(CAAI-9), 钟义信主编: 中国人工智能进展(2001), 北京: 北京邮电大学出版社, 2001. 1024~1027